

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERITARIO DEL NORTE
CARRERA DE GEOLOGÍA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN



**ANÁLISIS HIDROGEOQUÍMICO Y GEOQUÍMICA DE SUELOS
AL NORESTE DE LOS AMATES, IZABAL**

EDIN DANY RENALDO TELLO SUCUP

COBÁN, ALTA VERAPAZ, NOVIEMBRE DE 2015

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERITARIO DEL NORTE
CARRERA DE GEOLOGÍA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**ANÁLISIS HIDROGEOQUÍMICO Y GEOQUÍMICA DE SUELOS
AL NORESTE DE LOS AMATES, IZABAL**

**PRESENTADO AL HONORABLE CONSEJO DIRECTIVO DEL
CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE**

**POR:
EDIN DANY RENALDO TELLO SUCUP
200740112**

**COMO REQUISITO PREVIO A OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO GEÓLOGO**

COBÁN, ALTA VERAPAZ, NOVIEMBRE DE 2015

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

RECTOR MAGNÍFICO

Dr. Carlos Guillermo Alvarado Cerezo

CONSEJO DIRECTIVO

PRESIDENTE:	Lic. Zoot. M.A. Fredy Giovani Macz Choc
SECRETARIA:	Lcda. T.S. Floricelda Chiquín Yoj
REPRESENTANTE DE DOCENTES:	Ing. Geol. César Fernando Monterroso Rey
REPRESENTANTE EGRESADOS:	Ing. Agr. Julio Oswaldo Méndez Morales
REPRESENTANTES ESTUDIANTILES:	Br. Fredy Enrique Gereda Milián PEM. César Oswaldo Bol Cú

COORDINADOR ACADÉMICO

Lic. Zoot. Erwin Gonzalo Eskenasy Morales

COORDINADOR DE LA CARRERA

Ing. Geol. Sergio David Morán Ical

COMISIÓN DE TRABAJOS DE GRADUACIÓN

COORDINADOR:	Ing. Geol. Bernie Gamaliel Castillo Moeschler
SECRETARIA:	Inga. Geol. Silvia Friné Cortez Bendfeldt
VOCAL:	Ing. Geol. Osmín Jared Vásquez Hernández

REVISOR DE REDACCIÓN Y ESTILO

Ing. M.Sc. Julio Enrique Reynosa Mejía

REVISOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Ing. Geol. Luis Gustavo Chiquín Marroquín

ASESOR

Ing. Geol. Bernie Gamaliel Castillo Moeschler

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



20 de abril de 2015

**CENTRO UNIVERSITARIO
DEL NORTE – CUNOR –
CARRERA GEOLOGÍA**

Código Postal 16001 – Cobán, Alta Verapaz
Telefax: 7952-1064 y 7956-6600 Ext. 209
Guatemala, C. A.
E-mail: geologiausac@gmail.com

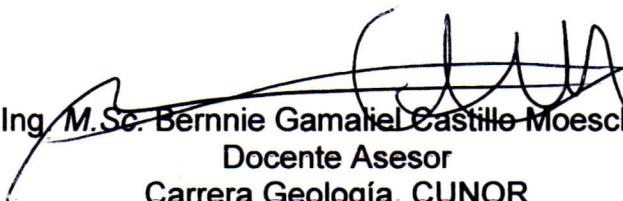
Señores
Comisión Trabajos de Graduación
Carrera Geología
CUNOR

Respetables Señores:

Por este medio informo a ustedes que he procedido a la **ASESORÍA** del informe final de Trabajo de Graduación del **T.U. GEOL. EDIN DANY RENALDO TELLO SUCUP**, carné No. **200740112**, titulado: **“ANÁLISIS HIDROGEOQUÍMICO Y GEOQUÍMICA DE SUELOS AL NORESTE DE LOS AMATES, IZABAL”**, el cual considero llena los requisitos establecidos para su aprobación, por lo que someto a consideración de ustedes dicho informe.

Atentamente

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ing. M.Sc. Bernie Gamaliel Castillo Moeschler
Docente Asesor
Carrera Geología, CUNOR



c.c. archivo

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



**CENTRO UNIVERSITARIO
DEL NORTE – CUNOR –
CARRERA GEOLOGÍA**

Código Postal 16001 – Cobán, Alta Verapaz
Telefax: 7952-1064 y 7956-6600 Ext. 209
Guatemala, C. A.
E-mail: geologiausac@gmail.com

Ref. 15-CG-377/2015
12 de octubre de 2015

Señores
Comisión Trabajos de Graduación
Carrera Geología
CUNOR

Respetables Señores:

Por este medio informo a ustedes que he procedido a la **REVISIÓN** del informe final de Trabajo de Graduación del T.U. **GEOL. EDIN DANY RENALDO TELLO SUCUP**, carné No. **200740112**, titulado: **“ANÁLISIS HIDROGEOQUÍMICO Y GEOQUÍMICA DE SUELOS AL NORESTE DE LOS AMATES, IZABAL”**, el cual considero llena los requisitos establecidos para su aprobación, por lo que someto a consideración de ustedes dicho informe.

Atentamente

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ing. Geol. Luis Gustavo Chiquín Marroquín
Docente Revisor
Carrera Geología
CUNOR



c.c. archivo

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



**CENTRO UNIVERSITARIO
DEL NORTE – CUNOR –
CARRERA GEOLOGÍA**

Código Postal 16001 – Cobán, Alta Verapaz

Telefax: 7952-1064 y 7956-6600 Ext. 209

Guatemala, C. A.

E-mail: geologiausac@gmail.com

Ref. 15-CG-405/2015

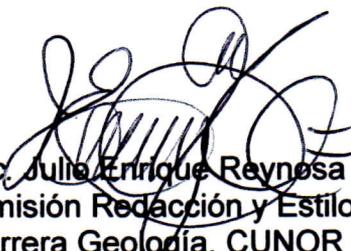
04 de noviembre de 2015

Señores
Comisión Trabajos de Graduación
Carrera Geología
CUNOR

Respetables Señores:

Por este medio remito el informe Final de Trabajo de Graduación a nivel de grado titulado: **“ANÁLISIS HIDROGEOQUÍMICO Y GEOQUÍMICA DE SUELOS AL NORESTE DE LOS AMATES, IZABAL”**, realizado por el (la) T.U. **GEOL. EDIN DANY RENALDO TELLO SUCUP**, carné No. **200740112**, el cual ya fue revisado por la **COMISIÓN DE REDACCIÓN Y ESTILO** de la Carrera de Geología, quienes consideramos llena los requisitos establecidos para su aprobación.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

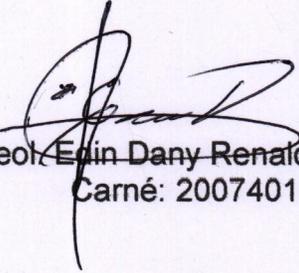

Ing. M.Sc. Julio Enrique Reynosa Mejía
Comisión Redacción y Estilo
Carrera Geología, CUNOR



c.c. archivo

HONORABLE COMITÉ EXAMINADOR

En cumplimiento a lo establecido por los estatutos de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a consideración de ustedes el trabajo de graduación, titulado: ANÁLISIS HIDROGEOQUÍMICO Y GEOQUÍMICA DE SUELOS AL NORESTE DE LOS AMATES, IZABAL; como requisito previo a optar al título profesional de Ingeniero Geólogo.



T.U. Geol. Erin Dany Renaldo Tello Sucup
Carné: 200740112

RESPONSABILIDAD

“La responsabilidad del contenido de los trabajos de graduación es: Del estudiante que opta al título, del asesor y del revisor; la Comisión de Redacción y Estilo de cada carrera, es la responsable de la estructura y la forma”.

Aprobado en punto SEGUNDO, inciso 2 .4, subinciso 2.4.1 del Acta No. 17-2012 de Sesión extraordinaria de Consejo Directivo de fecha 18 de julio del año 2012.

ACTO QUE DEDICO A:

Dios, Por darme la vida, estar a mi lado y brindarme la sabiduría necesaria para alcanzar mis metas.

MIS PADRES, Reginaldo Tello, especialmente a mi madre Irma Sucup (†), por creer siempre en mí, apoyarme incondicionalmente en momentos de prueba, enseñarme a luchar y a jamás darme por vencido.

ESPOSA E HIJO, Norma y Ricardo, por ser el motor de mi vida, apoyarme incondicionalmente y siempre comprender los momentos de ausencia, los amo, son lo mejor que tengo.

MIS HERMANOS, Humberto y Nancy, por apoyarme en cualquier momento y sin importar las circunstancias.

ABUELITA, Con mucho cariño mamá Chepa, por ser una gran persona que ayuda sin dudar a quien lo necesita, especialmente a todos sus nietos.

MIS SUEGROS, Por su apoyo y muestras de cariño en todo momento e incitarme a seguir adelante.

MIS CUÑADOS, Otto, Rhina, Gaby e Ivan, por su apoyo en la realización de este y otros proyectos.

A todas aquellas personas (tíos, primos y amigos) que siempre han confiado en mí; dándome con esto la motivación para seguir adelante.

AGRADECIMIENTOS:

A Dios, por su infinita misericordia, por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida.

Esposa amada, gracias por su paciencia y comprensión, hoy hemos alcanzado un triunfo más porque los dos somos uno y mis logros son suyos; Dios nos ha bendecido con 4 años compartiendo alegrías y tristezas, pero siempre gozosos ya que nos tenemos el uno al otro y eso fortalece nuestro amor.

A mis padres por haberme forjado como la persona que soy; muchos de mis logros se los debo a ustedes. Me formaron con reglas y algunas libertades, pero al final de cuentas, me motivaron constantemente para alcanzar mis metas; las cuales siempre las hicieron tuyas.

Humberto, por apoyarme incondicionalmente, ya que en ningún momento dudaste para darme una mano, sin tu ayuda este logro no hubiera sido posible, gracias hermano.

Al Ing. Geol. Bernie Castillo, por ayudarme en la elaboración y construcción de este trabajo de graduación.

Al Licenciado Químico Eddy Mendoza, por sus buenos consejos y haberme proporcionado información de mucha utilidad, la cual fue utilizada en la elaboración de este trabajo.

A la Universidad de San Carlos de Guatemala y al Centro Universitario del Norte, por haberme permitido ser estudiante sancarlista, especialmente de la carrera de Geología.

Al claustro de catedráticos de la carrera, que de una u otra forma contribuyeron con sus enseñanzas, las cuales de manera directa o indirecta fueron aplicadas en este trabajo de graduación.

A mis compañeros y amigos, por haberme dado su amistad en momentos buenos y malos.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	xi
Introducción	1
Antecedentes	2
Justificación	3
El problema	3
Hipótesis	4
Objetivos	4
General	4
Específicos	4
Ubicación geográfica del área de estudio	5
Localización	5
Extensión del área	5
Vías de acceso	5

CAPÍTULO 1 MARCO TEÓRICO

1.1. Calidad del agua	9
1.1.1 Parámetros de calidad de agua	10
a. Temperatura	10
b. Conductividad eléctrica	10
c. Potencial de Hidrógeno (pH)	11
d. Salinidad	12
e. Oxígeno disuelto	12
f. Alcalinidad	13
g. Cloruros	14
h. Sulfatos	14
i. Carbonato y Bicarbonato	15
j. Fosforo	16
k. Dureza	16
l. Sólidos totales	17
m. Demanda química de Oxígeno	18
n. Grasas y aceites	18
ñ. Calcio	19
o. Magnesio	19
p. Potasio	20
q. Sodio	20
r. Aluminio	21
s. Arsénico	22
t. Boro	23
u. Cadmio	23
v. Cobalto	24
w. Cobre	25
x. Cromo	26

y. Hierro	26
z. Manganeseo	27
aa. Níquel	29
ab. Plomo	30
ac. Zinc	31
ad. Parámetros microbiológicos de la calidad del agua	32
1) <i>Escherichia coli</i> (<i>E-coli</i>)	33
2) Coliformes totales	33
1.1.2 Índice de calidad de agua (ICA)	34
a. Índice o nivel de contaminación bacteriana (ICOBA)	38
b. Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS)	38
c. Índice de contaminación trófica (ICOTRO)	39
d. Índice de contaminación por mineralización (ICOMI)	40
1.1.3 Normas guatemaltecas obligatorias para la calidad del agua potable (COGUANOR NGO 29 001)	41
a. Límite máximo aceptable (LMA)	41
b. Límite máximo permisible (LMP)	42
1.1.4 Hidrogeoquímica y su clasificación para aguas superficiales	43
a. Clasificación según dureza	43
b. Clasificación según pH	44
c. Clasificación según iones mayores dominantes	44
1) Diagrama de <i>Stiff</i> modificado	45
1.2. Geoquímica de suelos	45
1.2.1 Suelos no contaminados	46
1.2.2 Elementos mayores	46
a. Calcio	47
b. Hierro	47
c. Magnesio	49
d. Potasio	49
e. Sodio	50
1.2.3. Elementos traza	50
a. Aluminio	50
b. Arsénico	51
c. Cadmio	52
d. Cobalto	53
e. Cobre	54
f. Cromo	55
g. Manganeseo	56
h. Níquel	56
i. Plomo	57
j. Zinc	58
1.2.4 Evaluación de calidad de suelos	59

a.	Índice de geoacumulación	59
b.	Factor de enriquecimiento	60
1.3.	Geología	61
1.3.1.	Litoestratigrafía regional	61
1.3.2.	Litoestratigrafía local	67
a.	Unidad de Roca Ultrabásica	68
1)	Subunidad de brecha tectónica	69
2)	Subunidad de Peridotita	72
b.	Unidad de Suelos Lateríticos	75
1)	Subunidad de Lateritas con Bloques de sapro	75
2)	Subunidad de Limonita	77
3)	Subunidad de <i>Cover</i>	80
c.	Unidad de Suelo derivado de Esquistos	82
d.	Unidad de Depósitos Aluviales	85
1.3.3.	Geología estructural	87
1.3.4	Geomorfología	90
a.	Clima	90
1)	Índice de lluvia	90
2)	Temperatura promedio (°C)	92
b.	Zonas de vida	94
c.	Suelos	95
1)	Suelos Jubuco	95
2)	Suelos Sebach	96
3)	Suelos Guapinol	96
4)	Suelos Telemán	96
5)	Suelos Quiriguá	97
6)	Suelos Cristina	97
d.	Drenaje	99
e.	Uso del suelos	101
f.	Fisiografía	103
1)	Región fisiográfica tierras altas cristalinas	103
1.1)	Subregión Sierra de Las Minas: Laderas degradadas de serpentinita	103
2)	Región fisiográfica depresión del Motagua	105
2.1)	Subregión Zona de inundación: Llanura aluvial del río San Francisco	105
3)	Región fisiográfica de las tierras altas sedimentarias	106
3.1)	Subregión Montañas y laderas sedimentarias: Montaña sedimentaria del Mico	98

CAPÍTULO 2 METODOLOGÍA

2.1	Recopilación y análisis bibliográfico	109
-----	---------------------------------------	-----

2.2	Trabajo de campo	109
2.3	Laboratorio	110
2.4	Gabinete	110

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1	Hidrogeoquímica	111
3.1.1	Puntos de monitoreo	111
3.1.2	Evaluación de la calidad del agua en base al ICA	113
	a. Río San Francisco (SW7)	113
	b. Río Trincheras (SW8)	114
	c. Río Trincheras bajo el puente (SW21)	114
	d. Río San Francisco (SW23)	115
	e. Río Blanco (SW24)	115
	f. Río al oeste de Santa Rita Piedra Parada (SW25)	116
3.1.3	Evaluación de la calidad del agua en base a la norma COGUANOR	117
	a. Temperatura	117
	b. Conductividad eléctrica	117
	c. Potencial de Hidrógeno (pH)	119
	d. Oxígeno disuelto	119
	e. Alcalinidad	120
	f. Cloruro	121
	g. Sulfato	122
	h. Fosfato	123
	i. Dureza	124
	j. Sólidos totales	125
	k. Demanda química de Oxígeno	126
	l. Grasas y aceites	127
	m. Calcio	128
	n. Magnesio	129
	o. Potasio	130
	p. Sodio	131
	q. Aluminio	132
	r. Arsénico	133
	s. Boro	135
	t. Cadmio	136
	u. Cobalto	137
	v. Cobre	138
	w. Cromo	139
	x. Hierro	140
	y. Manganeseo	141
	z. Níquel	142
	a.a. Plomo	143
	a.b. Zinc	144

a.c. Coliformes fecales (<i>E-coli</i>)	145
3.1.4 Índices de contaminación	148
a. Índice o nivel de contaminación bacteriana (ICOBAs)	148
b. Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS)	149
c. Índice de contaminación trófica (ICOTRO)	151
d. Índice de contaminación por mineralización (ICOMI)	152
3.1.5 Clasificación química de las aguas superficiales	154
a. Clasificación según dureza	154
b. Clasificación según pH	155
c. Clasificación según iones dominantes	156
3.2 Geoquímica de suelos y sedimentos	160
3.2.1 Ubicación de las muestras	160
3.2.2 Elementos mayores	162
a. Calcio	162
b. Hierro	165
c. Magnesio	167
d. Potasio	170
e. Sodio	173
3.2.3 Elementos traza	175
a. Aluminio	176
b. Arsénico	178
c. Cadmio	181
d. Cobalto	184
e. Cobre	186
f. Cromo	189
g. Manganeso	192
h. Níquel	194
i. Plomo	197
j. Zinc	200
3.3.4. Calidad de suelos	202
a. Índice de geoacumulación	202
b. Factor de enriquecimiento	204
CONCLUSIONES	206
RECOMENDACIONES	209
BIBLIOGRAFÍA	211
ANEXOS	216

ÍNDICE DE CUADROS

1 COORDENADAS UTM DEL ÁREA DE ESTUDIO	7
2 VALORES DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA PARA DIFERENTES TIPOS DE AGUA	11
3 USO DEL AGUA EN BASE AL ICA	36
4 PARÁMETROS, PESOS RELATIVOS (Pi) Y FACTORES DE	37

	NORMALIZACIÓN (Ci) PARA EL ICA	
5	CLASIFICACIÓN PARA LA CONTAMINACIÓN BACTERIANA SEGÚN EL NIVEL DE RIESGO PARA LA SALUD	38
6	CONCENTRACIONES Y CALIDAD DEL AGUA, SEGÚN ICOCUS	39
7	CONCENTRACIONES DE REFERENCIA DE FÓSFORO PARA EL ICOTRO	39
8	INTERPRETACIÓN DEL ICOMI	41
9	PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS, BACTERIOLÓGICOS Y SUS LÍMITES MÁXIMOS	42
10	CLASIFICACIÓN DE AGUA EN BASE A SU DUREZA	43
11	CLASIFICACIÓN DE AGUA SEGÚN SU pH	44
12	CLASIFICACIÓN DE VALORES, CLASES DE ÍNDICE DE GEOACUMULACIÓN Y GRADO DE CONTAMINACIÓN	59
13	CLASIFICACIÓN DEL FACTOR DE ENRIQUECIMIENTO	60
14	CLASES DE FACTORES DE ENRIQUECIMIENTO DE UN METAL PESADO	61
15	MUESTRAS DE SUELO SELECCIONADAS	75
16	PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL DEL AÑO 2008 AL 2014	91
17	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL DEL AÑO 2008 AL 2014	93
18	PUNTOS DE MUESTREO DE AGUA	113
19	EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN BASE A LA NORMA COGUANOR	147
20	NIVEL DE CONTAMINACIÓN BACTERIANA SEGÚN EL NIVEL DE RIESGO PARA LA SALUD EN VERANO	148
21	NIVEL DE CONTAMINACIÓN BACTERIANA SEGÚN EL NIVEL DE RIESGO PARA LA SALUD EN INVIERNO	149
22	CONCENTRACIONES Y CALIDAD DEL AGUA SEGÚN SÓLIDOS SUSPENDIDOS EN VERANO	150
23	CONCENTRACIONES Y CALIDAD DEL AGUA SEGÚN SÓLIDOS SUSPENDIDOS EN INVIERNO	150
24	ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN TRÓFICA EN VERANO	151
25	ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN TRÓFICA EN INVIERNO	151
26	ICOMI EN VERANO	152
27	ICOMI EN INVIERNO	153
28	CLASIFICACIÓN DEL AGUA SEGÚN DUREZA EN VERANO	154
29	CLASIFICACIÓN DEL AGUA SEGÚN DUREZA EN INVIERNO	155
30	CLASIFICACIÓN EDL AGUA SEGÚN pH EN VERANO	155
31	CLASIFICACIÓN EDL AGUA SEGÚN pH EN INVIERNO	156
32	IONES DOMINANTES EN meq/L EN VERANO	156
33	IONES DOMINANTES EN meq/L EN INVIERNO	157
34	ESTACIONES DE MONITOREO DE SUELOS Y SEDIMENTOS	160
35	CLASIFICACIÓN AMBIENTAL DEL ÁREA DE ESTUDIO, EN BASE AL ÍNDICE DE GEOACUMULACIÓN (I-geo)	196
36	ABUNDANCIA NORMAL DE LOS ELEMENTOS QUÍMICOS EN LA CORTEZA TERRESTRE Y EL FACTOR DE ENRIQUECIMIENTO (FE)	197

37	ICA PARA EL RÍO SAN FRANCISCO EN INVIERNO	216
38	ICA PARA EL RÍO SAN FRANCISCO EN VERANO	217
39	ICA PARA EL RÍO TRINCHERAS EN INVIERNO	218
40	ICA PARA EL RÍO TRINCHERAS EN VERANO	219
41	ICA PARA EL RÍO TRINCHERAS BAJO EL PUENTE EN INVIERNO	220
42	ICA PARA EL RÍO TRINCHERAS BAJO EL PUENTE EN VERANO	221
43	ICA PARA EL RÍO SAN FRANCISCO EN INVIERNO	222
44	ICA PARA EL RÍO SAN FRANCISCO EN VERANO	223
45	ICA PARA EL RÍO BLANCO EN INVIERNO	224
46	ICA PARA EL RÍO BLANCO EN VERANO	225
47	ICA PARA EL RÍO AL OESTE DE SANTA RITA PIEDRA PARADA EN INVIERNO	226
48	ICA PARA EL RÍO AL OESTE DE SANTA RITA PIEDRA PARADA EN VERANO	227

ÍNDICE DE FIGURAS

1	UBICACIÓN DEL ÁREA EN ESTUDIO	6
2	ESQUEMA Y PERFIL GEOLÓGICO DE LAS UNIDADES QUE AFLORAN EN EL CUADRÁNGULO LOS AMATES	62
3	SECCIÓN ESTRATIGRÁFICA COMPUESTA DE LA ZONA DE SUTURA DEL MOTAGUA, EN EL CUADRÁNGULO LOS AMATES	63
4	SECCIÓN ESTRATIGRÁFICA COMPUESTA DE LA ZONA DE SUTURA DEL MOTAGUA EN EL CUADRÁNGULO LOS AMATES, MOSTRANDO LAS UNIDADES EMPLAZADAS TECTÓNICAMENTE	64
5	PERFIL LATERÍTICO TÍPICO	67
6	COLUMNA LITOLÓGICA AL NORESTE DE LOS AMATES	68
7	MAPA DE LA GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL DE GUATEMALA, UBICANDO LOS ESFUERZOS PRINCIPALES	88
8	MAPA SEGÚN LA CLASIFICACIÓN DEL AGUA POR IONES MAYORES DOMINANTES EN VERANO	158
9	MAPA SEGÚN LA CLASIFICACIÓN DEL AGUA POR IONES MAYORES DOMINANTES EN INVIERNO	159

ÍNDICE DE GRAFÍCAS

1	PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL DEL AÑO 2008 AL 2014	91
2	PRECIPITACIÓN ANUAL DEL AÑO 2008 AL 2014	92
3	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL DEL AÑO 2008 AL 2014	93
4	TEMPERATURA MEDIA ANUAL DEL AÑO 2008 AL 2014.	94
5	TEMPERATURA (° C) DE LOS PUNTOS DE MONITOREO	118
6	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN LOS PUNTOS DE	118

	MONITOREO	
7	pH EN LOS PUNTOS DE MONITOREO	119
8	CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO EN LOS PUNTOS DE MONITOREO	120
9	ALCALINIDAD EN LOS PUNTOS DE MONITOREO	121
10	CONCENTRACIÓN DE CLORURO EN LOS PUNTOS DE MONITOREO	122
11	CONCENTRACIÓN DE SULFATO EN LOS PUNTOS DE MONITOREO	123
12	CONCENTRACIÓN DE FOSFATO EN LOS PUNTOS DE MONITOREO	124
13	CONCENTRACIÓN DE DUREZA EN LOS PUNTOS DE MONITOREO	125
14	CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES EN LOS PUNTOS DE MONITOREO	126
15	DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO EN LOS PUNTOS DE MONITOREO	127
16	CONCENTRACIÓN DE GRASAS Y ACEITES EN LOS PUNTOS DE MONITOREO	128
17	CONCENTRACIÓN DE CALCIO EN LOS PUNTOS DE MONITOREO	129
18	CONCENTRACIÓN DE MAGNESIO EN LOS PUNTOS DE MONITOREO	130
19	CONCENTRACIÓN DE POTASIO EN LOS PUNTOS DE MONITOREO	131
20	CONCENTRACIÓN DE SODIO EN LOS PUNTOS DE MONITOREO	132
21	CONCENTRACIÓN DE ALUMINIO EN LOS PUNTOS DE MONITOREO	133
22	CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO EN LOS PUNTOS DE MONITOREO	134
23	CONCENTRACIÓN DE BORO EN LOS PUNTOS DE MONITOREO	135
24	CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN LOS PUNTOS DE MONITOREO	136
25	CONCENTRACIÓN DE COBALTO EN LOS PUNTOS DE MONITOREO	137
26	CONCENTRACIÓN DE COBRE EN LOS PUNTOS DE MONITOREO	138
27	CONCENTRACIÓN DE CROMO EN LOS PUNTOS DE MONITOREO	139
28	CONCENTRACIÓN DE HIERRO EN LOS PUNTOS DE MONITOREO	141
29	CONCENTRACIÓN DE MANGANESO EN LOS PUNTOS DE MONITOREO	142
30	CONCENTRACIÓN DE NÍQUEL EN LOS PUNTOS DE	143

	MONITOREO	
31	CONCENTRACIÓN DE PLOMO EN LOS PUNTOS DE MONITOREO	144
32	CONCENTRACIÓN DE ZINC EN LOS PUNTOS DE MONITOREO	145
33	CONCENTRACIÓN DE COLIFORMES FECALES EN LOS PUNTOS DE MONITOREO	146
34	CURVA DE FRECUENCIAS RELATIVAS ACUMULADAS DEL LOG Ca Y LÍMITES DE CADA SUBPOBLACIÓN EN FUNCIÓN DE LOS PUNTOS DE INFLEXIÓN DE LA LINEALIDAD	163
35	CURVA DE FRECUENCIAS RELATIVAS ACUMULADAS DEL LOG Fe Y LÍMITES DE CADA SUBPOBLACIÓN EN FUNCIÓN DE LOS PUNTOS DE INFLEXIÓN DE LA LINEALIDAD	165
36	CURVA DE FRECUENCIAS RELATIVAS ACUMULADAS DEL LOG Mg Y LÍMITES DE CADA SUBPOBLACIÓN EN FUNCIÓN DE LOS PUNTOS DE INFLEXIÓN DE LA LINEALIDAD	168
37	CURVA DE FRECUENCIAS RELATIVAS ACUMULADAS DEL K Y LÍMITES DE CADA SUBPOBLACIÓN EN FUNCIÓN DE LOS PUNTOS DE INFLEXIÓN DE LA LINEALIDAD	171
38	CURVA DE FRECUENCIAS RELATIVAS ACUMULADAS DEL Na Y LÍMITES DE CADA SUBPOBLACIÓN EN FUNCIÓN DE LOS PUNTOS DE INFLEXIÓN DE LA LINEALIDAD	173
39	CURVA DE FRECUENCIAS RELATIVAS ACUMULADAS DEL Al Y LÍMITES DE CADA SUBPOBLACIÓN EN FUNCIÓN DE LOS PUNTOS DE INFLEXIÓN DE LA LINEALIDAD	176
40	CURVA DE FRECUENCIAS RELATIVAS ACUMULADAS DEL As Y LÍMITES DE CADA SUBPOBLACIÓN EN FUNCIÓN DE LOS PUNTOS DE INFLEXIÓN DE LA LINEALIDAD	179
41	CURVA DE FRECUENCIAS RELATIVAS ACUMULADAS DEL Cd Y LÍMITES DE CADA SUBPOBLACIÓN EN FUNCIÓN DE LOS PUNTOS DE INFLEXIÓN DE LA LINEALIDAD	182
42	CURVA DE FRECUENCIAS RELATIVAS ACUMULADAS DEL Co Y LÍMITES DE CADA SUBPOBLACIÓN EN FUNCIÓN DE LOS PUNTOS DE INFLEXIÓN DE LA LINEALIDAD	184
43	CURVA DE FRECUENCIAS RELATIVAS ACUMULADAS DEL Cu Y LÍMITES DE CADA SUBPOBLACIÓN EN FUNCIÓN DE LOS PUNTOS DE INFLEXIÓN DE LA LINEALIDAD	187
44	CURVA DE FRECUENCIAS RELATIVAS ACUMULADAS DEL Cr Y LÍMITES DE CADA SUBPOBLACIÓN EN FUNCIÓN DE LOS PUNTOS DE INFLEXIÓN DE LA LINEALIDAD	190
45	CURVA DE FRECUENCIAS RELATIVAS ACUMULADAS DEL Mn Y LÍMITES DE CADA SUBPOBLACIÓN EN FUNCIÓN DE LOS PUNTOS DE INFLEXIÓN DE LA LINEALIDAD	192
46	CURVA DE FRECUENCIAS RELATIVAS ACUMULADAS DEL Ni Y LÍMITES DE CADA SUBPOBLACIÓN EN FUNCIÓN DE LOS PUNTOS DE INFLEXIÓN DE LA LINEALIDAD	195
47	CURVA DE FRECUENCIAS RELATIVAS ACUMULADAS DEL Pb	198

	Y LÍMITES DE CADA SUBPOBLACIÓN EN FUNCIÓN DE LOS PUNTOS DE INFLEXIÓN DE LA LINEALIDAD	
48	CURVA DE FRECUENCIAS RELATIVAS ACUMULADAS DEL Zn Y LÍMITES DE CADA SUBPOBLACIÓN EN FUNCIÓN DE LOS PUNTOS DE INFLEXIÓN DE LA LINEALIDAD	200

ÍNDICE DE MAPAS

1	VÉRTICES DEL ÁREA DE ESTUDIO	8
2	LITOLOGÍA	70
3	SUELOS	98
4	RED DE DRENAJE	100
5	USOS DEL SUELO	102
6	GRAN PAISAJE	108
7	ESTACIONES DE MONITOREO DE AGUA	112
8	ESTACIONES DE MONITOREO DE SUELOS Y SEDIMENTOS	161
9	DISTRIBUCIÓN DE LAS DIFERENTES SUBPOBLACIONES DE CALCIO EN EL ÁREA DE ESTUDIO	164
10	DISTRIBUCIÓN DE LAS DIFERENTES SUBPOBLACIONES DE HIERRO EN EL ÁREA DE ESTUDIO	166
11	DISTRIBUCIÓN DE LAS DIFERENTES SUBPOBLACIONES DE MAGNESIO EN EL ÁREA DE ESTUDIO	169
12	DISTRIBUCIÓN DE LAS DIFERENTES SUBPOBLACIONES DE POTASIO EN EL ÁREA DE ESTUDIO	172
13	DISTRIBUCIÓN DE LAS DIFERENTES SUBPOBLACIONES DE SODIO EN EL ÁREA DE ESTUDIO	175
14	DISTRIBUCIÓN DE LAS DIFERENTES SUBPOBLACIONES DE ALUMINIO EN EL ÁREA DE ESTUDIO	177
15	DISTRIBUCIÓN DE LAS DIFERENTES SUBPOBLACIONES DE ARSÉNICO EN EL ÁREA DE ESTUDIO	180
16	DISTRIBUCIÓN DE LAS DIFERENTES SUBPOBLACIONES DE CADMIO EN EL ÁREA DE ESTUDIO	183
17	DISTRIBUCIÓN DE LAS DIFERENTES SUBPOBLACIONES DE COBALTO EN EL ÁREA DE ESTUDIO	185
18	DISTRIBUCIÓN DE LAS DIFERENTES SUBPOBLACIONES DE COBRE EN EL ÁREA DE ESTUDIO	188
19	DISTRIBUCIÓN DE LAS DIFERENTES SUBPOBLACIONES DE CROMO EN EL ÁREA DE ESTUDIO	191
20	DISTRIBUCIÓN DE LAS DIFERENTES SUBPOBLACIONES DE MANGANESO EN EL ÁREA DE ESTUDIO	193
21	DISTRIBUCIÓN DE LAS DIFERENTES SUBPOBLACIONES DE NÍQUEL EN EL ÁREA DE ESTUDIO	196
22	DISTRIBUCIÓN DE LAS DIFERENTES SUBPOBLACIONES DE PLOMO EN EL ÁREA DE ESTUDIO	199
23	DISTRIBUCIÓN DE LAS DIFERENTES SUBPOBLACIONES DE ZINC EN EL ÁREA DE ESTUDIO	202

RESUMEN

El ANÁLISIS HIDROGEOQUÍMICO Y GEOQUÍMICA DE SUELOS AL NORESTE DE LOS AMATES, IZABAL; se realizó en un área aproximada de 70 km². Donde se logró ubicar y definir los afluentes principales que además son los colectores de la mayoría de quebradas, así como también los puntos de extracción de suelos, que sirvieron de base para realizar los monitoreos que se efectuaron en verano e invierno.

La hidroquímica superficial clasificó las aguas del área de estudio según su dureza como aguas medias, según el pH como aguas débilmente básicas y según los iones dominantes como aguas magnésicas-bicarbonatadas.

La evaluación de la calidad del agua se realizó en base al ICA y a la norma COGUANOR. Según la clasificación del ICA se obtuvo un promedio de aguas levemente contaminadas (70,83) en invierno y aguas contaminadas (69,95) en verano. Los parámetros según la norma COGUANOR; por lo general no sobrepasan los límites máximos permitidos, pero algunos parámetros químicos y biológicos lo hicieron, estos parámetros son: Fosfato, grasas y aceites, Hierro, Aluminio, Cromo y *E. coli*. Por ello se consideran las aguas como no adecuadas para consumo humano sin algún tratamiento previo de purificación o potabilización.

También por medio de algunos índices de contaminación se estableció la contaminación hídrica; según el ICOBA se evidenció un riesgo alto en invierno y verano. El ICOTRO presenta, tanto en verano como en invierno, una calidad trófica, por lo que se puede decir, que estas aguas están sujetas a restricciones en su uso, principalmente para el consumo humano.

La geoquímica de suelos se definió mediante el índice de geoacumulación y el factor de enriquecimiento. El índice de geoacumulación clasifica los suelos del área de estudio como: sin contaminar y moderadamente contaminado. Según el factor de enriquecimiento, los suelos del área de estudio se clasifican como: Deficiencia significativa, enriquecimiento no significativo, enriquecimiento moderado y enriquecimiento fuerte. Estas dos últimas clasificaciones indican concentraciones abundantes en los suelos, los cuales son originados de rocas ultramáficas, en este caso el depósito laterítico ubicado en la parte alta del área de estudio, por lo que es común su enriquecimiento.

Es evidente que existe una contaminación natural en la parte alta del área de estudio y sus afluentes aledaños (estación S13, S14, S16 Y SW21). Esto producto de la erosión del depósito laterítico; ya que existe un alto contenido de Cobalto, Cromo, Hierro y Níquel. Lo cual indica un incremento importante en sus concentraciones, pero que no afectan considerablemente al medio ambiente; a excepción del Níquel que por su fuerte enriquecimiento puede afectar el medio natural.

INTRODUCCIÓN

El trabajo de tesis se realizó al noreste de Los Amates Izabal, con el objetivo de analizar geoquímicamente el agua y el suelo del área de estudio. Factores importantes fueron la revisión de los antecedentes, definición del problema, justificación, hipótesis, establecer objetivos generales y específicos, recopilación y análisis bibliográfico; específicamente, fisiografía y geomorfología, redes de drenaje, clima, zonas de vida, usos del suelo, geología y suelos, trabajo de campo, etapa de laboratorio y gabinete.

La metodología utilizada, toma en cuenta primeramente la calidad del agua, para definir los parámetros necesarios relacionados con el tipo de roca y suelo. También se consideraron los índices de calidad de agua (ICA) y los índices de contaminación (ICO), así como las normas guatemaltecas obligatorias para la calidad del agua potable (COGUANOR). Para establecer la calidad del suelo fue necesario establecer los elementos mayores y elementos traza, con lo cual se pudo conocer el índice de geoacumulación y el factor de enriquecimiento.

El análisis hidrogeoquímico comprende varios aspectos, como la definición de los puntos de monitoreo, evaluación de la calidad del agua en base al ICA, evaluación de la calidad del agua en base a la norma COGUANOR, determinación de los distintos índices de contaminación (índice o nivel de contaminación bacteriana, índice de contaminación por sólidos suspendidos, índice de contaminación trófica, índice de contaminación por mineralización) y la clasificación química de las aguas superficiales (según dureza, pH y iones dominantes).

El análisis geoquímico de suelos y sedimentos comprende varios aspectos, como la ubicación de las muestras, determinación de elementos mayores y elementos traza, definir la calidad de suelos y sedimentos, por medio del análisis del índice de geoacumulación y factor de enriquecimiento.

ANTECEDENTES

En el informe geológico realizado por *Shell* Exploradora y Productora de Guatemala B.V., se describen aspectos de importancia, debido a que se proporciona información respecto a los suelos arcillosos residuales localizados en la parte sur del lago de Izabal, cuyo origen es de la alteración de los esquistos.¹

Se han identificado dos investigaciones: la de Erick Guillermo Winter Catalán y la de Edgar Rolando Pérez Bol, relacionando específicamente la litología y geología estructural del área, el primer aspecto de mucha importancia para realizar la relación roca-suelo-agua.

También se han realizado breves descripciones que se encuentran relacionadas al grupo Chuacús y algunos cuerpos *alóctonos*, los cuales se encuentran asociados a la región de Los Amates. De acuerdo al léxico estratigráfico preliminar de Guatemala Norte y Centro, elaborado por Thomas Donnelly y colaboradores en 1990,² se presentan ciertas caracterizaciones que identifican el área de estudio para una posible relación geológica.

¹ Shell Exploradora y Productora de Guatemala B.V. *Informe final de geología*. Guatemala, Shell Exploradora y Productora: s/f., pág. 15

² Donnelly, Thomas, Et. Al. *Northern Central America; The Maya and Chortis Blocks*. USA, The Geological Society of America, 1990. (Traducción libre Mauricio Chiquín Yoj).

En el área propuesta para realizar la investigación se han realizado estudios previos sobre la química de aguas y suelos, por medio de muestreos trimestrales; los cuales iniciaron desde 2008 para aguas y muestreos anuales para suelo, los cuales iniciaron en 2013.

JUSTIFICACIÓN

Los índices de geoacumulación edáfica y/o de enriquecimiento reflejan la distribución de elementos en el suelo y orientan sobre los procesos edafogénicos que han tenido lugar en una zona determinada. De estos procesos, algunos son los mismos que controlan la composición natural del agua y, por lo tanto, puede afirmarse que existe una relación considerable entre la química del agua y la química del suelo.

El reconocer la situación hidrogeoquímica y la geoquímica de los suelos al noreste de Los Amates, es decir, establecer las concentraciones de los diferentes elementos orgánicos e inorgánicos de los suelos y aguas y su variabilidad espacial, pueden ayudar a determinar si estos están afectados químicamente, esta información puede utilizarse no solo para establecer un uso, sino también para determinar su calidad.

EL PROBLEMA

El alto contenido de algunos elementos inorgánicos, tanto en suelos como en aguas, pueden ser nocivos para la salud de los humanos y afectar actividades agrícolas. Estos elementos son necesarios para la vida en pequeñas cantidades, pero en altas concentraciones suelen ser perjudiciales o dañinos.

Dentro de estos elementos se pueden mencionar: Cromo, Hierro, Níquel, Aluminio, Arsénico, Plomo.

Según muestreos realizados en aguas y suelos al noreste de Los Amates, Izabal, se han identificado altas concentraciones de algunos metales, lo cual genera ciertas dudas y expectativas respecto a la concentración de éstos; por lo cual surge la pregunta: ¿Cuál es el nivel de contaminación encontrado en las muestras de agua y suelo, al noreste de Los Amates, Izabal?

HIPÓTESIS

El grado de contaminación en algunas muestras de agua y suelo al noreste de Los Amates, no cumplen con las normas establecidas por COGUANOR, ICA, Igeo y FE.

OBJETIVOS

General

Evaluar la contaminación del agua superficial y suelo al noreste de Los Amates por medio de análisis hidrogeoquímicos y de geoquímica de suelos.

Específicos

- a) Medir las características físicas y composición química de las muestras de agua y clasificar cada tipo, según los iones predominantes.
- b) Definir la calidad de agua de los ríos que se localizan en el área de investigación, en base a los parámetros requeridos por COGUANOR e ICA.

- c) Establecer cuál es el factor de enriquecimiento y el grado de geoacumulación, para conocer el gradiente de distribución de los metales y determinar el origen.
- d) Delimitar zonas de contaminación en base a la geoquímica de aguas y suelos.

UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

Localización

La superficie de estudio se localiza en el nororiente de Guatemala, específicamente en el departamento de Izabal (Figura 1). Abarca la parte noreste de Los Amates, Izabal; la ubicación geográfica comprende parte de las hojas topográficas de Mariscos 2 362 II y Morales 2 462 II, editadas por el Instituto Geográfico Nacional (IGN), a escala 1:50 000.

Extensión del área

Consta de una extensión de 70 km² (Mapa 1), la cual está delimitada por 14 vértices (Cuadro 1) exactamente al noreste del municipio de Los Amates. Dentro del área de estudio se localizan las aldeas: Campo Dos, Campo Tres, Trincheras, Cristina, Los Andes y Río Blanco.

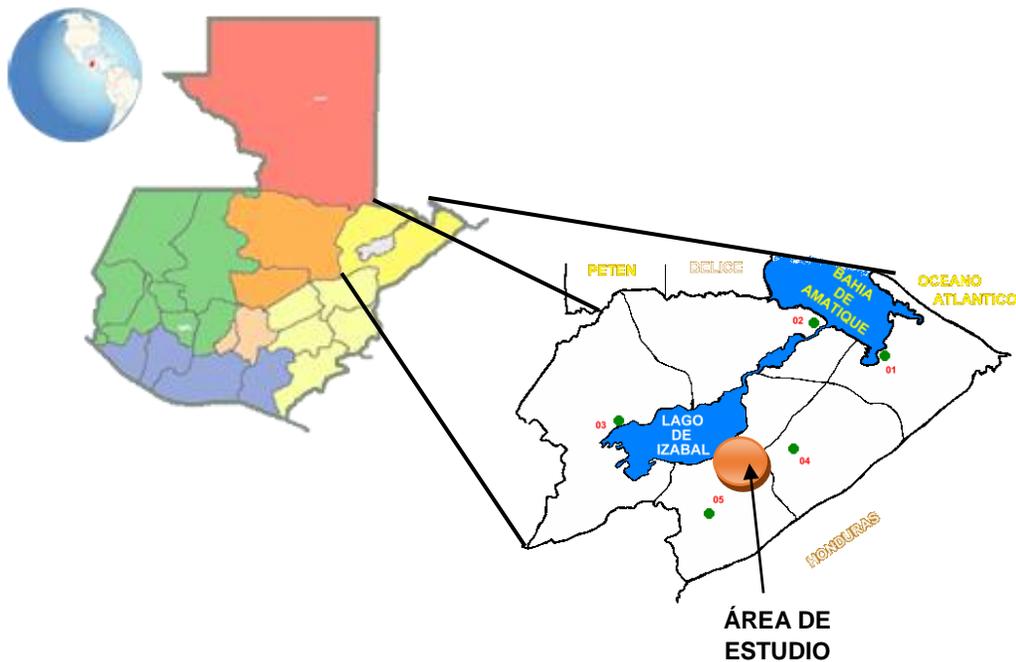
Vías de acceso

El área es atravesada por la carretera principal asfaltada CA-9, también llamada carretera del Atlántico, que comunica a Puerto Barrios con la ciudad capital. La distancia entre la ciudad capital y la cabecera municipal de Los Amates es de 200 km. La superficie de estudio comienza en el kilómetro 213 y finaliza en el kilómetro 224.

Además existe la carretera asfaltada que conduce de la aldea Trincheras hacia la aldea Mariscos y la aldea Izabalito, esta última antigua cabecera departamental.

Dentro del área de estudio, el desplazamiento se realiza por pequeñas veredas, las cuales son transitables únicamente en verano, debido a la topografía y tipos de suelo. En algunas partes no existen accesos formales, únicamente brechas.

FIGURA 1
UBICACIÓN DEL ÁREA EN ESTUDIO



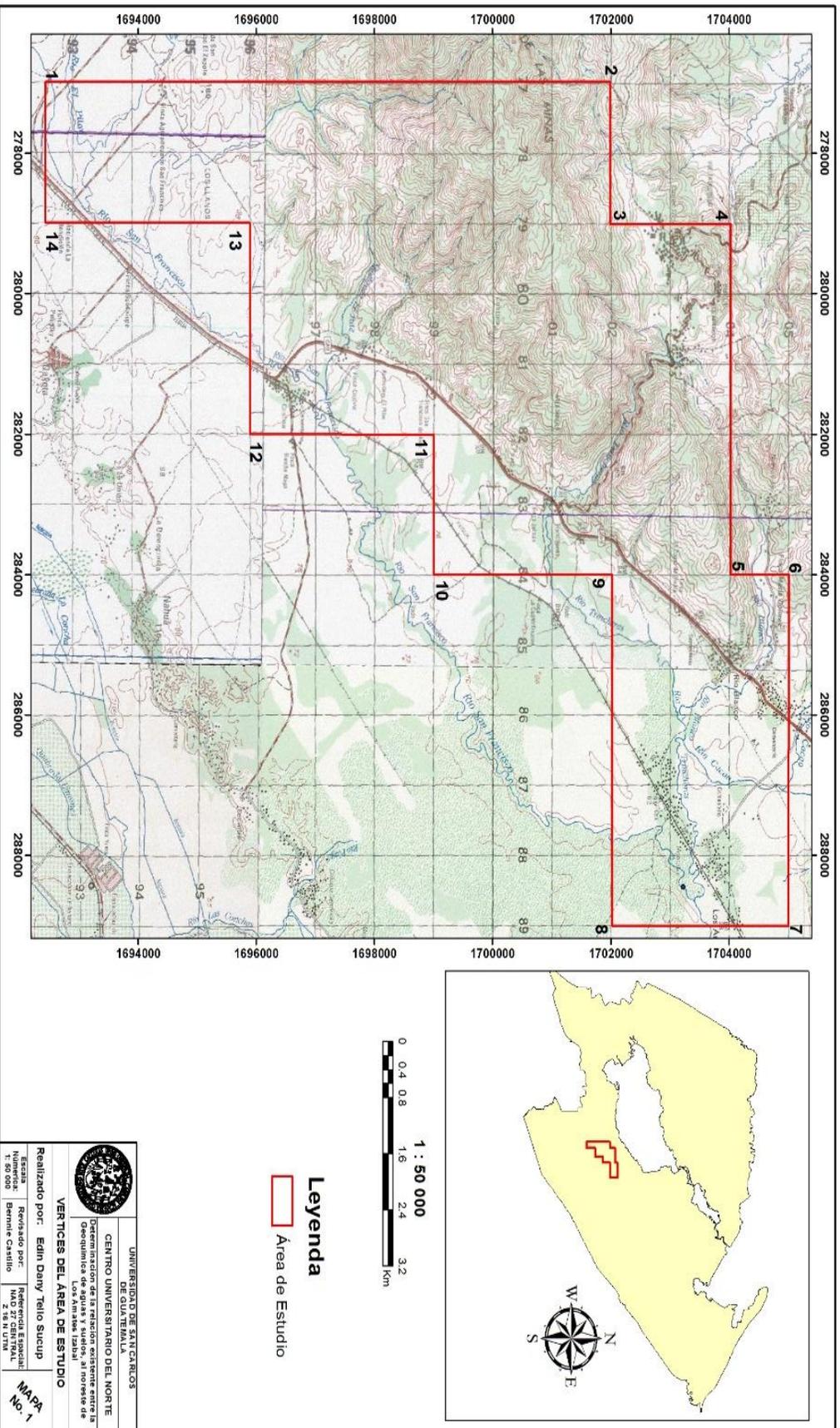
FUENTE: Investigación de campo, 2014.

CUADRO 1
COORDENADAS UTM DEL ÁREA DE ESTUDIO

Vértices	Este	Norte
1	277000	1692400
2	277000	1702000
3	279000	1702000
4	279000	1704000
5	284000	1704000
6	284000	1705000
7	289000	1705000
8	289000	1702000
9	284000	1702000
10	284000	1699000
11	282000	1699000
12	282000	1696000
13	279000	1696000
14	279000	1692400

Fuente: Elaboración propia, en base a los mapas topográficos de Mariscos 2 362 II y Morales 2 462 II, editadas por el Instituto Geográfico Nacional (IGN), a escala 1:50 000.

MAPA 1 VÉRTICES DEL ÁREA DE ESTUDIO



FUENTE: Investigación de campo, 2014

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

1.1. Calidad del agua

Se refiere a las características químicas, físicas y biológicas del agua, en su estado natural o después de ser alteradas por el accionar del hombre. Es una medida de la condición del agua en relación con los requisitos de una o más especies o a cualquier necesidad humana o propósito. Se utiliza con frecuencia para referirse a un conjunto de normas contra las cuales puede evaluarse el cumplimiento de las mismas. Los estándares más comunes utilizados para evaluar la calidad del agua se relacionan con la salud de los ecosistemas, seguridad de contacto humano y agua potable.

El autor del *website*³ define que el concepto de calidad del agua ha sido asociado al uso del agua para consumo humano, entendiéndose que el agua es de calidad cuando puede ser usada sin causar daño. Sin embargo, según el uso que se requiera para el agua, así se determinará la calidad del agua para dichos usos.

³ AGUAS CON EL AGUA. 2006. http://www.infoiarna.org.gt/guateagua/subtemas/3/3_Calidad_del_agua.pdf (25 de octubre de 2014).

1.1.1 Parámetros de calidad de agua

a. Temperatura

La temperatura del agua tiene una gran importancia en el desarrollo de los diversos procesos que en ella se realizan, de forma que un aumento de la temperatura modifica la solubilidad de las sustancias, aumentando la de los sólidos disueltos y disminuyendo la de los gases. La actividad biológica aproximadamente se duplica cada diez grados (ley del Q10), aunque superado un cierto valor característico de cada especie viva, tiene efectos letales para los organismos⁴.

La determinación exacta de la temperatura es importante para diferentes procesos de análisis y laboratorio, ya que, por ejemplo el grado de saturación de oxígeno disuelto, la actividad biológica y el valor de saturación con carbono de calcio se relacionan con la temperatura (Donado Garzón, 1999).

b. Conductividad eléctrica

El agua pura se comporta como aislante eléctrico, las sustancias disueltas en ella proporcionan al agua la capacidad de conducir la corriente eléctrica. Es una medida indirecta de la cantidad de sólidos disueltos estando relacionados ambos mediante la expresión empírica **$SD \text{ (mg/L)} = 0,8 \cdot \Lambda_0 \text{ (}\mu\text{S cm-1)}$** .⁵ Donde SD equivale a sólidos disueltos, Λ_0 conductividad eléctrica y μS micro siemens.

⁴ Aznar Jiménez, Antonio. *Determinación de los parámetros físico-químicos de calidad de las aguas*. 2000, pág. 3. <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-quimica/ingenieria-ambiental/otros-recursos-1/OR-F-001.pdf> (25 de octubre de 2014)

⁵ *Ibíd.* pág. 8.

Como consecuencia del contenido iónico, el agua se hace conductora de la electricidad. A medida que la concentración iónica aumenta, también aumenta hasta cierto límite la conductividad o capacidad de un agua para conducir la corriente eléctrica.⁶

La variación de temperatura también 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.

CUADRO 2 VALORES DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA PARA DIFERENTES TIPOS DE AGUAS

Muestra	$\mu\text{S} / \text{cm}$
Agua pura	0,055
Agua destilada	0,5 – 5
Agua de lluvia	5 – 30
Agua subterránea potable	30 – 2 000
Salmuera	> 100 000

Fuente: http://www.bdigital.unal.edu.co/2407/1/71787208.2009_1.pdf (27 de octubre de 2014).

c. Potencial de Hidrogeno (pH)

El valor del pH define la acidez del agua, siendo para aguas neutras $\text{pH} = 7$, ácidas $\text{pH} < 7$ y básicas $\text{pH} > 7$.⁷

El pH aumenta con el incremento de temperatura hasta en un 8 %, por lo que debe referirse a la temperatura de medida *in situ*. Por regla general el pH de las aguas naturales se mantiene entre 6,5 y 8; dentro del cual los organismos acuáticos capturan y liberan dióxido de carbono durante la

⁶ Gómez Rave, Juan Camilo. *Geología, Geofísica, Hidrogeoquímica e Isótopos, como herramientas para definir un modelo conceptual hidrogeológico, caso de aplicación: Acuífero costero de municipio de Turbo*. 2009. pág. 2-8. http://www.bdigital.unal.edu.co/2407/1/71787208.2009_1.pdf (27 de octubre de 2014).

⁷ *Ibíd.*, pág. 2-9.

fotosíntesis y respiración, aunque excepcionalmente puede variar entre 3 y 11.

d. Salinidad

Todas las aguas naturales contienen sales disueltas (sólidos en suspensión), y la salinidad del agua es en cierta forma una de las características de calidad del agua en lo referente a su sabor y aceptabilidad por el usuario. En las normas de calidad de agua potable de la EPA, de la CNA o de la Unión Europea, la conductividad o grado de salinidad del agua, no es un estándar primario (obligatorio), sino que es un estándar secundario (recomendado). La alta salinidad del agua por si sola, no es motivo de daños en la salud del consumidor pero si un inconveniente en su empleo⁸.

Se puede entender que la salinidad es el contenido de sales minerales disueltas en un cuerpo de agua.

e. Oxígeno disuelto

El análisis de Oxígeno disuelto mide la cantidad de Oxígeno gaseoso disuelto (O_2) en una solución acuosa. El elemento se introduce en el agua mediante difusión desde el aire que rodea la mezcla, por aeración (movimiento rápido) y como un producto de desecho de la fotosíntesis. Cuando se realizan pruebas de Oxígeno disuelto, solo se utilizan muestras tomadas recientemente y se analizan inmediatamente⁹.

⁸ Concepto de salinidad. <http://filtrosyequipos.com/GUEST/sanitaria/parametros1.pdf> (22 de diciembre de 2014).

⁹ ¿Por qué es importante el Oxígeno disuelto? <http://www.cimcool.ca/uploads/downloads/Porqueesimportanteeloxigenodisuelto.pdf> (23 de diciembre de 2014)

Al momento de realizar este tipo de prueba, debe ser preferentemente una prueba de campo.

El principal factor que contribuye a los cambios en los niveles de Oxígeno disuelto es el crecimiento de residuos orgánicos. El decaimiento de los residuos orgánicos consume Oxígeno y frecuentemente se concentra en el verano, cuando los animales acuáticos requieren más de este elemento para soportar altos metabolismos¹⁰.

Con esto se puede decir que la temperatura, la presión y la salinidad afectan la capacidad del agua para disolver el Oxígeno.

f. Alcalinidad

Según Gómez Rave la alcalinidad de un agua es debida al contenido de sales del ácido carbónico (bicarbonatos, carbonatos) e hidróxidos. La alcalinidad de las aguas naturales suele deberse a los carbonatos y bicarbonatos de calcio (Ca^{+2}), magnesio (Mg^{+2}), sodio (Na^{+}) y potasio (K^{+}) y en algunos casos también se debe en pequeño grado a boratos, silicatos y fosfatos. El bicarbonato es el componente que más contribuye a la alcalinidad.¹¹

La importancia de la alcalinidad es significativa en los fenómenos de coagulación y ablandamiento, así como en la prevención de la corrosión. La alcalinidad da un índice de la

¹⁰ Ibídem.

¹¹ Gómez Rave, Juan Camilo. *Geología, Geofísica, Hidrogeoquímica e Isótopos, como herramientas para definir un modelo conceptual hidrogeológico, caso de aplicación: Acuífero costero de municipio de Turbo*. Ibíd. pág. 2-10.

resistencia del agua a bajar su pH cuando se le añade ácido, es decir, la capacidad para neutralizar ácidos.¹²

g. Cloruros

Las aguas naturales tienen contenidos muy variables en cloruros, según las características de los terrenos que atraviesen, pero en cualquier caso la cantidad siempre es menor que en aguas residuales¹³.

El aumento en cloruros de un agua puede tener orígenes diversos; si es una zona costera puede deberse a infiltraciones de agua del mar; si es una zona árida debido al lavado de los suelos producido por fuertes lluvias, en último caso puede deberse a contaminación del agua por aguas residuales¹⁴.

Con esto se puede decir que el incremento esporádico del contenido en cloruros es producto de contaminaciones domésticas.

h. Sulfatos

Los sulfatos son minerales cuya unidad estructural fundamental son los grupos $(SO_4)^{-2}$, pudiendo estar enlazados entre sí por cationes de Al, Na, Ca, K, Mg y Fe. Son bastante comunes en la corteza terrestre y entre ellos destaca la anhidrita y el yeso¹⁵.

¹² Ibídem.

¹³ Determinación de cloruros. <http://alojamientos.us.es/grupotar/tar/formatec/laboratorio/determinaciones/cloruros.pdf> (23 de diciembre de 2014).

¹⁴ Ibídem.

¹⁵ Sulfatos. <http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/13682/sulfatos%20revisado%20definitivo.pdf?sequence=3> (visitada 23 de diciembre de 2014).

Los sulfatos están presentes en forma natural en numerosos minerales y se utilizan comercialmente, sobre todo en la industria química. Se descargan en el agua a través de los desechos industriales y de los depósitos atmosféricos; no obstante, las mayores concentraciones se dan, por lo común, en las aguas subterráneas y proceden de fuentes naturales. El sulfato es uno de los aniones menos tóxicos; sin embargo, en grandes concentraciones, se han observado catarsis, deshidratación e irritación gastrointestinal (OMS, 1995).

La presencia de sulfato en el agua potable puede causar un sabor perceptible. El deterioro a este respecto es variable, según el tipo de catión asociado; se ha comprobado que los umbrales de sabor oscilan entre 250 mg/L en el caso de sulfato sódico y 1 000 mg/L en el sulfato cálcico. Generalmente se considera que la alteración del sabor es mínima para concentraciones inferiores a 250 mg/L (TEBBUTT, 2001).

i. Carbonato y bicarbonato

La alcalinidad es una medida de la capacidad de neutralización del agua. Indica la presencia de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos y menos significativamente de boratos, silicatos, fosfatos y sustancias orgánicas. Se expresa como equivalentes de carbonato de calcio (CaCO_3). La composición de las especies de la alcalinidad depende del pH, la composición mineral, la temperatura y la fuerza iónica; sin embargo, normalmente se interpreta como una función de los carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos (McNeely et al., 1979).

Su presencia en las aguas naturales es importante ya que contribuye a mantener el balance iónico y a evitar

propiedades corrosivas o incrustantes, raramente excede los 500 mg CaCO₃/L.

j. Fósforo (P)

El Fósforo junto con el Nitrógeno, son dos de los nutrientes fundamentales de todos los seres vivos, de forma que contenidos anormalmente altos de estos en las aguas pueden producir un crecimiento incontrolado de la biomasa acuática (eutrofización). Una gran parte del P presente en las aguas se debe al uso de abonos fosfatados y detergentes.¹⁶

Este nutriente esencial para los organismos vivientes; en aguas frescas y sistemas marinos está sujeto a procesos de transformación continua que incluyen consumo o desprendimiento del elemento en sus diferentes formas o especies. Es considerado como un parámetro crítico en la calidad de aguas debido a su influencia en el proceso de eutropificación (Sánchez de Fuentes, 2001).

k. Dureza

Aznar Jiménez se refiere a la dureza como la concentración total de iones calcio, magnesio, estroncio y bario, aunque se debe fundamentalmente a los dos primeros. La presencia de este tipo de iones en el agua suele ser de origen natural, y raramente antrópica.¹⁷

Las aguas se pueden clasificar por su dureza. Aguas con menos de 75 mg/L de CaCO₃ se consideran blandas, entre

¹⁶ Aznar Jiménez, Antonio. *Determinación de los parámetros físico-químicos de calidad de las aguas*. Ibíd. pág. 9.

¹⁷ Ibíd., pág. 8.

75 mg/L y 150 mg/L poco duras, entre 150 mg/L y 300 mg/L duras, y mayores de 300 mg/L muy duras.¹⁸

También se comprende como la capacidad del agua para producir espuma, es decir es la medida de consumo de jabón (detergente) del agua. Los minerales removidos por el jabón se vuelen espuma (Romero, 1996).

I. Sólidos totales

Los sólidos totales se definen como la materia que permanece como residuo después de evaporación y secado a 103 °C. El valor de los sólidos totales incluye material disuelto y no disuelto (sólidos suspendidos)¹⁹.

Los sólidos disueltos lo constituyen sales que se encuentran presentes en el agua y que no pueden ser separadas del líquido por algún medio físico, mientras que los sólidos en suspensión es el material que se encuentra en fase sólida en el agua en forma de coloides o partículas sumamente finas, y que causa en el agua la propiedad de turbidez.

Los sólidos pueden afectar adversamente la calidad de un cuerpo de agua o un afluente de varias formas. Aguas para el consumo humano, con un alto contenido de sólidos disueltos, son por lo general de mal agrado para el paladar y

¹⁸ Gómez Rave, Juan Camilo. *Geología, Geofísica, Hidrogeoquímica e Isótopos, como herramientas para definir un modelo conceptual hidrogeológico, caso de aplicación: Acuífero costero de municipio de Turbo*. Ibíd. pág. 2-11.

¹⁹ Procedimientos para la medición de sólidos totales. <http://www.utp.ac.pa/sites/default/files/PCUTP-CIHH-LSA-211-2006.pdf> (26 de diciembre de 2014).

pueden inducir una reacción fisiológica adversa en el consumidor²⁰.

m. Demanda química de Oxígeno

Se entiende por demanda química de Oxígeno (DQO), la cantidad de materia orgánica e inorgánica en un cuerpo de agua susceptible de ser oxidada por un oxidante fuerte.

Se utiliza para medir el grado de contaminación. Aunque este método pretende medir principalmente la concentración de materia orgánica, sufre interferencias por la presencia de sustancias inorgánicas susceptibles de ser oxidadas (sulfuros, sulfitos, etc.), que también se reflejan en el resultado medido.

n. Grasas y aceites

Las grasas y aceites son compuestos orgánicos constituidos principalmente por ácidos grasos de origen animal y vegetal, así como los hidrocarburos del petróleo.

El autor del *website*²¹, define que los aceites y grasas en los vertidos líquidos generan dos tipos de problemas a la hora de la depuración de las aguas residuales, disminución de la mojabilidad de los sólidos en suspensión impidiendo, con ello su sedimentación, y formación de una película que recubre los microorganismos encargados de la biodegradación, impidiendo con ello la captación de oxígeno por los mismos y disminuyendo su poder depurador.

²⁰ Parámetros físico-químicos: Sólidos disueltos totales. <http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p2-tds.pdf> (26 de diciembre de 2014).

²¹ Aznar Jiménez, Antonio. *Determinación de los parámetros físico-químicos de calidad de las aguas*. Ibíd. pág. 7.

Su efecto en los sistemas de aguas naturales se debe a que interfieren con el intercambio de gases entre el agua y la atmósfera.

ñ. Calcio (Ca)

Es el quinto elemento y el tercer metal más abundante en la corteza terrestre. A diferencia de los metales alcalinos, no causa quemaduras sobre la piel. Es menos reactivo químicamente que los metales alcalinos y que los otros metales alcalinotérreos. La distribución del Ca es muy amplia; se encuentra en casi todas las áreas terrestres del mundo. Este elemento es esencial para la vida de las plantas y animales, ya que está presente en el esqueleto de los animales, en los dientes, en la cáscara de los huevos, en el coral y en muchos suelos²².

El Ca es uno de los principales elementos de la dureza del agua, cuyas fuentes naturales provienen de rocas y escorrentías, responsable de incrustaciones en las tuberías (APHA et al 1995). Por lo general, el agua subterránea es más dura que la superficial.

o. Magnesio (Mg)

Es blanco plateado y muy ligero. Se conoce desde hace mucho tiempo como el metal estructural más ligero en la industria, debido a su bajo peso y capacidad para formar aleaciones mecánicamente resistentes²³.

²² Calcio. <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/ca.htm#Nombre> (26 de diciembre de 2014).

²³ Magnesio. <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/mg.htm#Nombre> (26 de diciembre de 2014).

Los iones magnesio disueltos en el agua forman depósitos en tuberías y calderas cuando el agua es dura, es decir, cuando contiene demasiado Mg o Ca.

p. Potasio (K)

En aguas naturales las concentraciones de K son menores a 10 mg K⁺/L, aunque puede aumentar por depositación atmosférica, escorrentía de terrenos agrícolas e influencia de drenajes de irrigación. Dado que son elementos esenciales, para la nutrición de las plantas, su presencia en el agua es beneficiosa²⁴.

Es un elemento muy abundante y es el séptimo entre todos los elementos de la corteza terrestre; el 2,59 % de ella corresponde a K en forma combinada. El agua de mar contiene 380 ppm, lo cual significa que es el sexto más abundante en solución (SPIRO, 2004).

Elevados niveles de K soluble en el agua pueden causar daños a las semillas en germinación, inhiben la toma de otros minerales y reducen la calidad del cultivo (HEREDIA et al., 1999).

q. Sodio (Na)

Las concentraciones de ion sodio en aguas naturales superficiales varían de manera considerable según las condiciones geológicas locales y descargas de aguas residuales. Los valores pueden oscilar entre 1 mg Na⁺/L a 10 mg Na⁺/L. La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2006)

²⁴ Beita Sandí, Wilson. *Caracterización fisicoquímica de las aguas superficiales de la cuenca del río Rincón en la Península de Osa, Puntarenas, Costa Rica*. 2 008. <http://kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/334/TFG%20> (26 de diciembre de 2 014).

establece un límite máximo de 200 mg/L en el agua de consumo humano. Algunas aguas superficiales, incluso aquellas que reciben descargas de aguas residuales tienen valores de concentración debajo de los 50 mg/L²⁵.

La sodificación de suelos (natural o antropogénica) provoca efectos negativos sobre la producción y la productividad de cultivos porque deteriora sus propiedades físicas. Este deterioro se manifiesta en una drástica disminución en la conductividad hidráulica o en la tasa de infiltración del agua en el suelo y puede ser difícil de corregir porque requiere la utilización conjunta de enmiendas, grandes volúmenes de agua y complicados sistemas de drenaje (Guerrero, 2004).

El peligro de sodificación depende de la concentración relativa y absoluta de los cationes en el agua, de los cuales los principales son: Ca, Mg y Na. Si la proporción de Na es alta, es mayor el problema, pero si predomina el Ca y Mg, es menor.

r. Aluminio (Al)

Es un componente natural de las aguas superficiales y subterráneas. La mayoría de las autoridades del agua alrededor del mundo utilizan el sulfato de aluminio como agente floculante en el tratamiento de sus suministros de agua. Un agente floculante es una sustancia que, añadida al agua, atrae las pequeñas partículas de materia inorgánica, bacterias,

²⁵ *Ibíd.*

virus y otros organismos potencialmente peligrosos para los humanos, ayudando a su filtrado²⁶.

La presencia de Al en concentraciones superiores a 0,2 mg/L a menudo provoca quejas de los consumidores, debido a que causa la aparición de depósitos de una masa flocosa de hidróxido de aluminio en los sistemas de distribución y acentúa la coloración del agua por el Fe; en ciertas circunstancias, concentraciones de 0,1 mg/L a 0,2 mg/L pueden plantear este tipo de problemas (OMS, 1995).

s. **Arsénico (As)**

Es un elemento muy común en la atmósfera, en rocas y suelos, en la hidrósfera y la biósfera. Es movilizado al medio ambiente a través de una combinación de procesos que incluyen tanto naturales como antropogénicos²⁷.

El As puede llegar al agua por vía natural (por ejemplo, ascenso de fluidos magmáticos e hidrotermales, emisiones volcánicas a la atmósfera, desorción y disolución de minerales con As durante la meteorización), y por vía antropogénica (minería, procesos metalúrgicos, combustión de combustibles fósiles, uso de plaguicidas y preservantes de la madera - arseniato de Cu y Cr) (Ferrecio et al. 2000; Cáceres et al., 1992; Bissen y Frimel, 2003 a; De Gregori et al., 2003; Cáceres, 2005).

²⁶ Aluminio y salud: Compuestos de aluminio en tratamientos de aguas. 2008. <http://www.asoc-aluminio.es/support/pdf/aluminio-agua-potable.pdf> (27 de diciembre de 2014).

²⁷ Lillo, Javier. *Peligros geoquímicos: arsénico de origen natural en las aguas*. Grupo de estudios de minería y medio ambiente. <https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag15564/Peligros%20geoqu%C3%ADmicos%20del%20ars%C3%A9nico%20-%20Javier%20Lillo.pdf> (visitada 27 de diciembre de 2014).

t. Boro (Bo)

Cita el autor del *website*²⁸: El boro se considera un elemento esencial para la nutrición humana. Existen estudios que demuestran su influencia en el retardo del crecimiento de las plantas.

Se encuentra en diversos minerales de la corteza terrestre, el más abundante de ellos es borosilicato de aluminio, conocido como tourmalina (Muetterties, 1967). Su incorporación al agua ambiente resulta en gran medida de la meteorización de rocas ígneas y sedimentarias; a este aporte natural se suma el antropogénico. Una parte de este último está constituida por la presencia de Bo en líquidos residuales domésticos y varios residuales industriales, otra parte está conformada por el escurrimiento superficial de aguas pluviales en áreas agrícolas donde se aplican sustancias agroquímicas que lo contienen (Larsen L.A., 1988; Versar Inc., 1975; Anderson et al., 1994; ATSDR, 1992).

La OMS ha establecido como valor máximo para aguas de consumo 0,3 mg/L.

u. Cadmio (Cd)

El autor del *website* cita²⁹: Elemento químico relativamente raro, símbolo Cd, número atómico 48; tiene relación estrecha con el zinc, con el que se encuentra asociado en la naturaleza.

La presencia basal del Cd en las aguas corresponde a concentraciones extremadamente bajas. Sin embargo, los

²⁸ Boro. <http://cdam.minam.gob.pe:8080/bitstream/123456789/109/2/CDAM0000012-2.pdf> (27 de diciembre de 2014).

²⁹ Cadmio. <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/cd.htm#Nombre#ixzz3NCROQ8ra> (28 de diciembre de 2014).

aportes contaminantes antrópicos constituidos por efluentes industriales y cloacales determinan una elevación de los niveles antedichos.

El Cd está presente en las aguas en estado de oxidación +2, pudiendo formar complejos con los iones hidroxilo, carbonato, cloruro y sulfato y también con sustancias húmicas. En aguas superficiales los compuestos predominantes son cloruro de Cd y carbonato de Cd (Mantoura et al., 1978).

La solubilidad del Cd en las aguas dulces es controlada por el equilibrio del carbonato, comenzando la precipitación a valores de pH próximos a 6,9. Por debajo de éstos, predomina la forma iónica libre (Mills et al., 1985).

v. **Cobalto (Co)**

Elemento químico metálico, con número atómico de 27 y un peso atómico de 58,93. Se parece al Fe y Ni, tanto en estado libre como combinado. Se encuentra distribuido con amplitud en la naturaleza y forma, aproximadamente, el 0,001 % del total de las rocas ígneas de la corteza terrestre, en comparación con el 0,02 % del Ni. Se observan trazas de Co en muchos minerales de Fe, Ni, Cu, Ag, Mn y Zn; pero los minerales de Co importantes en el comercio son los arseniuros, óxidos y sulfuros³⁰.

Pequeñas cantidades de este elemento se encuentran en forma natural en la mayoría de las rocas, en el suelo, el agua, en plantas y en animales. El Co elemental es un metal

³⁰ Cobalto. <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/co.htm#Nombre#ixzz3NCUawysr> (28 de diciembre de 2014).

duro, gris-plateado. En el ambiente, se encuentra combinado con otros elementos tales como Oxígeno, Azufre y Arsénico.

El Cobalto está ampliamente dispersado en el ambiente de los humanos por lo que estos pueden ser expuestos a él por respirar el aire, beber agua y comer comida que lo contenga. El contacto cutáneo con suelo o agua que contenga Co puede también aumentar la exposición.

w. Cobre (Cu)

Este elemento es abundante en el medio ambiente y esencial para el crecimiento normal y el metabolismo de todos los organismos vivos (EISLER, 2000).

Las fuentes naturales de exposición al Cu son el polvo arrastrado por el viento, los volcanes, los incendios forestales y la dispersión marina. Entre las emisiones antropogénicas cabe mencionar los hornos de fusión, las fundiciones y refinamientos de Hierro, las centrales eléctricas y fuentes de combustión. Así como también se pueden encontrar en fertilizantes, pesticidas y fungicidas (SPIRO, 2004).

Estudios sugieren que el Cu y sus compuestos son potencialmente carcinogénico en roedores, mutagénico en roedores, ovejas y saltamontes, y teratogénico en pescado y animales pequeños de laboratorio (EISLER, 2000).

Entonces se puede decir que el Cobre es un nutriente esencial y, al mismo tiempo, y un contaminante del agua de consumo.

x. Cromo (Cr)

Está distribuido ampliamente en la naturaleza y si bien en aguas naturales está presente en concentraciones muy bajas, su presencia, bajo los estados de oxidación +3 y +6, puede aumentar como consecuencia de aportes antropogénicos derivados de la utilización de compuestos de Cr (por ejemplo uso de abonos fosfatados)³¹.

La existencia de Cr en acuíferos ha sido descrita por diversos autores (Rodríguez Pacheco, 2002; Robles-Camacho y Armienta, 2000), quienes la vinculan mayoritariamente a acuíferos localizados en áreas de afloramientos de rocas ultramáficas. Rodríguez Pacheco (2002) estudia rocas ultramáficas en Cuba, concluyendo que de las fases minerales presentes los mayores contenidos en Cromo corresponden a cromita, clino y ortopiroxenos.

y. Hierro (Fe)

En muestras filtradas de aguas superficiales oxigenadas, el Hierro raramente alcanza concentraciones de 1 mg/L. Algunas aguas subterráneas y drenajes superficiales ácidos pueden contener una cantidad de Fe bastante mayor (DOMÈNECH, 1995).

La presencia de Fe en aguas superficiales y subterráneas provoca inconvenientes en los sistemas de abastecimiento, tales como la aparición de manchas en las ropas, sanitarios y utensilios domésticos, modificación de las

³¹ Cromo en aguas subterráneas y superficiales en el entorno de una curtiembre, relación con valores de fondo natural. Elena, Córdoba. Argentina. 2009. http://www.igme.es/Boletin/2009/120_4_2009/11-ARTICULO%209.pdf (visitada 29 de diciembre de 2014).

características organolépticas del agua de bebida (olor, sabor y color), además de todos los problemas asociados de bioensuciamiento y corrosión microbiológica causada por las bacterias del hierro en los sistemas de captación y conducción de agua para diferentes usos³².

En condiciones reductoras, el Fe se encuentra en estado ferroso. En ausencia de iones que forman complejos, el hierro férrico no es significativamente soluble a menos que el pH sea muy bajo. Al exponerlo al aire o al añadir oxidantes, el hierro 35 ferroso se oxida a férrico y puede hidrolizarse para formar óxido férrico hidratado insoluble (ADRIANO, 1986).

z. Manganese (Mn)

Es uno de los metales de transición del primer periodo largo de la tabla periódica; se encuentra entre el Cr y el Fe. Tiene propiedades en común con ambos metales. Aunque poco conocido o usado en su forma pura, reviste gran importancia práctica en la fabricación de acero. El Mn se oxida con facilidad en el aire para formar una capa castaña de óxido. También lo hace a temperaturas elevadas. A este respecto su comportamiento es más parecido a su vecino de mayor número atómico en la tabla periódica (Fe), que al de menor número atómico, Cr³³.

El manganeso ofrece una amplia distribución natural, constituye el 0,095 % de la corteza terrestre. Su ocurrencia no está asociada a la forma metálica libre sino a diversas formas

³² Hierro y Manganese en aguas superficiales y subterránea de la provincia de Misiones. <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/caliagua/peru/argcca011.pdf> (29 de diciembre de 2014).

³³ Manganese. <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/mn.htm#Nombre#ixzz3NLXxDZj6> (29 de diciembre de 2014).

compuestas, siendo los más abundantes óxidos, sulfuros, carbonatos y silicatos.

Las formas del Mn predominantes en el medio acuático a medida que aumenta el pH son Mn^{2+} , $MnCO_3(s)$, $MnO_2(s)$ y $MnS(s)$, siendo poco comunes formas como carbonatos ácidos, sulfatos y cloruros (Förstner and Wittman, 1983).

Desde el punto de vista fisiológico, el Manganeseo es conceptualizado como un elemento esencial para las especies animales.

No obstante la esencialidad antedicha, también debe ser considerada la problemática asociada a los efectos tóxicos del Mn. De tal forma, existen riesgos para la salud humana relacionados, por una parte, con la deficiencia del elemento y, por otra, con la toxicidad del mismo. Las consecuencias de la deficiencia de Mn han sido advertidas por estudios en seres humanos en los que se indujo tal deficiencia; los efectos reportados comprenden hipocolesterolemia, dermatitis y pérdida moderada de peso (Dolsy, 1972; Friedman et al., 1987).

En lo concerniente a su toxicidad, ha sido documentada la provocación de desórdenes neurológicos y psiquiátricos resultante de la exposición laboral a Mn, primariamente por inhalación (Donaldson, 1987).

aa. Níquel (Ni)

Es uno de los mayores constituyentes de la Tierra. Es el quinto elemento más abundante, por peso, después del Hierro, Oxígeno, Manganeso y Sílice³⁴.

En su forma natural, como ocurre con otros metales, no presenta gran importancia como fuente de contaminación ambiental. Es decir, que la contaminación principal del ambiente, está vinculada a actividades humanas en la industrial y en menor escala en la minería.

Los niveles basales naturales en el agua son relativamente bajos, pudiendo haber aumentos locales o regionales a consecuencia de fuentes naturales o antropogénicas específicas. Los valores de 2 mg/L – 10 mg/L en agua son bastante comunes, siendo raro encontrar cifras próximas a 0,5 mg/L³⁵.

El Ni es un elemento no degradable, muy difundido en la naturaleza. Debido a su presencia natural en las aguas y en algunos tipos de suelos y en los alimentos; el desarrollo de la industria primaria, intermedia y de utilización del Ni; y además, por su presencia en numerosos utensilios y equipos tanto domésticos como de otros tipos, el hombre está expuesto a dicho metal por diferentes vías y en concentraciones variables.

³⁴ Fuentes de contaminación. <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/eco/031560/031560-02.pdf> (30 de diciembre de 2014).

³⁵ *Ibíd.*

ab. Plomo (Pb)

Este elemento ocurre de forma natural en el ambiente, pero las mayores concentraciones que son encontradas en el ambiente son el resultado de las actividades humanas (DOMÈNECH, 1995).

KRUMGALZ (1995), señala que las sales de Pb entran en el ambiente a través de los tubos de escape de los automóviles. Las partículas grandes precipitarán en el suelo o la superficie de aguas, las pequeñas partículas viajarán largas distancias a través del aire y permanecerán en la atmósfera. Parte de este elemento caerá de nuevo sobre la tierra cuando llueva. Este ciclo del Pb causado por la producción humana está mucho más extendido que el ciclo natural. Otras actividades humanas, como la combustión del petróleo, procesos industriales, combustión de residuos sólidos, también constituyen un contaminante.

El Pb puede terminar en el agua y suelos a través de la corrosión de las tuberías de Plomo en los sistemas de transportes y a través de la corrosión de pinturas que lo contienen. No puede ser roto, pero puede convertirse en otros compuestos (CAMPOS, 1995).

Existen evidencias del efecto del Pb sobre los sistemas nerviosos central y periférico. Datos electrofisiológicos que indican daños en niños a concentraciones de Pb en sangre inferiores a 30 µg/dl (OMS, 1995).

ac. Zinc (Zn)

Se encuentra en compuestos silíceos de las rocas ígneas como producto de la sustitución parcial del Mg. La meteorización de dichas rocas constituye uno de los mecanismos de incorporación de Zn al agua superficial (U.S. EPA, 1987).

En ambientes hídricos aeróbicos el Zn se encuentra en estado de oxidación +2, pudiendo presentarse en formas disuelta y suspendida. Puede existir como ion libre (Zn^{2+}), como compuesto inorgánico neutro, por ejemplo, $ZnSO_4^0$ y $ZnCO_3^0$, conformando diversas especies iónicas, por ejemplo, $ZnCl^+$ y $ZnOH^+$, e inclusive dando lugar a complejos organometálicos (Mills et al., 1985).

La especiación del Zinc está fuertemente determinada por el pH. A valores de pH comprendidos en el rango 6,2 - 8 predomina el ion libre (Mills et al., 1985).

Este elemento se encuentra de forma natural en el aire, agua y suelo, pero las concentraciones aumentan por causas no naturales, debido a la adición de Zn a través de las actividades humanas. La mayoría de este elemento es adicionado durante actividades industriales, como es la minería, la combustión de carbón y residuos y el procesado del acero. La producción mundial de Zn está todavía creciendo. Esto significa básicamente que más Zn termina en el ambiente (ADRIANO, 1986).

DI MARZIO et al. (2005), señala que el agua es contaminada con Zn, debido a la presencia de grandes

cantidades en las aguas residuales de plantas industriales. Estas aguas residuales no son depuradas satisfactoriamente. Una de las consecuencias es que los ríos depositan fango contaminado con Zn en sus orillas. El Zinc puede también incrementar la acidez de las aguas.

Algunos peces pueden acumular Zn en sus cuerpos, cuando viven en cursos de aguas contaminadas con este elemento, cuando el Zn entra en los cuerpos de estos peces es capaz de biomagnificarse en la cadena alimentaria (SCHLATTER, 1992).

ad. Parámetros microbiológicos de la calidad del agua

Los microorganismos más importantes que se pueden encontrar en las aguas son: bacterias, virus, hongos, protozoos y distintos tipos de algas (por ej. Las azul verdosas). La contaminación de tipo bacteriológico es debida fundamentalmente a los desechos humanos y animales, ya que los agentes patógenos –bacterias y virus- se encuentran en las heces, orina y sangre, y son el origen de muchas enfermedades y epidemias (fiebres tifoideas, disentería, cólera, polio, hepatitis infecciosa, etc.)³⁶.

En la red de control de aguas superficiales se analizan los Coliformes totales y *Escherichia coli* que es un indicador de contaminación fecal.

³⁶ El agua en Navarra: Características microbiológicas. https://www.navarra.es/home_es/Temas/Medio+Ambiente/Agua/Documentacion/Parametros/CaracteristicasMicrobiologicas.htm (02 de enero de 2015).

1) *Escherichia coli* (*E-coli*)

E. coli es una de las especies bacterianas más minuciosamente estudiadas, y no solamente por sus capacidades patogénicas, sino también como sustrato y modelo de investigaciones metabólicas, genéticas, poblacionales y de diversa índole (Neidhardt, 1999).

Aproximadamente el 95 % del grupo de los coliformes presentes en heces fecales, están formados por *Escherichia coli* y ciertas especies de *Klebsiella*. Ya que los coliformes fecales se encuentran casi exclusivamente en las heces de animales de sangre caliente, se considera que reflejan mejor la presencia de contaminación fecal. Otro de los aspectos negativos del uso de los coliformes totales como indicador es el hecho de que algunos coliformes son capaces de multiplicarse en el agua (Madigan y col., 1997).

La presencia de *E. coli* indica que el agua ha sido expuesta a heces y existe un inmediato riesgo a la salud humana.

2) Coliformes totales

El grupo coliforme es constante, abundante y casi exclusivo de la materia fecal, sin embargo, las características de sobrevivencia y la capacidad para multiplicarse fuera del intestino también se observan en aguas potables, por lo que el grupo coliforme se utiliza como indicador de contaminación fecal en agua; conforme

mayor sea el número de coliformes en agua, mayor será la probabilidad de estar frente a una contaminación reciente³⁷.

Tradicionalmente se los ha considerado como indicadores de contaminación fecal en el control de calidad del agua destinada al consumo humano en razón de que, en los medios acuáticos, los coliformes son más resistentes que las bacterias patógenas intestinales y porque su origen es principalmente fecal. Por tanto, su ausencia indica que el agua es bacteriológicamente segura. Asimismo, su número en el agua es proporcional al grado de contaminación fecal; mientras más coliformes se aíslan del agua, mayor es la gravedad de la descarga de heces.

No todos los coliformes son de origen fecal, por lo que se hizo necesario desarrollar pruebas para diferenciarlos a efectos de emplearlos como indicadores de contaminación. Se distinguen, por lo tanto, los coliformes totales -que comprende la totalidad del grupo- y los coliformes fecales -aquellos de origen intestinal-. Desde el punto de vista de la salud pública esta diferenciación es importante puesto que permite asegurar con alto grado de certeza que la contaminación que presenta el agua es de origen fecal.

1.1.2 Índice de calidad de agua (ICA)

El autor del *Website*³⁸ define: La valoración de la calidad del agua puede ser entendida como la evaluación de

³⁷ Camacho, A., Et. Al. *Método para la determinación de bacterias coliformes, coliformes fecales y Escherichia coli por la técnica de diluciones en tubo multiples (número más probable o NMP)*. http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/TecnicBasicas-Colif-tot-fecales-Ecoli-NMP_6529.pdf (02 de enero de 2015).

su naturaleza química, física y biológica en relación con la calidad natural, los efectos humanos y usos posibles.

Los índices de calidad son herramientas que permiten asignar un valor de calidad al medio a partir del análisis de diferentes parámetros; poseen la capacidad de resumir y simplificar datos complejos, por medio de expresión numérica, pueden incluirse en modelos para la toma de decisiones.

El ICA es útil para observar la tendencia evolutiva del estado de los ríos a lo largo de los años. Además, son indicadores cualitativos del estado de un cuerpo en estudio. Deben ser complementarios entre sí, ya que en general un deterioro en la calidad del agua puede manifestarse en varias formas; presencia de pesticidas, metales pesados o carga orgánica (Chica-Olmo et al. 2005). En el cuadro 3 se observan los distintos usos que se le puede dar al agua según ICA, esto en base al factor de normalización.

Para realizar el cálculo del ICA es necesario agregarle pesos o factores de ponderación a cada elemento muestreado (cuadro 4), debido a que ciertos elementos son más significativos que otros en lo que respecta a la contaminación y en su influencia en la calidad del agua. Posteriormente los índices son promediados a fin de obtener el ICA de cada muestra de agua (Chen Bac, 2012).

$$\text{ICA} = \sum [(C_i * P_i) / \sum P_i]$$

Donde:

P_i = Peso relativo (1-4); **C_i** = Factor de normalización (0-100)

³⁸ Torres, Patricia, Et. Al. *Índices de Calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica.* <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v8n15s1/v8n15s1a09.pdf> (02 de enero de 2015).

**CUADRO 3
USO DEL AGUA EN BASE AL ICA**

Uso como agua potable		
90 – 100	E	No requiere purificación para consumo (solo en el punto de muestreo).
80 – 90	A	Purificación menor requerida.
70 – 80	LC	Dudoso su consumo sin purificación.
50 – 70	C	Tratamiento potabilizador necesario.
40 – 50	FC	Dudosa para consumo.
0 – 40	EC	Inaceptable para consumo.
Uso en agricultura		
90 – 100	E	No requiere purificación para riego.
70 – 90	A	Purificación menor para cultivos que requieran de alta calidad de agua.
50 – 70	LC	Utilizable en la mayoría de los cultivos.
30 – 50	C	Tratamiento requerido para la mayoría de cultivos.
20 – 30	FC	Uso solo en cultivos muy resistentes.
0 – 20	EC	Inaceptable para riego.
Uso en pesca y vida acuática		
70 – 100	E	Pesca y vida acuática abundante.
60 – 70	A	Límite para peces muy sensitivos.
50 – 60	LC	Dudosa la pesca sin riesgos de salud.
40 – 50	C	Vida acuática limitada a especies muy resistentes.
30 – 40	FC	Inaceptables para actividad pesquera.
0 – 30	EC	Inaceptable para vida acuática.
Uso industrial		
90 – 100	E	No se requiere purificación.
70 – 90	A	Purificación menor para industrias que requieren alta calidad de agua para operación.
50 – 70	LC	No requieren tratamiento para mayoría de industrias de operación normal.
30 – 50	C	Tratamiento para mayoría de usos.
20 – 30	FC	Uso restringido en actividades burdas.
0 – 20	EC	Inaceptable para cualquier industria.
Uso recreativo		
70 – 100	E	Cualquier tipo de deporte acuático.
50 – 70	A	Restringir los deportes de inmersión, precaución si se ingiere dada la posibilidad de presencia de bacterias.
40 – 50	LC	Dudosa para contacto con el agua.
30 – 40	C	Evitar contacto, solo con lanchas.
20 -30	FC	Contaminación visible, evitar cercanía.
0 – 20	EC	Inaceptable para recreación.
E=Excelente; A=Aceptable; LC=Levemente contaminada; C=Contaminada; FC=Fuertemente contaminada; EC=Excesivamente contaminada.		

Fuente: Luis F. León Vizcaíno. *Índices de Calidad de Agua (ICA), forma de estimarlos y aplicación en la cuenca Lerma-Chapala.* Morelos, México. <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6147/1/ICA%20Forma%20de%20estimarlos.pdf>, (15 de marzo de 2014).

CUADRO 4
PARÁMETROS, PESOS RELATIVOS (Pi) Y FACTORES DE NORMALIZACIÓN (Ci) PARA EL ICA

Parámetro	Peso relativo (Pi)	Factor de normalización (Ci)										
		100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
		Valores analíticos a										
Temperatura	1	< 10	< 15	< 18	< 22	< 23	< 25	< 27	< 28	< 30	< 31	> 31
Conductividad	3	< 20	< 35	< 50	< 83	< 117	< 150	< 300	< 500	< 800	≤ 1 200	> 1 200
pH	1	7	7_8	7_8,5	7_9	6,5	6_9,5	5_10	4_11	3_12	2_13	1_14
Oxígeno Disuelto	4	≥ 7,5	< 7,5	< 7	< 6,5	< 6	< 5	< 4	< 3,5	< 3	< 2	< 1
Alcalinidad	1	≤ 50	> 50	> 300	> 550	> 800	> 1 050	> 1 300	> 1 550	> 1 800	> 2 050	> 2 300
Cloruro	1	< 10	< 50	< 100	< 150	< 200	< 300	< 500	< 700	< 1 000	≤ 1 500	> 1 500
Sulfato	2	< 25	< 50	< 75	< 100	< 150	< 250	< 400	< 600	< 1 000	≤ 1 500	> 1 500
Fósforo	2	0	< 0,2	< 0,3	< 0,5	< 0,6	< 0,8	< 1	< 1,8	< 3	≤ 6	> 6
Dureza	1	< 2	< 16	< 32	< 48	< 64	< 80	< 96	< 112	< 128	≤ 160	> 160
Sol totales	4	≤ 250	> 250	> 850	> 1 450	> 2 050	> 2 650	> 3 250	> 3 850	> 4 450	> 5 050	> 5 650
Calcio	1	< 10	< 50	< 100	< 150	< 200	< 300	< 400	< 500	< 600	≤ 1 000	> 1 000
Magnesio	1	< 10	< 25	< 50	< 75	< 100	< 150	< 200	< 250	< 300	≤ 500	> 500
Sodio	1	< 10	< 15	< 25	< 50	< 75	< 100	< 150	< 200	< 250	≤ 300	> 300
Boro	3	≤ 0,3										> 0,3
Hierro	3	< 0,3										≥ 0,3
Zinc	1	≤ 0,01	< 2	< 5	< 8	< 10	< 13	< 14	< 15	< 18	< 20	> 20
<i>E. Coli</i>	4	< 1	< 2	< 5	< 12	< 37	< 65	< 180	< 380	< 1 500	≤ 10 000	> 10 000

Fuente: Investigación de campo, 2015.

a. Índice o nivel de contaminación bacteriana (ICOB)

La contaminación bacteriana está determinada por la concentración de coliformes fecales (*Escherichia coli*). El grado de riesgo para la salud se determina por el nivel de contaminación bacteriana. Según la concentración de coliformes se han desarrollado cinco categorías (cuadro 5): A, B, C, D Y E, dentro de las cuales únicamente la A es de calidad potable y las demás corresponden a no potable (Ramírez Hernández, 2013).

**CUADRO 5
CLASIFICACIÓN PARA LA CONTAMINACIÓN BACTERIANA
SEGÚN EL NIVEL DE RIESGO PARA LA SALUD**

Grado	Coliformes fecales	Clasificación del riesgo
A	< 1	Nulo
B	1 – 4	Bajo
C	5 – 100	Intermedio
D	101 – 1 000	Alto
E	> 1 000	Muy alto

Fuente: Investigación de campo, 2014.

b. Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS)

Se determina tan sólo mediante la concentración de sólidos suspendidos. Si bien esta variable tiene alguna correlación de importancia con la demanda de Oxígeno (DBO y DQO) y con el amonio, se desagregó de las anteriores por cuanto estas últimas corresponden con claridad a procesos de contaminación orgánica, mientras que los sólidos suspendidos bajo muchas circunstancias, podrían perfectamente hacer referencia tan sólo a compuestos inorgánicos³⁹.

³⁹ Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. Formulaciones y aplicación. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0122-53831997000100009&script=sci_arttext (26 de enero 2015).

Para determinar el ICOSUS se tiene la siguiente formula:

$$\text{ICOSUS} = - 0,02 + 0,003 \text{ sólidos suspendidos (g}\cdot\text{m}^{-3}\text{)}$$

Sólidos suspendidos mayores a $340 \text{ m}\cdot\text{g}^{-3}$ tienen **ICOSUS = 1**

Sólidos suspendidos menores a $10 \text{ m}\cdot\text{g}^{-3}$ tienen **ICOSUS = 0**

CUADRO 6
CONCENTRACIONES Y CALIDAD DEL AGUA, SEGÚN ICOCUS

Concentración	Calidad
< 10	Muy buena, cuenca alta
10 – 25	Normal, cuenca alta-media
25 – 50	Buena, cuenca media-baja
50 – 75	Buena, cuenca baja
75 – 150	Media, contaminados
150 – 300	Mediocre, contaminados
> 300	Muy contaminados

Fuente: Investigación de campo, 2014.

c. Índice de contaminación trófica (ICOTRO)

Se determina en esencia por la concentración del Fósforo total⁴⁰.

CUADRO 7
CONCENTRACIONES DE REFERENCIA DE FOSFORO PARA EL ICOTRO

Concentración	Calidad
0,17 (g/m ³)	Deseable potable
< 0,01 (g/m ³)	Oligotrófico
0,01 – 0,02 (g/m ³)	Mesotrófico
> 0,02 (g/m ³)	Eutrófico

Fuente: Investigación de campo, 2014.

El ICOTRO se fundamenta en la concentración del Fósforo total. A diferencia de los índices anteriores, en los cuales se determina un valor particular entre 0 y 1, la concentración del Fósforo total define por sí misma una categoría discreta, en el cuadro 7 se muestran las concentraciones de referencia para el ICOTRO.

⁴⁰ Ibíd.

d. Índice de contaminación por mineralización (ICOMI)

Este índice está expresado por las variables, de conductividad como reflejo de los sólidos disueltos, dureza por los cationes Calcio y Magnesio y alcalinidad por los aniones. Los valores muy bajos cercanos a cero reflejan baja contaminación por mineralización y cercanos a uno lo contrario⁴¹.

$$\text{ICOMI} = \frac{1}{3} (I_{\text{Conductividad}} + I_{\text{Dureza}} + I_{\text{Alcalinidad}})$$

Dónde:

- **I Conductividad**

$$\text{Log}_{10} (I_{\text{Conductividad}}) = -3,26 + 1,34 \text{ Log}_{10} \text{Conductividad } (\mu\text{S/cm})$$

$$\text{Entonces } I_{\text{Conductividad}} = 10^{\text{Log } I_{\text{Conductividad}}}$$

Para esta variable hay que tener en cuenta que conductividades mayores a 270 $\mu\text{S/cm}$, se les asigna el valor de 1.

- **I Dureza**

$$\text{Log}_{10} (I_{\text{Dureza}}) = -9,09 + 4,40 \text{ Log}_{10} \text{Dureza } (\text{mg/L})$$

$$\text{Entonces } I_{\text{Dureza}} = 10^{\text{Log } I_{\text{Dureza}}}$$

Se debe tener en cuenta que:

Dureza mayor a 110 mg/L tiene un valor de 1 ($I_{\text{Dureza}} = 1$)

Dureza menor a 30 mg/L tiene valor de 0 ($I_{\text{Dureza}} = 0$)

- **I Alcalinidad**

$$I_{\text{Alcalinidad}} = -0,25 + 0,005 \text{ Alcalinidad } (\text{mg/L})$$

⁴¹ Aldana Aguilar, Monica Lisett y Elvis Edison Zacarias Laynes. *Determinación de los índices de calidad de agua del río Cucabaj y la influencia en los costos de tratamientos de potabilización*. http://sitios.usac.edu.gt/wp_cusacq/wp-content/uploads/2013/08/Articulo-agua-rio-Cucabaj-2013-11.pdf (17 de enero de 2015).

Para esta variable se debe tener en cuenta:

Alcalinidades mayores a 250 mg/L tienen un valor de 1 (I

Alcalinidad = 1)

Alcalinidades menores a 50 mg/L tienen un valor de 0 (I Alcalinidad

= 0)

**CUADRO 8
INTERPRETACIÓN DEL ICOMI**

Rangos	Concentración	Indicador
0 – 0,2	Muy baja	Muy buena
0,21 – 0,4	Baja	Buena
0,41 – 0,6	Media	Media
0,61 – 0,8	Alta	Mala
0,81 – 1	Muy alta	Muy mala o pésima

Fuente: Investigación de campo, 2015.

1.1.3 Normas guatemaltecas obligatorias para la calidad del agua potable (COGUANOR NGO 29 001)

Las normas COGUANOR NGO 29 001 son las establecidas por el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social e indica los límites máximos aceptables y permisibles, de las características fisicoquímicas y bacteriológicas que debe cumplir el agua para consumo humano. La norma NGO 29 001 es de cumplimiento nacional y es el estándar de comparación para los parámetros de calidad de agua.

a. Límite máximo aceptable (LMA)

El LMA se define a concentraciones por encima de la cual el agua es rechazable para el consumo, desde el punto de vista sensorial, pero sin que ello signifique un daño o peligro al consumidor (Chen Bac, 2012).

b. Límite máximo permisible (LMP)

El LMP expresa que concentraciones de cualquier elemento en el agua, arriba de la cual el agua no es adecuada para el consumo humano.

**CUADRO 9
PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS, BACTERIOLÓGICOS Y SUS LÍMITES
MÁXIMOS**

Parámetro	LMA	LMP
Temperatura	15,0 ° C – 25,0 ° C	34,0 ° C
Conductividad	---	< de 1 500 µS/cm
Ph	7,0 – 7,5	6,5 – 8,5
Oxígeno Disuelto	---	> 6 mg/L
Alcalinidad	---	400,0 mg/L
Cloruro	100,0 mg/L	500,0 mg/L
Sulfato	100,0 mg/L	250,0 mg/L
Fosfato	---	0,025 mg/L
Dureza	100,0 mg/L	500,0 mg/L
Sol totales	500,0 mg/L	1 000,0 mg/L
DQO	---	1 000,0 mg/L
Grasas y Aceite	---	0,3 mg/L
Calcio	75,0 mg/L	150,0 mg/L
Magnesio	50,0 mg/L	100,0 mg/L
Potasio	---	10,0 mg/L
Sodio	---	200 mg/L
Aluminio	0,050 mg/L	0,10 mg/L
Arsénico	---	0,01 mg/L
Boro	---	0,30 mg/L
Cadmio	---	0,003 mg/L
Cobalto	---	0,20 mg/L
Cobre	0,050 mg/L	1,50 mg/L
Cromo	---	0,05 mg/L
Hierro	0,10 mg/L	1,0 mg/L
Manganeso	0,05 mg/L	0,50 mg/L
Níquel	---	0,50 mg/L
Plomo	---	0,01 mg/L
Zinc	3,0 mg/L	70,0 mg/L
<i>E. Coli</i>	---	No debe ser detectable en 100 ml de agua

Fuente: Investigación de campo, 2015.

1.1.4 Hidrogeoquímica y su clasificación para aguas superficiales

La hidrogeoquímica trata del origen, los procesos y la evolución de la composición del agua almacenada en las unidades hidrogeológicas (acuíferos). Ésta es una herramienta básica para determinar la calidad natural del agua para diferentes usos, mediante análisis fisicoquímicos.⁴²

Con el resultado de los análisis fisicoquímicos, las aguas se pueden clasificar según su dureza, pH y/o iones mayores dominantes.

a. Clasificación según dureza

Puede variar según la zona y el uso específico que se dé al agua, por esta razón, en la literatura se encuentran rangos que pueden variar de un autor a otro (Ramírez Hernández, 2013).

CUADRO 10
CLASIFICACIÓN DE AGUA EN BASE A SU DUREZA

Denominación	ppm de CaCO ₃
Muy suave	0 – 15
Suave	16 – 75
Media	76 – 150
Dura	150 – 300
Muy dura	> 300

Fuente: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/leip/valenzuela_m_td/ca_pitulo3.pdf (19 de enero de 2015).

De acuerdo a la concentración de carbonatos contenidos en el agua ésta puede clasificarse en niveles de dureza (cuadro 10).

⁴² Gómez Rave, Juan Camilo. *Geología, Geofísica, Hidrogeoquímica e Isótopos, como herramientas para definir un modelo conceptual hidrogeológico, caso de aplicación: Acuífero costero de municipio de Turbo*. Ibíd. pág. 2-7.

b. Clasificación según pH

El agua puede ser clasificada también químicamente en base a su pH. A continuación se muestra el rango de pH y el nombre que se le da a cada tipo de agua.

CUADRO 11
CLASIFICACIÓN DE AGUA SEGÚN SU pH

Tipo	Nivel de pH
Fuertemente ácida	$\leq 3,5$
Ácida	$3,5 < x \leq 5,5$
Débilmente ácida	$5,5 < x \leq 6,8$
Neutra	$6,8 < x \leq 7,2$
Débilmente básica	$7,2 < x \leq 8,5$
Básica	$> 8,5$

Fuente: http://www.ecured.cu/index.php/Clasificaciones_qu%C3%ADmicas_del_agua (20 de enero de 2015).

c. Clasificación según iones mayores dominantes

Se nombra el agua por el anión o el catión que sobrepasa al 50 % de sus sumas respectivas; si ninguno supera el 50 % se nombran los dos más abundantes. Si conviene se puede añadir el nombre de algún ión menor que esté en concentración anormalmente alta⁴³.

En aguas superficiales suelen presentarse los aniones HCO_3^- , SO_4^{-2} y Cl^- , y los cationes Na^+ , Ca^{+2} y Mg^+ .

El manejo y estudio de análisis químicos puede simplificarse con el empleo de gráficos y diagramas, en especial cuando se trata de hacer comparaciones entre varios análisis de aguas de un mismo lugar en épocas diferentes o de lugares diferentes (Custodio y Llamas, 1976).

⁴³ Dureza. http://www.fcca.es/static_media/file_uploads/dureza.pdf (20 de enero de 2015).

Son múltiples los diagramas desarrollados con este fin: diagramas columnares, triangulares, circulares, poligonales, columnares logarítmicos, etc.

1) Diagramas de *Stiff* Modificado

Consiste en tomar, sobre semirrectas paralelas, segmentos proporcionales a la concentración de cada ión (meq/L) y unir los extremos para formar un polígono.

Permite apreciar rápidamente los valores de las relaciones iónicas con respecto a la unidad y la variación de las relaciones entre cationes y entre aniones de una muestra.

La forma de cada polígono orienta sobre el tipo de agua, y su tamaño da una idea relativa del contenido iónico total del agua. Pueden representarse en un mapa, con lo que se visualiza rápidamente la variación espacial.

1.2 Geoquímica de suelos

Las características de los suelos difieren en función de los aspectos geológicos, fisiográficos y climáticos de una región. Estas condicionan sus perfiles típicos en cuanto al desarrollo (o ausencia) y extensión de los diferentes horizontes (A-C). Bajo el punto de vista de la geoquímica el horizonte B (de acumulación) presenta un gran interés, ya que es ahí donde suelen concentrarse de preferencia los elementos químicos⁴⁴.

⁴⁴ Geoquímica de suelos. http://www.uclm.es/users/higueras/mga/Tema04/Prospeccion_geoquimica_1_1.htm (20 de enero de 2015).

La toma de muestras y estudio del perfil del suelo permite conocer la evolución del contenido metálico en profundidad. Otro problema de interés es el de la distribución de los elementos en las diferentes fracciones granulométricas de los suelos. Aunque generalmente la fracción más fina contiene más minerales de arcilla, materia orgánica, óxidos hidratados de Fe y Mn, y por lo tanto es la más rica en metales.

1.2.1 Suelos no contaminados

La composición química de un suelo viene determinada, en buena parte, por el tipo de material originario (roca), puesto que es el material base a partir del cual se forma el suelo. Junto a este material se va añadiendo, en el transcurso del tiempo que dura la formación de un suelo, materia orgánica procedente de organismos vivos. El contenido mineral de un suelo es el que determina su fertilidad⁴⁵.

Básicamente son tres los tipos de rocas que pueden ser material original del suelo (rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas).

Todo suelo está constituido por componentes inorgánicos y orgánicos. Los primeros derivados de la meteorización de la roca y los otros como el resultado de la descomposición de los restos de seres vivos por acción de bacterias y hongos.

1.2.2 Elementos mayores

Los elementos mayores son los que se encuentran presentes en la corteza terrestre en cantidades superiores al uno

⁴⁵ Guía sobre suelos contaminados. http://www.conectapyme.com/files/medio/guia_suelos_contaminados.pdf (22 de enero de 2015).

por ciento y comprenden cerca del noventa y nueve por ciento de la corteza terrestre.

a. Calcio (Ca)

Proviene de la meteorización de minerales que lo contienen (piroxenos, anfíboles o plagioclasas); pero la mayor parte de calizas, las cuales proceden de la intervención de organismos que toman de las aguas los elementos para formar sus conchas y caparazones (corales, algas, foraminíferos, etc.). Al morir, se produce una acumulación de estas partes que se unen por un cemento calcáreo generando a la vez que la sedimentación o por procesos diagenéticos (Muñoz Donis, 2011).

Los cationes de calcio provienen de minerales primarios; feldespato, piroxenos, anfíboles y de minerales secundarios; minerales arcillosos.

b. Hierro (Fe)

Es uno de los elementos más frecuentes en las rocas y en los suelos agrícolas. El color del suelo y, en consecuencia, la diferenciación visual de los horizontes del perfil se relaciona, frecuentemente, con la forma y composición de los depósitos de óxidos e hidróxidos de Fe, cuyo contenido en el suelo suele expresarse en porcentajes. Los óxidos de Hierro son minerales de neoformación provenientes de la alteración de rocas y suelos y, debido a que no se encuentran unidos química o estructuralmente a los silicatos, ocurren como óxidos libres⁴⁶.

⁴⁶ Acevedo Sandoval, Otilio, Et. Al. *El papel de óxidos de hierro en suelos*. 2004. <http://www.redalyc.org/pdf/573/57311096013.pdf> (24 de enero de 2015).

Los óxidos de Hierro en el suelo son importantes, ya que no existe prácticamente un suelo donde no se encuentren, aunque sea en pequeñas cantidades. El conocimiento de estructura, propiedades y naturaleza de los óxidos de Fe ha aumentado en los últimos años, si bien estos conocimientos indican las complejas relaciones que se establecen entre los óxidos y los otros componentes orgánicos e inorgánicos del suelo.

Los óxidos de Hierro presentes en el suelo, en especial depositados como recubrimiento de minerales primarios y secundarios o infiltrados en agregados de arcilla, alteran la carga eléctrica, modifican las propiedades de superficie e incrementan la capacidad amortiguadora del suelo; el Fe juega un papel importante en la agregación de partículas y en la formación de la estructura del suelo⁴⁷.

Las fuentes de Fe en los suelos las constituyen diversos minerales primarios ferromagnesianos, destacando los piroxenos, anfíboles, algunas variedades de granate, epidota, filosilicatos como biotitas y olivino. Una pequeña parte de Fe se incorpora a la estructura de los filosilicatos, en particular en los minerales 2:1 o se compleja con la materia orgánica (Murad y Fischer, 1985).

El Fe en las rocas se presenta en estado divalente y se libera a través de una reacción combinada hidrolítica oxidativa (Besoain, 1985).

⁴⁷ Ibíd.

c. Magnesio (Mg)

Es un constituyente común de muchos minerales, llega a comprender el 2 % de la corteza terrestre.

Varios minerales ferromagnesianos (como el olivino, piroxeno, anfíbol y mica) son las principales fuentes de Mg en las rocas ígneas básicas. Los minerales secundarios como la dolomita ($\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$), magnesita (MgCO_3), talco ($(\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$) y el grupo de las serpentininas ($(\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) son derivados de estos grupos primarios⁴⁸.

El nombre suelo de serpentina se utiliza para denominar a aquellos suelos que tienen altas cantidades de serpentina, especialmente suelos que no han sido fertilizados. En estos suelos de serpentina ultramáficos, la alta concentración de Mg afecta el crecimiento de las plantas. Sin embargo, las concentraciones de Mg disponible para las plantas no se pueden predecir adecuadamente basándose solamente en la composición del material parental debido a las diferencias en las tasas de meteorización de los minerales y la lixiviación del Mg⁴⁹.

d. Potasio (K)

Es uno de los elementos más abundantes de la corteza terrestre. Los suelos tienen grandes cantidades (mucho más que lo absorben las plantas) pero sólo un pequeño porcentaje está disponible. La cantidad de K disponible en un suelo sin

⁴⁸ Fuentes de Magnesio. [https://ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/\\$webindex/0FF40EBB414EF2B10525777D0075087B/\\$file/3.+Fuentes+de+Magnesio.pdf](https://ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/$webindex/0FF40EBB414EF2B10525777D0075087B/$file/3.+Fuentes+de+Magnesio.pdf) (24 de enero de 2015).

⁴⁹ *Ibíd.*

fertilizar depende de la cantidad y tipo de minerales potásicos y condiciones ambientales durante la formación del suelo⁵⁰.

Del 90 % al 98 % del K total se encuentra en estado mineral en el suelo, este en estructura de minerales primarios (feldespatos, micas). El Potasio no intercambiable o fijado (1 % al 10 % del total), se encuentra en intercapa de minerales secundarios (arcillas de tipo micas)⁵¹.

e. Sodio (Na)

La acumulación del Sodio en el suelo tiene dos efectos principales; en primer lugar si es absorbido como ión, al acumularse es tóxico para las plantas y si es absorbido por las arcillas, sustituye al Ca y al Mg, lo que provoca cambios en la estructura que afectan la permeabilidad del suelo y el crecimiento de las plantas⁵².

Las sales de Sodio proceden fundamentalmente de la meteorización de las rocas ígneas y se acumulan en rocas sedimentarias, suelos y aguas.

1.2.3 Elementos traza

a. Aluminio (Al)

Es el tercer elemento más abundante presente en la corteza terrestre y el metal más abundante. Aunque es un constituyente de todos los suelos, plantas y animales, es también persistente en la naturaleza en la forma elemental. En

⁵⁰ Potasio. http://www.fagro.edu.uy/~fertilidad/curso/docs/Potasio_impr.pdf (24 de enero de 2015).

⁵¹ *Ibíd.*

⁵² Beita Sandí, Wilson. *Caracterización fisicoquímica de las aguas superficiales de la cuenca del río Rincón en la Península de Osa, Puntarenas, Costa Rica*. *Ibíd.* s/p.

la litósfera, nunca se encuentra como un metal puro, pero bastante en combinación con Oxígeno y Silicio como minerales alumino-silicato complejos e insolubles, los cuales son abundantes en rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias. Como un resultado de procesos de desgaste natural, el Al se encuentra en los suelos bajo forma de mineral secundario estable como arcillas o silicatos de aluminio impuros, hidróxido de aluminio, etc⁵³.

Cuando el pH es menor a 5,0 es una fuente de acidez, bloqueando las posiciones de intercambio y puede llegar a ser tóxico para las plantas.

b. Arsénico (As)

Es un elemento ampliamente distribuido en la corteza terrestre. Ha sido clasificado químicamente como un metaloide; sin embargo, se le refiere frecuentemente como un metal. El As elemental (llamado también Arsénico metálico) es un material sólido de color gris acero. Sin embargo, en el ambiente generalmente se encuentra combinado con otros elementos, como por ejemplo O, Cl y S. El Arsénico combinado con estos elementos se conoce como arsénico inorgánico y combinado con Carbono e Hidrógeno se conoce como arsénico orgánico⁵⁴.

El arsénico inorgánico ocurre naturalmente en el suelo y en muchos tipos de rocas, especialmente en minerales que contienen Cu o Pb. Ya que ocurre naturalmente en el suelo y

⁵³ Criterios de calidad de suelos y de aguas o afluentes tratados para uso en riego. http://bibliotecadigital.sag.gob.cl/documentos/medio_ambiente/criterios_calidad_suelos_aguas_agricolas/pdf_aguas/anexo_A/aluminio.pdf (27 de diciembre de 2014).

⁵⁴ Arsénico. http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs2.html (24 de enero de 2015).

en minerales, puede entrar al aire, al agua y al suelo en polvo que levanta el viento. También puede entrar al agua en agua de escorrentía o en agua que se filtra a través del suelo. Las erupciones volcánicas constituyen otra fuente de As.

La concentración de As en el suelo varía ampliamente, en general entre 1 ppm y 40 ppm, con un promedio de 3 ppm a 4 ppm. Sin embargo, los suelos cerca de depósitos geológicos ricos en As, cerca de algunas minas y fundiciones, o en áreas agrícolas donde se usaron plaguicidas con As, pueden tener niveles mucho más altos⁵⁵.

c. Cadmio (Cd)

Es un elemento no esencial cuyas propiedades químicas son intermedias entre el Zn y el Hg. En ambientes dulceacuícolas, está íntimamente asociado con la materia coloidal como CdCl_2 y CdSO_4 . Las principales fuentes de Cd en ambientes acuáticos son debidas al lavado de los suelos agrícolas y a las descargas de la minería y la industria (Villanueva y Botello., 1992).

Los principales compuestos utilizados en la industria son: óxido, sulfuro, cloruro, bromuro y sulfato. Igualmente posee una serie de usos como en la industria del Zn y extracción del Cd a partir de sus residuos, cadmiado de metales, aleaciones con acero, Zn y Cu, pigmentos para pinturas, en industria atómica, en la industria del plástico y fabricación de células solares, etc (OECD., 1994).

⁵⁵ *Ibíd.*

En seres humanos, la exposición a largo plazo se asocia a la disfunción renal. La alta exposición puede conducir a la enfermedad obstructora del pulmón y se ha ligado al cáncer del pulmón, aunque los datos referentes al último son difíciles de interpretar debido a los diferentes factores que originan el cáncer. El Cd puede también producir efectos en el tejido óseo (osteomalacia, osteoporosis) en seres humanos y animales.

Los contenidos de Cd en los suelos son relativamente bajos y la absorción en los vegetales es relativamente pobre, por lo que en condiciones normales de cultivo, no suele ser preocupante esta vía de entrada en la cadena alimenticia, pero si se pueden dar valores más elevados al utilizar fuentes de abonos fosforados ricos en Cd o bien residuos urbanos, al igual que en suelos que eventualmente contienen altas concentraciones de este metal (Baird, 2000; Martínez *et al.*, 2002).

d. Cobalto (Co)

Es un elemento que se encuentra naturalmente distribuido en las rocas, suelos, agua y vegetación. Usualmente se halla en asociación con el Ni. Posee dos estados de oxidación (Co^{2+} y Co^{3+}). El Co esencial a nivel de trazas para el hombre y otros mamíferos como componente del complejo vitamínico B12⁵⁶.

Los flujos de Co a través de los ambientes terrestres pueden ser debido a procesos naturales y antropogénicos. El Co relacionado con las actividades humanas se deriva

⁵⁶ Marrugo Negrete, José Luis. *Evaluación de la Contaminación por Metales Pesados en la Ciénaga la Soledad y Bahía Cispataá*. Universidad de Córdoba, Facultad de Ciencias Básicas. 2011. Doc. PDF. Pág. 28

principalmente de la minería y refinación de Ni, Cu, Ag, Pb y Fe, calderas industriales que queman carbón y petróleo, vehículos que queman gasolina y las incineradoras que queman residuos y lodos de aguas residuales. El Co tiene muchos usos industriales estratégicas en herramientas de corte, superaleaciones, revestimientos de superficies, aceros de alta velocidad, los carburos de cemento, herramientas de diamante, los imanes, cerámica y pigmentos (Gál *et al.*, 2008).

e. **Cobre (Cu)**

Es un metal que ocurre naturalmente en el ambiente en rocas, el suelo, el agua y el aire. Es esencial para plantas y animales (incluso seres humanos), lo que significa que es necesario para la vida. Por lo tanto, las plantas y los animales deben absorber Cu de los alimentos o bebidas que ingieren o del aire que respiran (ATSDR, 2004).

Las fuentes naturales de cobre incluyen el viento 0,9 – 15 x 10³ ton; partículas volcánicas, 0,9 – 18 x 10³ ton; incendios forestales, 0,1 a 7,5 x 10³ mg/kg; brisa marina, 0,2 a 6,9 x 10³ ton, y procesos biogénicos 0,1 – 6,4 x 10³ ton, mientras que las fuentes antropogénicas son: fundidoras, industria del Fe, estaciones de energía, aunque la mayor liberación de Cu a la tierra es de los jales de las minas de Cu y lodos del drenaje (Res *et al.* 1998). El Cu se usa en la fabricación de fertilizantes, bactericidas, fungicidas, plaguicidas, sistemas de distribución de agua, preservadores de maderas, galvanoplastia, entre otros (Mireya y Mendoza, 2007).

En la atmósfera se encuentra asociado con las partículas sólidas y es a través de la sedimentación, deposición seca y lluvia que llega al suelo. En el Cu que se halla en el agua resulta del intemperismo del suelo y descargas de la industria y plantas de tratamiento de lodos (Wallinder y Leygraf., 1997).

f. Cromo (Cr)

Es un metal que se encuentra en la naturaleza en varias combinaciones con otras sustancias. Esta distribuido por toda la corteza terrestre, pero presenta una concentración mayor en las rocas básicas, de donde es extraído para su utilización en diversas actividades industriales, principalmente en metalurgia, química y en producción de pigmentos. Puede presentarse en la forma iónica con valencia +2, +3 ó +6. De éstas, las más importantes en cuanto a sus efectos sobre la salud humana, son la trivalente (+3) y la hexavalente (+6). La trivalente es un forma esencial para el metabolismo humano, el Cr hexavalente es tóxico⁵⁷.

Se puede decir que el Cr ocurre naturalmente en rocas, animales, plantas y en el suelo, en donde existe en combinación con otros elementos para formar varios compuestos.

En el suelo el Cr se puede encontrar en concentraciones de hasta 250 mg/kg. En general, se encuentran concentraciones medias de 125 mg/kg, pero la contaminación

⁵⁷ Cromo. <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsea/e/fulltext/cromo/cromo.pdf> (24 de enero de 2015).

por el uso de fertilizantes puede elevarlas (GALVAO & COREY op. cit.).

g. Manganeso (Mn)

Éste metal es el segundo más abundante en la Tierra. Los depósitos de mineral son por lo general de origen sedimentario, con capas de óxido de intercaladas con formaciones ricas en Fe (Das *et al.*, 2011).

Los compuestos del Mn existen de forma natural en el ambiente como sólidos en suelos y pequeñas partículas en el agua. El Mn que deriva de las fuentes humanas puede también entrar en la superficie del agua, aguas subterráneas y aguas residuales. A través de la aplicación del Mn como pesticida este entrará en el suelo (PARRA et al., 2004).

h. Níquel (Ni)

Es un elemento metálico que se encuentra ampliamente distribuido en la corteza terrestre. Debido a sus propiedades fisicoquímicas es utilizado en la industria moderna. Entre los usos del Ni están: preparación de aleaciones con Cu, Fe y Al, preparación de aceros especiales, niquelado por electrólisis, catalizador en los reactores químicos y fabricación de baterías de Ni-Cd (Denkhaus y Salnikow., 2002).

Debido al alto consumo de productos que contienen este metal ocasionan la contaminación ambiental por Ni y sus derivados en las diferentes etapas de producción, reciclaje y eliminación. La exposición humana al Ni se produce fundamentalmente por inhalación y por ingestión. Cantidades significativas de Ni en diferentes formas se pueden depositar

en el cuerpo humano a través de la exposición ocupacional y la dieta diaria, lo cual puede generar efectos nocivos sobre la salud humana. Por contacto puede ocasionar dermatitis que es la reacción más común y conocida (Kapsenberg *et al.*, 1988).

El Ni se encuentra en todos los suelos presentes en formas insolubles (como sulfuros y silicatos) y un gran número de formas solubles, este puede ser liberado por emisiones volcánicas. También se encuentra en meteoritos y en el suelo de los océanos (Garrett., 2000).

i. Plomo (Pb)

Es un componente natural de la corteza terrestre, y se encuentra comúnmente en los suelos, plantas y agua a niveles traza. La aparición de Pb metálico en la naturaleza es poco frecuente; se encuentra generalmente en los minerales que también contienen Cu, Zn y Ag, y se extrae como un co-producto de estos metales (Cheng y Hu, 2010).

Los efectos tóxicos producidos por el Pb son conocidos desde hace más de 2 000 años y a pesar de ello continúa siendo un importante tema de salud pública en la mayoría de los países industrializados. Puede afectar a casi todos los órganos y sistemas del organismo. El más sensible es el sistema nervioso, especialmente en los niños (en forma orgánica). También daña los riñones y el sistema reproductivo. La conexión entre estos efectos y la exposición a bajos niveles de Pb es incierta (Casas, 1994).

Una de las principales fuentes de contaminación del ambiente es el proveniente de la combustión de la gasolina (CDC, 2007).

j. Zinc (Zn)

Este elemento puede interrumpir la actividad en los suelos, con influencias negativas en la actividad de microorganismos y lombrices. La descomposición de la materia orgánica posiblemente sea más lenta debido a esto (OMS, 1995).

No se le atribuye nivel de clasificación de riesgo, puesto que no supone un gran peligro.

No obstante esto sólo se refiere al estado elemental, ya que algunos derivados, como arsenato de zinc y cianuro de zinc, pueden ser extremadamente peligrosos. Es un mineral esencial para seres humanos y animales, la ingestión de cantidades excesivas pueden perjudicar la salud de ambos y volverse tóxico. El lodo que proviene de las plantas de tratamiento de aguas residuales se aplica en agricultura, horticultura y silvicultura, y por lo tanto las concentraciones no deben sobrepasar los límites de 3 g/kg. Se presenta un enriquecimiento alrededor de las granjas piscícolas como resultado de los insumos alimenticios y los desechos fecales (Dean *et al.*, 2007).

1.2.4 Evaluación de calidad de suelos

a. Índice de geoacumulación

Los índices de geoacumulación (I_{geo}) miden el grado de contaminación de sustancias orgánicas e inorgánicas en un suelo (Loska et al., 1997; Moreira y Boaventura, 2003).

Para poder determinar el índice de geoacumulación es necesario tomar en cuenta la siguiente fórmula:

$$I_{geo} = \log_2 (C_n / 1,5 * B_n)$$

Donde C_n es la media de la concentración del elemento n en el suelo y B_n es el *background* geoquímico del elemento. 1,5. Es un factor introducido por Müller para corregir las posibles variaciones del valor de fondo debido a variaciones litológicas.

A partir de la obtención del índice de geoacumulación, puede realizarse una comparación con la siguiente tabla, esto con el fin de identificar el valor, clase y grado de contaminación.

CUADRO 12
CLASIFICACIÓN DE VALORES, CLASES DE ÍNDICE DE
GEOACUMULACIÓN Y GRADO DE CONTAMINACIÓN

Valor I_{geo}	Clase de I_{geo}	Grado de contaminación
0	$I_{geo} < 0$	No contaminado
1	$0 < I_{geo} < 1$	No contaminado a moderadamente contaminado
2	$1 < I_{geo} < 2$	Moderadamente contaminado
3	$2 < I_{geo} < 3$	De moderadamente a fuertemente contaminado
4	$3 < I_{geo} < 4$	Fuertemente contaminado
5	$4 < I_{geo} < 5$	De fuertemente contaminado a extremadamente contaminado
6	$5 > I_{geo}$	Extremadamente contaminado

FUENTE: Elaboración propia en base a <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10412207> (25 de octubre de 2013).

El índice de geoacumulación consiste de siete grados (cuadro 12), donde el grado más alto es seis, refleja cien veces el doble del enriquecimiento sobre los valores de *background* (Muños Donis, 2011).

b. Factor de enriquecimiento

El factor de enriquecimiento (FE) informa de la dinámica de un contaminante inorgánico o elemento químico de la corteza terrestre que puede ser transportado por la lluvia, viento o por fuentes antropogénicas (Hansen et al., 1995; Reiman y de Caritat, 2000).

Para definir el factor de enriquecimiento es necesario utilizar la siguiente fórmula:

$$FE = \frac{(X / Fe) \text{ suelo}}{(X / Fe) \text{ corteza terrestre}}$$

Donde X/Fe es la proporción de concentración media del elemento X a Fe, del suelo en estudio y de la abundancia en la corteza terrestre del mismo elemento. Se utiliza el Fe como elemento normalizador, ya que las fuentes naturales de este elemento son mayores comparadas con las de origen antropogénica. El factor de enriquecimiento se clasifica según el siguiente cuadro:

CUADRO 13
CLASIFICACIÓN DEL FACTOR DE ENRIQUECIMIENTO

FE	Clasificación
>0,5	Deficiencia significativa
1	Enriquecimiento o deficiencia no significativa
2-10	Enriquecimiento moderado
<10	Enriquecimiento fuerte

FUENTE: Elaboración propia en base a <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10412207> (25 de octubre de 2013).

Para realizar el análisis de los metales pesados en el suelo y definir el origen del elemento, es necesaria la utilización del siguiente cuadro:

CUADRO 14
CLASES DE FACTORES DE ENRIQUECIMIENTO DE UN METAL PESADO

Clases de FE	Origen del elemento X (metal pesado)
1-10	De la roca madre
10-500	Moderadamente enriquecido, e indica otra fuente de enriquecimiento adicional a la roca madre
>500	Indica un alto enriquecimiento y muestra que existe una grave contaminación de origen antropogénico

FUENTE: Elaboración propia en base a <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10412207> (visitada 25/10/2 013).

1.3 Geología

Para tener un mejor entendimiento del contexto geológico fue necesario dividir tres aspectos importantes, como la litoestratigrafía regional, litoestratigrafía local y geología estructural. A continuación se describe cada una de ellas.

1.3.1. Litoestratigrafía regional

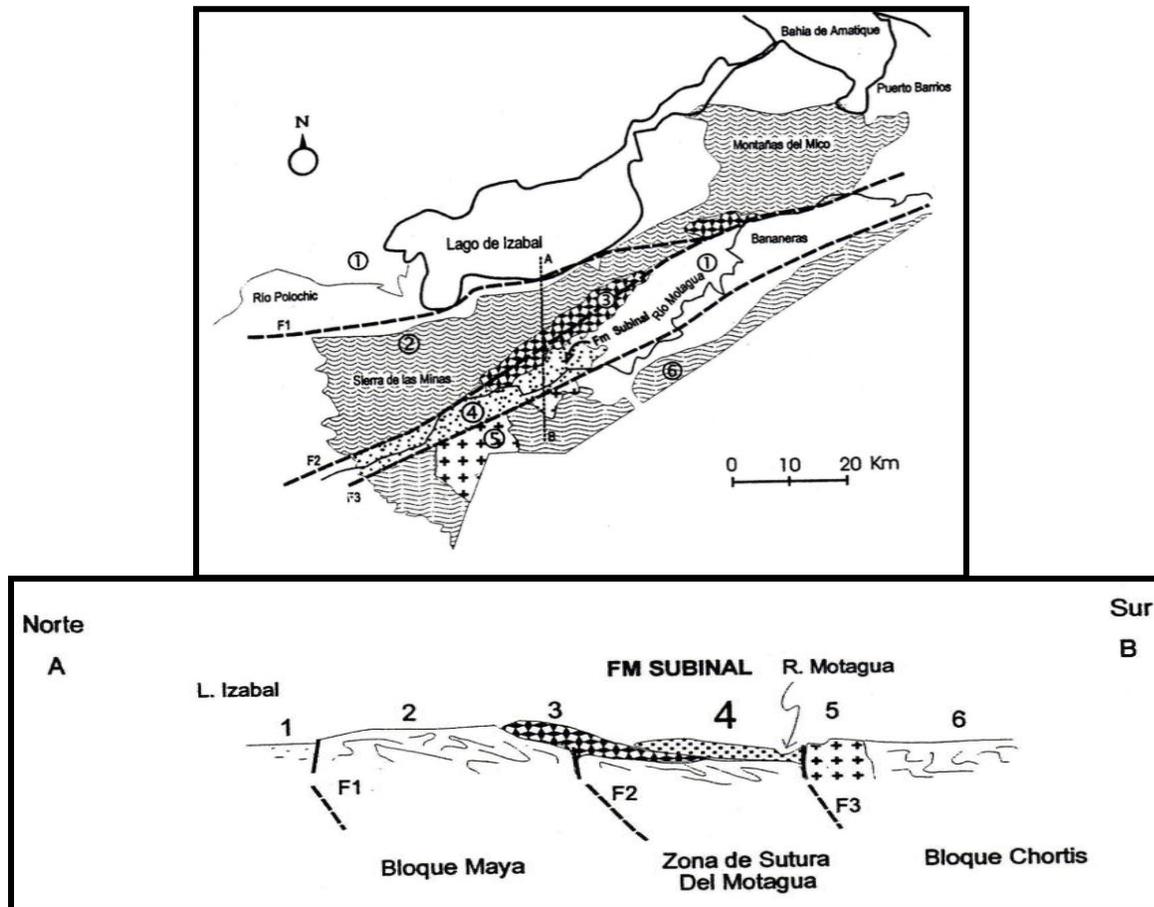
La estratigrafía regional del lugar se puede dividir en unidades, ya que existen unidades emplazadas tectónicamente y unidades sedimentarias, como se muestra en la figura 2.

Es bien sabido que dentro de la geología de la región, resalta la existencia de bloques *alóctonos* consistentes en ofiolitas, los cuales son fragmentos de corteza oceánica, que en algunas ocasiones permiten observar una secuencia ofiolítica típica, excepto la parte gabrónica. Aparentemente, estos cuerpos fueron obducidos durante la colisión de las placas tectónicas de Norte América y del Caribe, al final del Cretácico. Las unidades emplazadas tectónicamente que afloran en el área son las

siguientes: Complejo La Pita, Ofiolita Juan de Paz, Grupo El Pilar Inferior y Formación Cerro Tipón (figura 3).

Respecto al Complejo la Pita, se puede decir que este ocurre como una franja estrecha a lo largo del contacto de peridotita serpentizada (de la Ofiolita Juan de Paz), con el Grupo Chuacús, en el cuadrángulo Los Amates.

FIGURA 2
ESQUEMA Y PERFIL GEOLÓGICO DE LAS UNIDADES QUE AFLORAN EN EL CUADRÁNGULO LOS AMATES

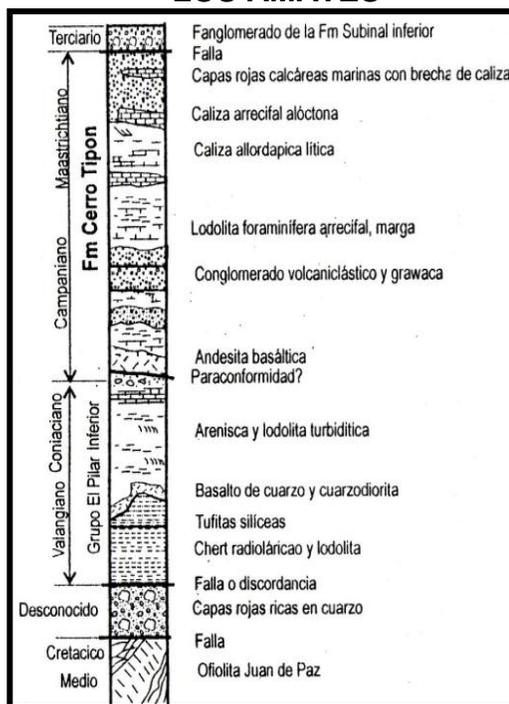


1. Sedimentos recientes de cuencas *pull-apart*, *grabens* y fluviales del río Polochic y Motagua.
 2. Basamento continental del Bloque Maya. 3. Ofiolita Juan de Paz, del Cretácico-Jurásico.
 4. Formación Subinal. 5. Intrusivos graníticos. 6. Basamento continental del Bloque Chortí.
- F1 Falla del Polochic. F2 Falla del Motagua. F3 Falla de Cabañas

FUENTE: Edgar Rolando Perez Bol. Léxico Estratigráfico del Bloque Chorti en Guatemala (2000)

Esta unidad fuertemente tectonizada consiste predominantemente de esquistos de granate-anfibolita y de anfibolita-epidota, mármol, esquistos verdes y cuarcita. La secuencia completa del complejo La Pita se interpreta como una porción de corteza oceánica metamorfozada⁵⁸.

FIGURA 3
SECCIÓN ESTRATIGRÁFICA COMPUESTA DE LA ZONA DE SUTURA DEL MOTAGUA, EN EL CUADRÁNGULO LOS AMATES



FUENTE: Edgar Rolando Perez Bol. Léxico Estratigráfico del Bloque Chorti en Guatemala (2000).

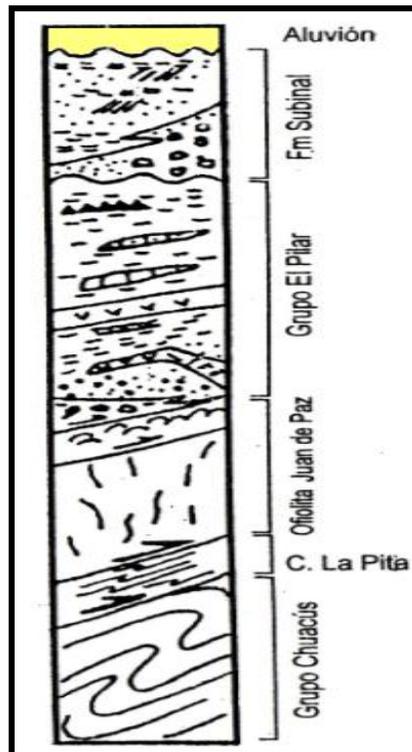
La Ofiolita Juan de Paz es una serie de cuerpos ofiolíticos localizados a lo largo de las principales fallas de la zona del Motagua, entre las cuencas *pull-apart* de Izabal y Bananeras. Afloran cerca de Juan de Paz, Los Amates, Morales y hasta en el sur del lago de Izabal. Es una franja de rocas máficas y ultramáficas que comprenden: peridotitas serpentinizadas,

⁵⁸ Perez Bol, Edgar Rolando. *Léxico Estratigráfico Del Bloque Chorti En Guatemala*. (Cobán: Tesis de Grado. CUNOR – USAC. 2 000). p 153

metagabro y metadiabasa (fragmentos de diques), basaltos almohadillados y *chert* radiolárico⁵⁹.

Las peridotitas observadas en el área de estudio se relacionan con la Ofiolita Juan de Paz, por la localización geográfica que estas tienen, además de formar parte de un cuerpo ofiolítico.

FIGURA 4
SECCIÓN ESTRATIGRÁFICA COMPUESTA DE LA ZONA DE
SUTURA DEL MOTAGUA EN EL CUADRÁNGULO LOS
AMATES, MOSTRANDO LAS UNIDADES EMPLAZADAS
TECTÓNICAMENTE



FUENTE: Edgar Rolando Perez Bol. Léxico Estratigráfico del Bloque Chorti en Guatemala (2000).

Regionalmente estos cuerpos cabalgan los terrenos de la sierra de Chuacús, sierra de Las Minas y montañas del Mico, del

⁵⁹ *Ibíd.*, p 158.

Bloque Maya. A su vez están cubiertos discordantemente por la Formación Subinal y sedimentos cuaternarios⁶⁰ (figura 4).

Los depósitos de níquel de la región del Lago de Izabal se formaron en clima de bosques lluviosos sobre peridotitas parcialmente serpentinizadas. El níquel en tales depósitos se deriva finalmente del olivino ígneo (0,3 % Ni) y la serpentina que lo reemplazó.⁶¹

El clima que se presentan en el área es un factor muy importante para que se den los depósitos lateríticos, pero también hay que tomar en cuenta el origen de la roca madre, ya que esta es la que termina de favorecer la formación de los suelos lateríticos.

Los yacimientos de níquel se desarrollan por acción de fenómenos de superficie, sobre rocas debidamente meteorizadas, esta superficie resulta del conjunto de las fases de alteración, las peridotitas son extremadamente vulnerables a la alteración en condiciones de temperatura y humedad elevadas. En las zonas circundantes se ha llevado a cabo el proceso de meteorización de la roca, transformándola en suelo terroso, arcilloso o laterítico.⁶²

Los terrenos influyen bastante para que se den las condiciones de meteorización, ya que no ocurre igual en las pendientes que en las mesetas, la posición topográfica en las pendientes permite que haya un drenaje más rápido, por lo tanto la

⁶⁰ *Ibíd.*, p 159.

⁶¹ Winter Catalan, Erick Guillermo. *Las lateritas en Izabal, Guatemala: Análisis Geoestadístico utilizando el método Kriging para los depósitos ubicados al norte de Los Amates.* *Ibíd.*, p 28.

⁶² Garrido Peláez, Víctor Hugo. *Consideraciones Generales Sobre la Explotación de los yacimientos de níquel de la compañía EXMIBAL*, Cobán: Informe Final de Técnico en exploración de recursos minerales, 1 981., p. 18.

alteración tiene menor espesor y es más lenta, los silicatos primarios están en la saprolita suave⁶³.

La variación topográfica juega un papel muy importante en la generación de saprolita, ya que en las partes con mayor pendiente es donde existe una mejor alteración de las peridotitas, la cual da como resultado la formación tanto de saprolita suave como saprolita dura.

La meteorización de la zona forma una capa de unos veinte metros de profundidad, la parte superior del yacimiento se encuentra recubierto por una capa limonítica, y la parte donde se encuentra el mineral está comprendida por un tierra verde amarillenta que consiste en níquel ligado químicamente con hierro, sílice, magnesio y otros constituyentes de la roca, finalmente la roca dura.⁶⁴

En el área se observó limonita en las partes altas y con poca pendiente. La parte mineralizada se llama saprolita, la cual se encuentra en la parte donde existe una pendiente media. La roca madre se observó donde existe una pendiente alta. El perfil laterítico típico se muestra en la figura 5.

Las arenas de cuarzo y las gravas que abundan en las playas del lago de Izabal provienen de la meteorización de los paredones formados por los esquistos paleozoicos de la formación Chuacús. Efectivamente, rocas metamorfizadas del basamento paleozoico afloran en la parte sur del lago, cruzadas por gruesas venas de cuarzo (30 cm - 50 cm). Al meteorizarse, los esquistos forman suelos arcillosos residuales y los filones desolarizados se

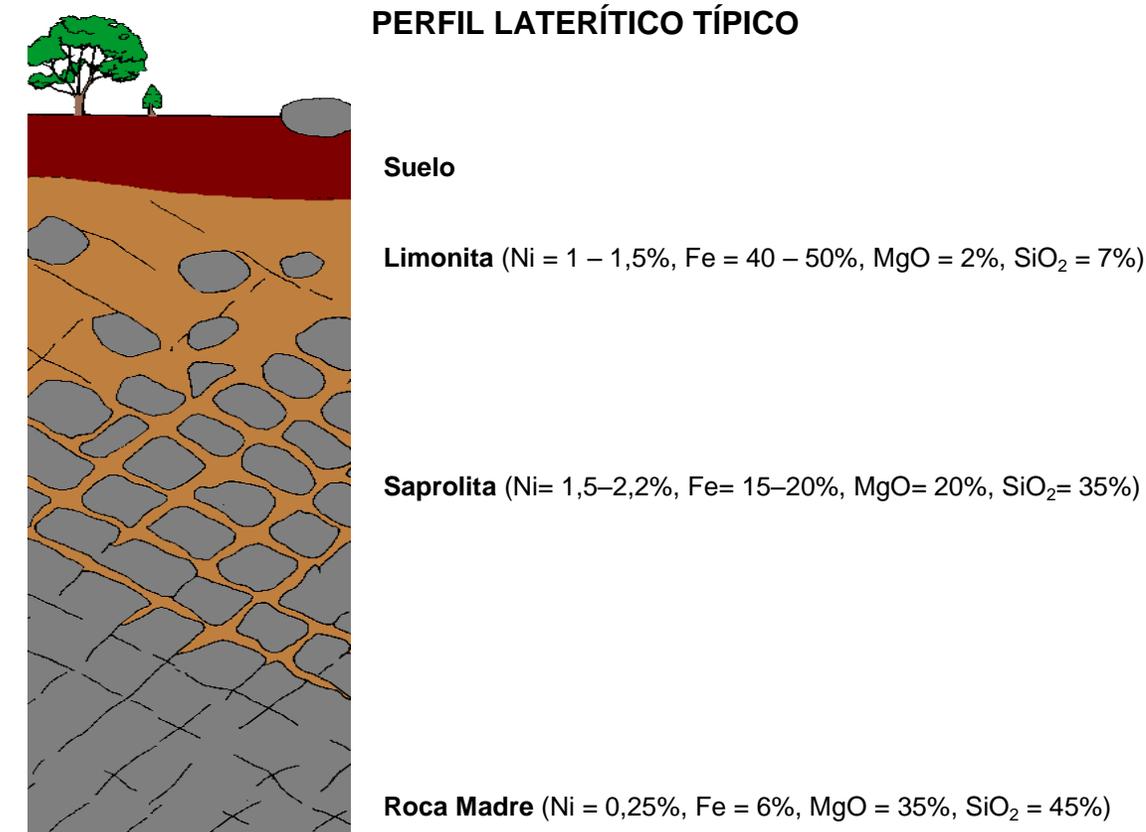
⁶³ *Ibíd.*, p. 19.

⁶⁴ *Ibíd.*

fragmentan en gruesas gravas y bloques cuárzicos que se depositan en las playas⁶⁵.

Los suelos arcillosos producto de la meteorización del esquisto se pueden observar en la toda la comunidad de Campo Dos y Campo Tres, este suelo derivado de esquisto presenta relictos de sílice, con una variedad de tamaños.

FIGURA 5
PERFIL LATERÍTICO TÍPICO



FUENTE: Investigación de campo, 2010.

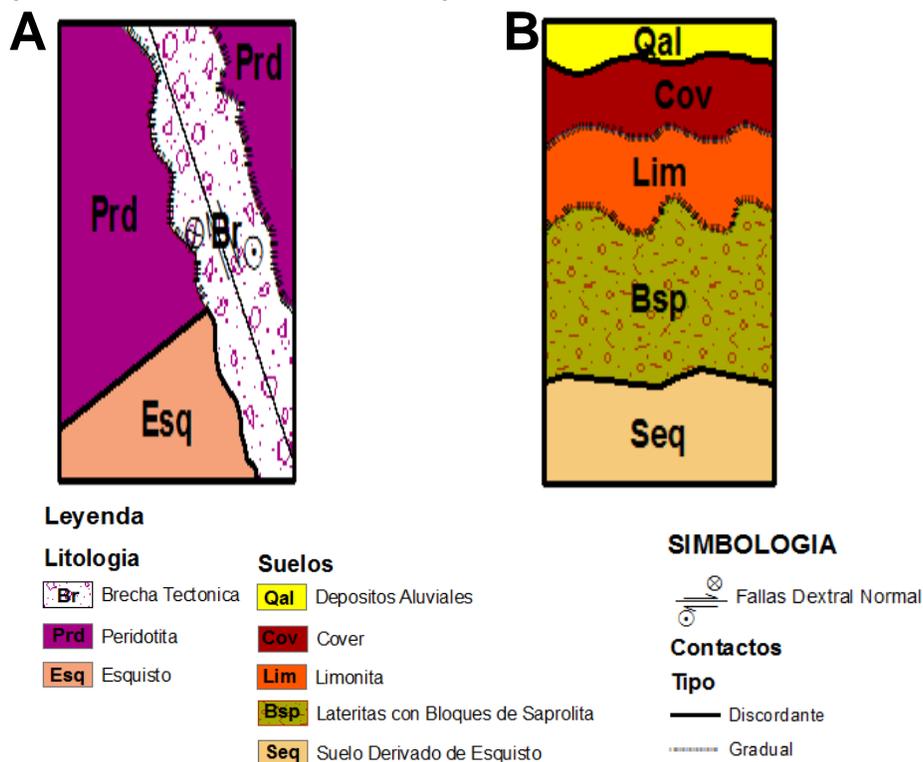
1.3.2. Litoestratigrafía local

De acuerdo a los estudios realizados se determinó la existencia de la unidad de roca ultrabásica de tipo peridotita; la cual

⁶⁵ Shell Exploradora y Productora de Guatemala B.V *Informe Final De Geología*. Dirección General de Hidrocarburos, Guatemala C.A. 1 993. p 30.

se divide en subunidades de peridotitas y brecha tectónica. Además a la unidad de suelos lateríticos se divide en; cover, limonita y saprolita. Se presenta también la unidad de suelos derivados de esquistos, la cual se presenta en la parte basal (figura 6).

FIGURA 6
COLUMNA AL NORESTE DE LOS AMATES.
A) COLUMNA LITOLÓGICA B) COLUMNA DE SUELOS



Fuente: Investigación de campo, 2010.

Los criterios tomados para definir cada unidad litológica están basados en la descripción, tanto macroscópica como microscópica.

a. Unidad de Roca Ultrabásica

Según las descripciones y las características encontradas durante la fase de campo y de laboratorio se definieron dos subunidades de roca ultrabásica de tipo

peridotita, ya que cada una posee variaciones composicionales y estructurales.

1) Subunidad de brecha tectónica

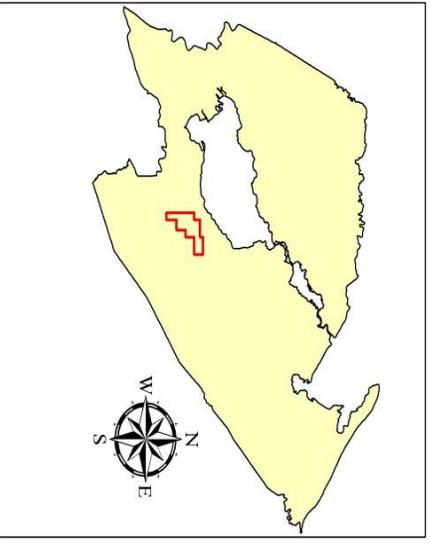
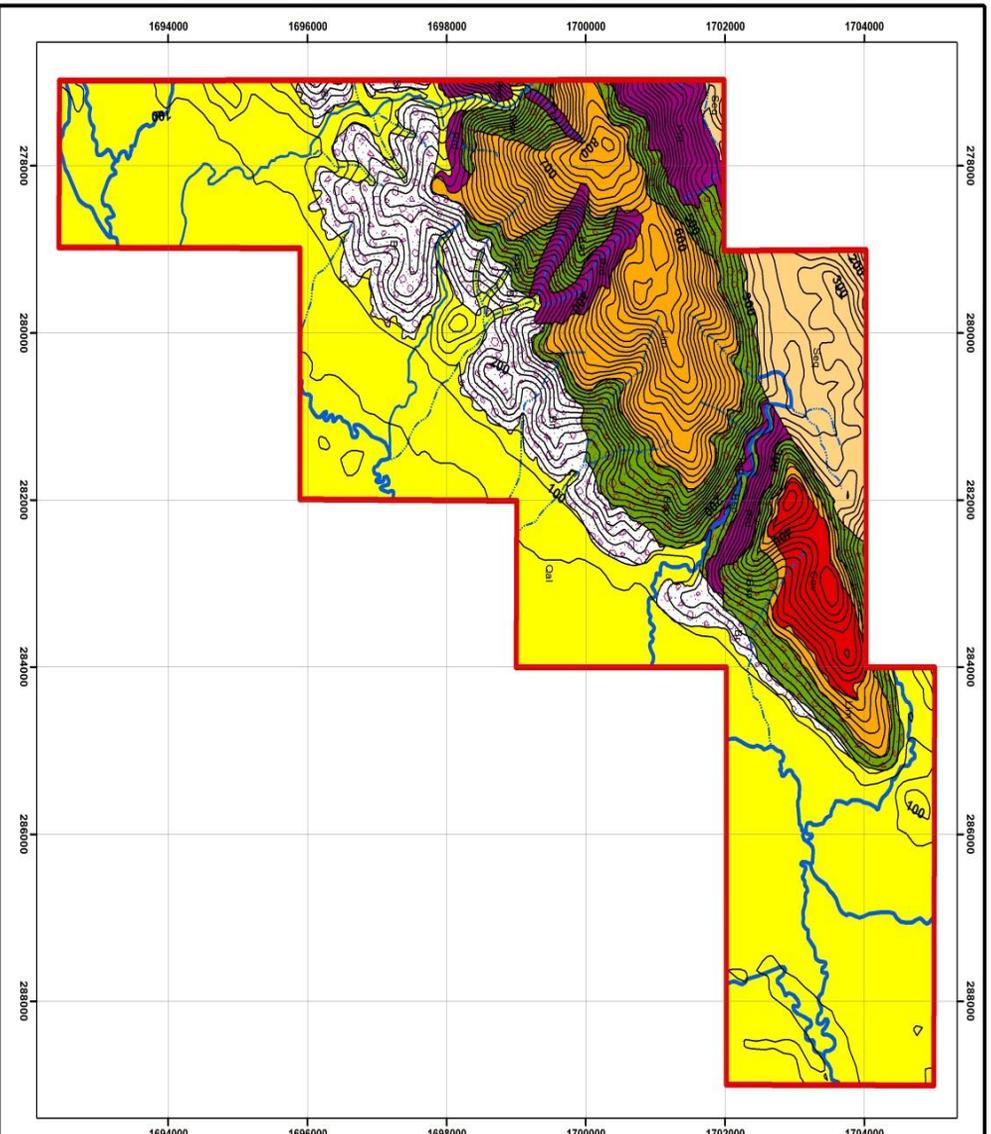
Esta subunidad se observa principalmente en la comunidad Río Blanco (Mapa 2).

La subunidad se encuentra en contacto gradual, en la parte alta, con la subunidad de laterita con bloques de saprolita y en la parte baja, en contacto discordante con depósitos aluviales. Esta subunidad aflora a una altitud que va de los 80 msnm a los 100 msnm y la pendiente va de 0 ° a 2,47 °.

Se considera esta subunidad como brecha tectónica, debido a la angulosidad que presentan los clastos, además se puede decir que esta brecha tectónica es de peridotita, por el contenido mineralógico que contiene, ya que posee olivinos (25 %) y piroxenos (30 %) en su mayoría, aunque también se observa en menor cantidad serpentina (20 %), magnesio (10 %), sílice (5 %) y óxidos de hierro y manganeso (10 %).

Esta roca presenta una textura fanerítica, la mayoría de los granos se presentan redondeados y algunos pocos se observan alargados. La roca presenta en afloramiento una coloración que va de verde a verde menta y en muestra de mano una coloración que va de verde a verde olivo.

MAPA 2 LITOLOGÍA



1 : 50 000
0 0.35 0.7 1.4 2.1 2.8 Km

- Legenda**
- Qal Depositos Aluviales
 - Cov Cover
 - Lim Limonita
 - Bsp Lalerita con Bloques de Saproplita
 - Seq Suelo Derivado de Esquistos
 - Brc Brecha Tectonica
 - Per Peridotita
 - Area de Estudio
 - Curvas 20 m

	<p>UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE</p> <p>Determinación de la relación existente entre la topografía y la litología en la zona de estudio de Los Amaltes (Zabán)</p> <p>MAPA GEOLOGICO</p>
<p>Realizado por: Edin Dany Tello Sucup</p>	<p>Referencia Espacial: NAD 83 UTM</p>
<p>Escala: 1:50 000</p>	<p>Revisado por: Bernabe Castillo</p>

FUENTE: Investigación de campo, 2014.

Es importante recalcar que la roca se encuentra masiva altamente fracturada y con baja pendiente, tal como se muestra en fotografía 1.

FOTOGRAFÍA 1
AFLORAMIENTO DE BRECHA TECTÓNICA.
UTM: 16 P 284409 ESTE, 1703103 NORTE



FUENTE: tomada por Edin Tello, 2010.

La fotografía 2 muestra un bloque de peridotita dentro de la brecha tectónica, de aproximadamente 4 m de ancho por 8 m de largo. Es importante mencionar que este bloque se encuentra fracturado, pero no presenta un patrón preferencial de fracturas.

Esta unidad de roca se encuentra muy fracturada, esto favorece la generación principalmente de serpentina,

aunque también es factible encontrar actinolita. El origen de estos minerales es debido a que la hidratación de los olivinos se realiza fácilmente. Dentro de las fracturas también se puede encontrar magnesio y sílice, pero estos en un pequeño porcentaje.

FOTOGRAFÍA 2
AFLORAMIENTO DE BRECHA TECTÓNICA, CON BLOQUE DE PERIDOTITA.
UTM: 16 P 283748 ESTE, 1702215 NORTE



FUENTE: tomada por Edin Tello, 2010.

2) Subunidad de Peridotita

Esta subunidad se observó a un costado de la carretera que conduce a Mariscos; desde la comunidad de Campo Dos hasta el cruce de Trincheras, así como en la orilla del río Trincheras (Mapa 2).

Esta subunidad aflora a una altitud aproximada que va de los 160 msnm a los 320 msnm y pendientes que varían de 0 ° a 88.69 °. Geomorfológicamente se ubica en la parte de la ladera.

La subunidad se encuentra en contacto gradual con la subunidad de laterita con bloques de saprolita. Además al Oeste se encuentra en contacto inferido con la unidad de suelo derivado de esquistos.

Esta subunidad de roca se define como peridotita por el contenido mineralógico, ya que posee olivinos (25 %) y piroxenos (30 %), aunque también se observa en menor cantidad serpentina (20 %), magnesio (5 %), sílice (5 %) y óxidos de hierro y manganeso (15 %).

Esta roca presenta una textura fanerítica, la mayoría de los granos se presentan redondeados. Presenta en afloramiento una coloración que va de *beige* y verde olivo, en algunas partes se pueden observar juntas teñidas de óxido. En muestra de mano presenta una coloración que va de verde a verde olivo.

Los piroxenos se reconocen en el campo fácilmente por el tamaño que poseen y por la alta resistencia a la intemperización, si se utiliza una lupa se pueden observar ciertas características de cristalización, presentan un maclado (líneas que marca la extinción de luz, estas se encuentran paralelas unas de otras), la coloración de este mineral es entre *beige*-plateado a oscuro, esto en relación al grado de intemperización que posea.

FOTOGRAFÍA 3
AFLORAMIENTO DE PERIDOTITA A UN COSTADO DE LA CARRETERA
QUE CONDUCE A MARISCOS.

UTM: 16 P 281728 ESTE, 1702322 NORTE



FUENTE: tomada por Edin Tello, 2010.

Esta subunidad de roca se encuentra muy fracturada, como se observa en la fotografía 3, el fracturamiento favorece la generación principalmente de serpentina, aunque también es factible encontrar actinolita; estos minerales se originan por la hidratación de los olivinos, la cual se realiza fácilmente debido al fracturamiento existente. Dentro de estas también se puede encontrar magnesio y sílice, pero en pequeño porcentaje.

b. Unidad de Suelos Lateríticos

En esta unidad se observaron tres de las cuatro partes principales que se presentan en un perfil laterítico típico, ya que no fue posible identificar la zona de transición entre la subunidad de limonita y saprolita.

Es importante mencionar que dentro de los criterios utilizados para diferenciar cada una de las subunidades se encuentra el contenido mineralógico y la coloración, este fue utilizado principalmente para diferenciar el *cover* de la limonita, ya que la limonita tiende a tener un alto contenido de hematita, mientras que el *cover* no presenta hematita, sino principalmente manganeso.

CUADRO 15
MUESTRAS DE SUELO SELECCIONADAS

NOMENCLATURA	COORDENADA X	COORDENADA Y	SUBUNIDAD	MUESTRA
lz – 01	281969	1702969	<i>Cover</i>	1
lz – 02	281538	1703016	Limonita	2

FUENTE: Investigación de campo, 2010.

Para tener una idea clara respecto a la mineralogía que se puede observar en cada una de las subunidades de los suelos lateríticos, se realizó un análisis con estereoscopio, en el cuadro 15 se presentan especificaciones de cada una de las muestras seleccionadas; que incluye la nomenclatura utilizada, ubicación de donde se extrajo la muestra, tipo de subunidad y número de muestra.

1) Subunidad de Lateritas con Bloques de Saprolita

Esta subunidad se observó a una altitud que va 100 msnm hasta 400 msnm, además presenta una pendiente

que va de 5.21 ° a 88.69 °. Geomorfológicamente se ubica en la parte de la ladera y una mínima parte de la cuesta.

FOTOGRAFÍA 4
AFLORAMIENTO DE LATERITA CON BLOQUES DE SAPROLITA.
UTM: 16 P 283573 ESTE, 1702553 NORTE



FUENTE: tomada por Edin Tello, 2010.

Se caracteriza por tener un contacto gradual con la subunidad de peridotita y brecha tectónica. Presenta un contacto inferido con la unidad de suelo derivado de esquistos y discordante con los depósitos aluviales. En la parte alta, esta subunidad se encuentra en contacto gradual con limonita (Mapa 2).

Los bloques de saprolita no se observan en toda el área, ya que en algunas partes es factible ver limonita y

peridotita. A la saprolita se le observan piroxenos, olivinos, serpentina y óxidos de hierro y manganeso; estos dos últimos son los que se encargan de darle la coloración a la saprolita, en menor cantidad se observó sílice y magnesio.

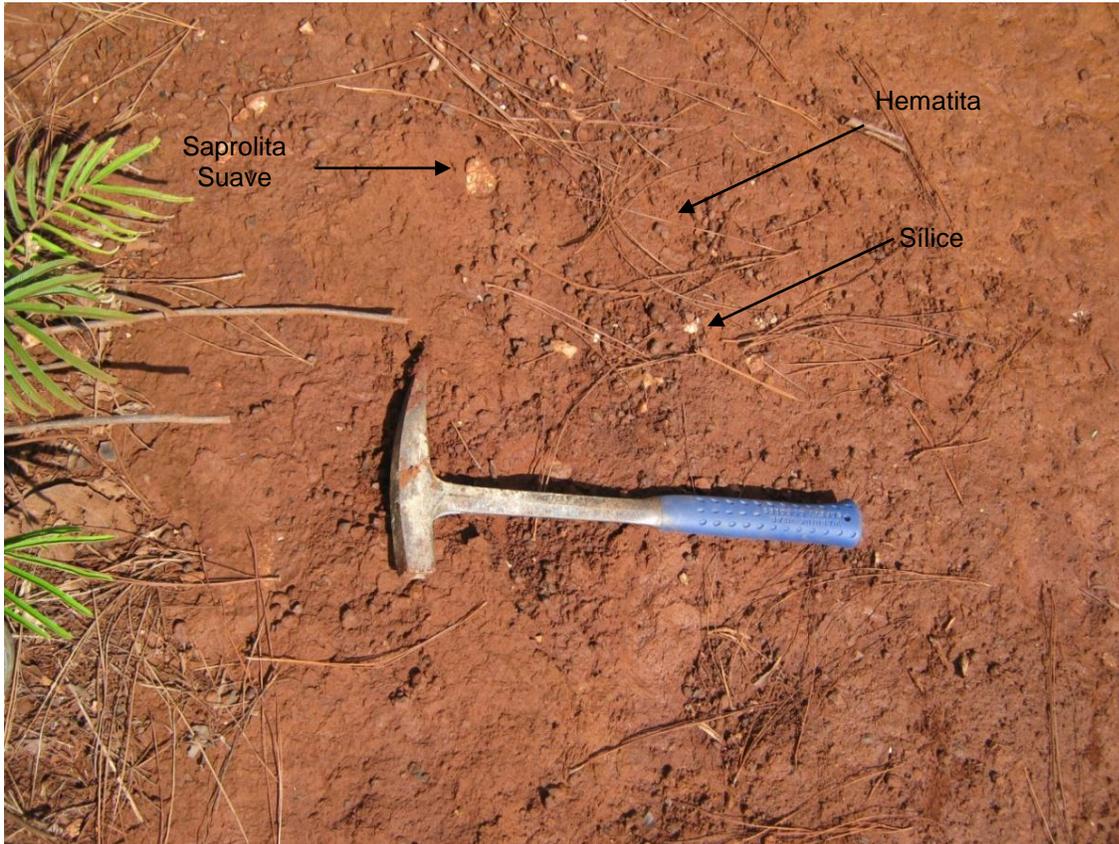
La coloración va de verde amarillento a verde naranja. La saprolita que se encuentra entre la limonita, presenta una coloración que va de marrón a naranja en el terreno. Presenta una textura limosa – arenosa, se observó una pendiente media en toda la parte donde aflora esta unidad.

2) Subunidad de Limonita

Se encuentra en contacto gradual con la subunidad de laterita con bloques de saprolita y de *cover*. La subunidad de limonita se encuentra a una altitud que va de los 160 msnm a 440 msnm. En la parte noreste del área se presenta una pendiente que va de 5.21 ° a 20.86 ° y en el centro una pendiente de 27.47 ° a 59.47 °. Abarca un área aproximada de 1,3 km² y geomorfológicamente se encuentra ubicada en la parte de la ladera y una pequeña parte de la cuesta, esto en la parte noreste.

Esta subunidad es un tipo de suelo que forma parte del perfil laterítico, la textura es limosa – arcillosa, las coloraciones van de marrón amarillento a marrón naranja en el inicio, cerca del contacto con las lateritas con bloques de saprolita, y de coloración marrón cerca del contacto con el *cover*, es importante recalcar que esta subunidad se ubica en lugares donde la topografía no presenta pendientes muy pronunciadas.

FOTOGRAFÍA 5
LIMONITA CON HEMATITA, SÍLICE Y SAPROLITA SUAVE.
UTM: 16 P 284790 ESTE, 1704162 NORTE



FUENTE: tomada por Edin Tello, 2010.

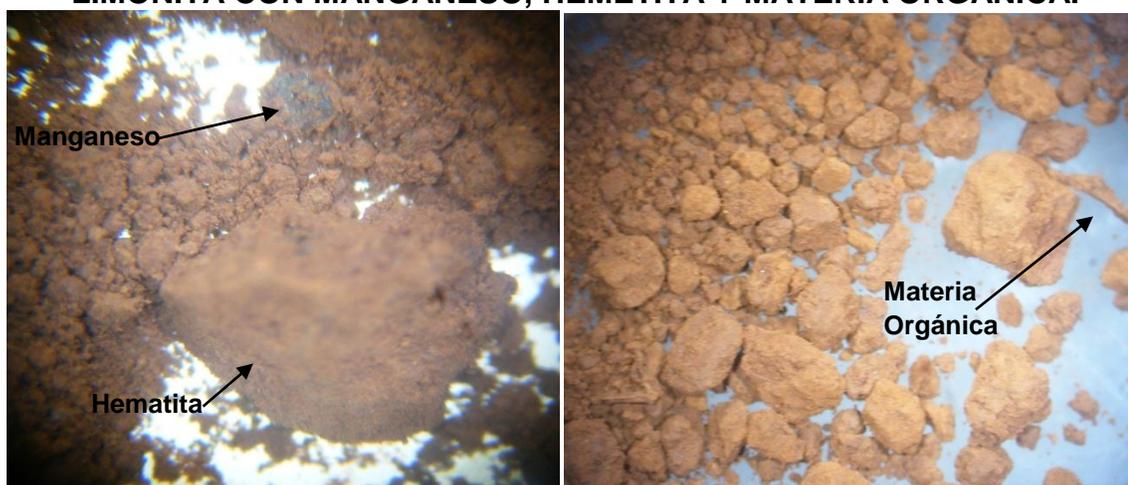
En esta subunidad existe una mayor cantidad de óxidos de hierro, principalmente hematita, la cual se encuentra en bloques pequeños de aproximadamente 2 cm, también se pueden encontrar granos de Mn, pero en muy poca cantidad. En algunos casos se puede observar sílice y saprolita, suave y dura, como se muestra en la fotografía 5.

Es muy importante mencionar que de la parte media a la parte alta de la ladera, donde aflora esta subunidad, la coloración de la limonita varía entre marrón y rojo óxido (fotografía 5), esto puede darse por el aumento del óxido de manganeso, pero es importante tomar en cuenta el

contenido de hematita que pueda tener, ya que este es un parámetro que se utilizó para dividir la limonita del cover.

Para tener una mejor idea respecto a la mineralogía que presenta esta subunidad se realizó un análisis con estereoscopio utilizando aumentos de 10 x y 30 x, la muestra fue escogida al azar.

FOTOGRAFÍA 6
LIMONITA CON MANGANESO, HEMATITA Y MATERIA ORGÁNICA.



FUENTE: tomada por Edin Tello, 2010.

Con el análisis de suelo se determinó que la muestra presenta una coloración naranja – amarillenta, textura limosa – arenosa, materia orgánica (5 %), arcilla (25 %), óxido de manganeso (20 %) y óxido de hierro (50 %).

El óxido de hierro o hematita se presenta de forma masiva, con coloración que va de gris a negro, brillo opaco. El óxido de manganeso presenta un color negro, brillo metálico y hábito masivo. La materia orgánica es principalmente resto de raíces (fotografía 6).

3) Subunidad de Cover

Esta subunidad se localiza en lo más alto del área de estudio, tal como se muestra en el Mapa 2, se caracteriza por encontrarse en los lugares donde la topografía es regularmente plana.

El *cover* se encuentra en contacto gradual con la limonita, con una altitud de los 220 msnm a 480 msnm, la pendiente varía de 0 ° a 20.86 °. Geomorfológicamente se encuentra ubicada en la parte de la cresta y de la ladera.

La subunidad posee una textura limosa – arenosa, similar a la de la limonita y en algunos casos suele observarse plástica. Tiende a tener coloraciones que varían de marrón rojizo a rojo intenso (óxido) que pudiese estar asociado al contenido de materia orgánica que posee y al alto contenido de Mn.

En esta subunidad se observó nódulos de Mn y relictos de sílice, además en algunos lugares se observaron fragmentos de sílice, como se puede observar en la fotografía 7, los cuales pueden tener dimensiones de hasta 4 cm.

Dentro del perfil laterítico este es el horizonte más superficial que se puede encontrar, el cual indica que hay un muy buen desarrollo de los depósitos niquelíferos.

FOTOGRAFÍA 7
UNIDAD DE COVER, LA CUAL CONTIENE FRAGMENTOS DE SÍLICE.
UTM: 16 P 282118 ESTE, 1703358 NORTE



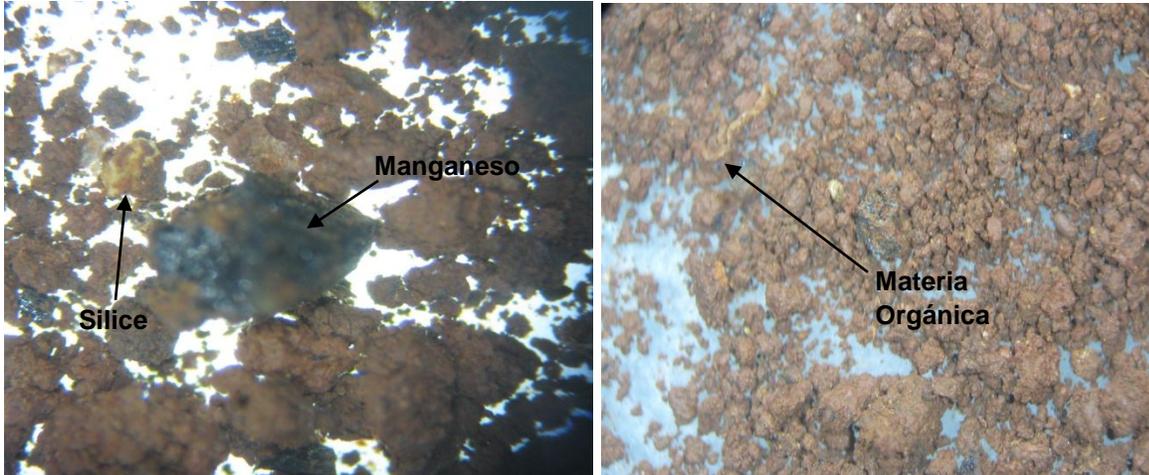
FUENTE: tomada por Edin Tello, 2010.

Para tener una idea clara respecto a los minerales que se presenta en esta subunidad, fue necesario realizar un análisis con estereoscopio utilizando aumentos de 10 x y 30 x, es importante mencionar que la muestra fue escogida al azar.

En base al análisis realizado se determinó que la muestra presenta una coloración marrón, con textura arenosa, materia orgánica (5 %), arcilla (30 %), óxido de manganeso (50 %) y sílice (15 %).

El óxido de manganeso presenta un color negro, brillo metálico y hábito masivo. La sílice presenta un color beige, brillo traslucido y hábito amorfo. La materia orgánica es principalmente resto de raíces y hojas (fotografía 8).

FOTOGRAFÍA 8
COVER CON MANGANESO, SÍLICE Y MATERIA ORGÁNICA



FUENTE: tomada por Edin Tello, 2010.

c. Unidad de Suelo derivado de Esquistos

Esta unidad se observó en dos lugares dentro del área, se localiza al SW de río Blanco, en esta parte se encuentra en contacto discordante con los depósitos aluviales. Se observó en una parte que resalta topográficamente y se encuentra a una altitud a aproximada de 60 msnm, con una pendiente de que va de 5.21 ° a 14.95 °.

El otro lugar donde se ubica es en la comunidad de Campo Dos y Campo Tres, se determinó un contacto inferido con las subunidades de lateritas con bloques de saprolita y de peridotita, la altura en la que aflora varía entre 240 msnm y 300 msnm, pendiente de 0 ° a 14.95 °.

FOTOGRAFÍA 9
UNIDAD DE SUELO DERIVADO DE ESQUISTOS.
UTM: 16 P 285006 ESTE, 1703435 NORTE



FUENTE: tomada por Edin Tello, 2010.

Geomorfológicamente se localiza en la unidad de planicie, por ende es importante recalcar que esta unidad se encuentra en las partes más bajas y en lugares donde la topografía es regularmente plana.

Dentro de esta unidad se observó mica, biotita y moscovita, con dominio de la biotita (80 %), con textura arenosa – limosa, la coloración en afloramiento es naranja, pero al momento de remover la parte superficial (aproximadamente 3 cm) se observa una coloración que va de naranja a rosado (fotografía 9).

FOTOGRAFÍA 10
UNIDAD DE SUELO DERIVADO DE ESQUISTOS CON RELICTOS DE SÍLICE.
UTM: 16 P 280665 ESTE, 1702695 NORTE



FUENTE: tomada por Edin Tello, 2010.

Como se muestra en la fotografía 10, en algunos lugares dentro de la unidad se observaron relictos de sílice, con tamaños que varían entre 1 cm y 10 cm. También se apreció el esquisto muy meteorizado, ya que este se rompe con la mano, esto cerca del contacto inferido existente con la peridotita y la saprolita.

Para definir de mejor manera esta unidad respecto a la mineralogía presente, fue necesario realizar un análisis con estereoscopio utilizando aumentos de 10 x y 30 x, la muestra fue seleccionada al azar.

El análisis realizado a la muestra mostro los siguientes resultados: coloración que va de naranja a rosado, la textura es plástica – arenosa, materia orgánica (10 %), arcilla (30 %), moscovita (35 %) y biotita (25 %).

FOTOGRAFÍA 11
SUELO DERIVADO DE ESQUISTO CON MOSCOVITA,
BIOTITA Y MATERIA ORGÁNICA



FUENTE: tomada por Edin Tello, 2010.

La moscovita se presenta incolora, brillo nacarado y hábito masivo. La biotita presenta una coloración oscura, el brillo es submetálico y hábito masivo. La materia orgánica es principalmente resto de raíces y hojas (fotografía 11).

d. Unidad de Depósitos Aluviales

Esta unidad se observó en toda la parte sur del área, se caracteriza por encontrarse en las partes más bajas y en lugares donde la topografía es regularmente plana.

Estos depósitos se encuentran en contacto discordante con el suelo derivado de esquistos y con la brecha tectónica. Se observan a una altitud de 60 msnm y 80 msnm y una pendiente

que va de 0 ° a 5.21 °. Geomorfológicamente se ubica en la parte de la planicie.

FOTOGRAFÍA 12
UNIDAD DE DEPÓSITOS ALUVIALES.
UTM: 16 P 284943 ESTE, 1703645 NORTE



FUENTE: tomada por Edin Tello, 2010.

Como se observa en la fotografía 12, el depósito aluvial presenta clastos de peridotita, los cuales se encuentran de varios tamaños (2 cm a 10 cm), presentan una granulometría que va de angulosa a sub-redondeada, la parte superficial es de coloración negra, generada por materia orgánica. Presenta una textura arenosa con un espesor aproximado de 5 cm.

Se debe mencionar que no se puede hacer una diferenciación respecto a establecer un tipo de secuencia, ya

que los clastos no se encuentran dispuestos en un orden determinado.

1.3.3. Geología estructural

Tectónicamente, la región comprende la península de Yucatán hasta la falla Motagua se conoce como Bloque Maya, y aquel que se encuentra al sur del Motagua, hasta la fosa mesoceánica, Bloque Chortis, en este caso se hizo énfasis respecto al Bloque Maya⁶⁶.

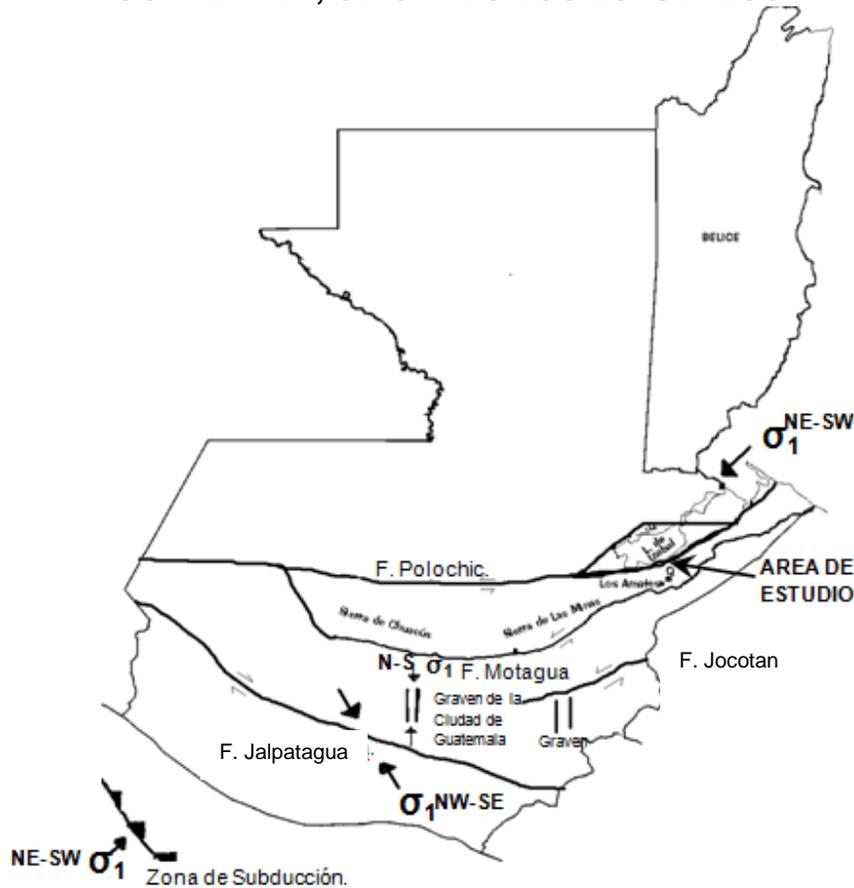
Las fallas de transurrencia *sinextrales* que cruzan Guatemala, lo hacen aproximadamente de este a oeste, éstas son la del Polochic y la del Motagua.

En la figura 7 se observa la relación a nivel regional de las fallas Polochic, Motagua y Jalpatagua, mostrando la unión de la falla Polochic y Motagua, la cual se encuentra al noroeste de la ciudad de Guatemala.

Se puede decir que en la parte norte de la falla Polochic y la zona de sutura del Motagua, los esfuerzos de tensión ocurren en una dirección *N - NE – S - SW*. Mientras que en la parte central, específicamente en el graben de la ciudad de Guatemala los esfuerzos tensionales ocurren en una dirección *N – S*. En la falla de Jalpatagua los esfuerzos de tensión ocurren en una dirección *N - NW – S - SE*, indican un movimiento lateral derecho.

⁶⁶ Winter Catalan, Erick Guillermo. *Las lateritas en Izabal, Guatemala: análisis Geoestadístico utilizzando el método Kriging para los depósitos ubicados al norte de Los Amates*. Ibíd. p 25.

FIGURA 7
MAPA DE LA GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL DE
GUATEMALA, UBICANDO LOS ESFUERZOS PRINCIPALES



FUENTE: Investigación de campo, 2010.

El límite norte de la Placa del Caribe se conoce en Guatemala como la falla del Motagua y es una falla de movimiento lateral izquierdo. Todavía no se puede explicar detalladamente las relaciones entre el movimiento lateral y la acumulación de esfuerzos de tensión dentro de la placa del Caribe⁶⁷.

El sistema de falla del Motagua está conformada por varios rasgos estructurales bien definidos que se han caracterizado localmente; ya que en la región de Zacapa y El Progreso, se han

⁶⁷ Bohnenberger, Otto. *Revisión del sistema de fallas en la región metropolitana de Guatemala*. Guatemala. 1 996. Archivo PDF.

definido las fallas San Agustín Acasaguastlán y Guastatoya, ésta última ha mostrado el mayor registro de movimiento en los últimos tiempos (el terremoto de 1976). Más hacia el este se han descrito otros rasgos, uno de los más importantes, es la falla Jubuco, la cual se proyecta a lo largo del río con el mismo nombre, entre Gualán, Zacapa y gran parte de Izabal⁶⁸.

En la parte baja del valle Motagua, entre Quiriguá y Morales, se encuentra la depresión Bananeras, una cuenca *rift* de 30 km por 10 km completamente llena de sedimento Cenozoico. En el extremo noreste se encuentra la depresión del lago de Izabal, con dimensiones de 40 km por 20 km, similar a la de Bananeras. Esta es la falla transcurrente principal y probablemente sigue el lado sur del lago y se une con la zona de falla del Motagua cerca de Morales.⁶⁹

Se ha podido constatar que existe en el borde norte (Falla Polochic) y en los sedimentos jóvenes de la cuenca (Formación Herrería del Mio-Plioceno) un régimen en falla de rumbo puro $\sigma_1 = NNE - SSW$ y $\sigma_3 = NNW - SSE$. Solo la falla Polochic aparece muy activa: presenta una cinemática *sinextral* muy clara.⁷⁰

La falla Polochic presenta dos tipos de estructuras 1) fallas *sinestrales SW - NE* con buzamiento hacia el *SE* y con *pitch* hacia el *SW*; tienen una componente inversa; 2) fallas *sinestrales*

⁶⁸ Donnelly y otros, Bloque Maya - Chorti. 1 995.

⁶⁹ T.W. Donnelly, G.S. Horne, y Otros. *NORTHERN CENTRAL AMERICA; THE MAYA AND CHORTIS BLOCKS*, (Cobán: Traducción libre, Mauricio Chiquin Yoj), p 4.

⁷⁰ Shell Exploradora y Productora de Guatemala B.V *Informe Final De Geología*. *Ibíd.*, p 134.

también SW – NE con buzamiento hacia el SE pero con *pitch* hacia NE; tienen una componente normal.⁷¹

1.3.4 Geomorfología

a. Clima

1) Índice de lluvia

Se sabe que el área se encuentra en una región de lluvia moderada bien distribuida. Febrero, marzo y abril son los meses más secos y las lluvias son deficientes de noviembre a mayo. Las temperaturas son altas durante el día y relativamente frescas durante la noche⁷².

De acuerdo con los datos del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) en la estación las Vegas, se observa que en los últimos siete años ha existido una variación en el patrón de precipitación, tal y como lo menciona *Simmons*, las lluvias son deficientes de noviembre a mayo, con una precipitación que va de 53,7 mm a 185,2 mm; mientras que de junio a octubre la precipitación varía entre 167,3 mm y 251,2 mm, esto se puede observar en el cuadro 16.

Como se observa en la gráfica 1, el mes más seco es abril con precipitación media de 53,7 mm y el más lluvioso es julio con 251,2 mm

⁷¹ Ibidem.

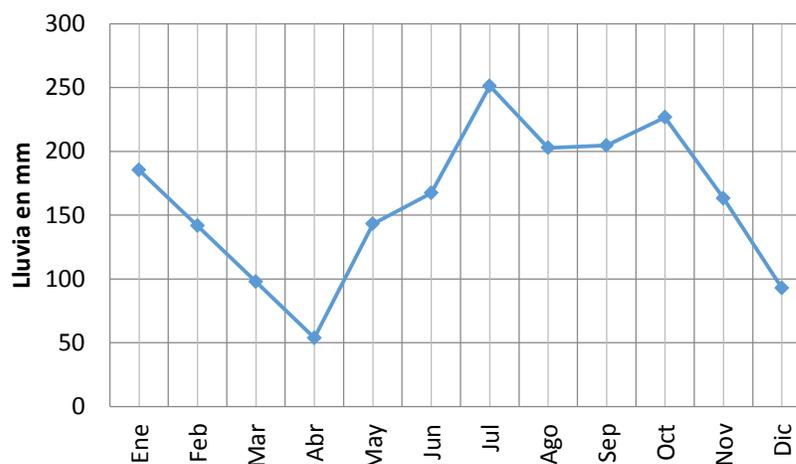
⁷² Simmons, CH, Tarano, J.M., & Pinto, J.H. *CLASIFICACION DE RECONOCIMIENTO DE LOS SUELOS DE LA REPUBLICA DE GUATEMALA*, Ministerio de Agricultura, traducido por Pedro Tirado Sulsona. Edición José Pineda Ibarra. (Guatemala 1959). p 535.

CUADRO 16
PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL DEL AÑO 2008 AL 2014.

Año	LLUVIA MEDIA MENSUAL (en mm)												Total Anual
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
2 008		57,1	67,1	114,6	220		382,9	122,3	222,8	347,4		135,6	1 669,80
2 009	195,9		73,6	8,4	68,9	88,3	266,6	235,1	82,4	61,8		77,4	1 158,40
2 010	159,7	54,7		141,1			217,4	439,3	343,7	129,8	236,7	95,8	1 818,20
2 011	231,3	65,1	181,8	5,2	51,8	1568	270,2	196,5		430,9	105,6	156	1 851,20
2 012	104,9	205,7	132,2	29,7	229,7	183,4	236	144	79,3	256,6	90,8	64,2	1 756,50
2 013	221,8	246,7	64,5	13,4	86,3	242,2	163	194,1	291,1	133,3	219,5	28,4	1 904,30
2 014	197,9	220,7	67,3	63,5	202	165,8	222,6	87,9	208,1				1 435,80
PRO	185,2	141,7	97,8	53,7	143,1	167,3	251,2	202,7	204,6	226,6	163,2	92,9	1 656,31

FUENTE: Investigación de campo, 2014. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) <http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/ESTACIONES/IZABAL/Las%20Vegas/lluvia%20en%20mm.%20LAS%20VEGAS.htm> (14 de diciembre de 2014).

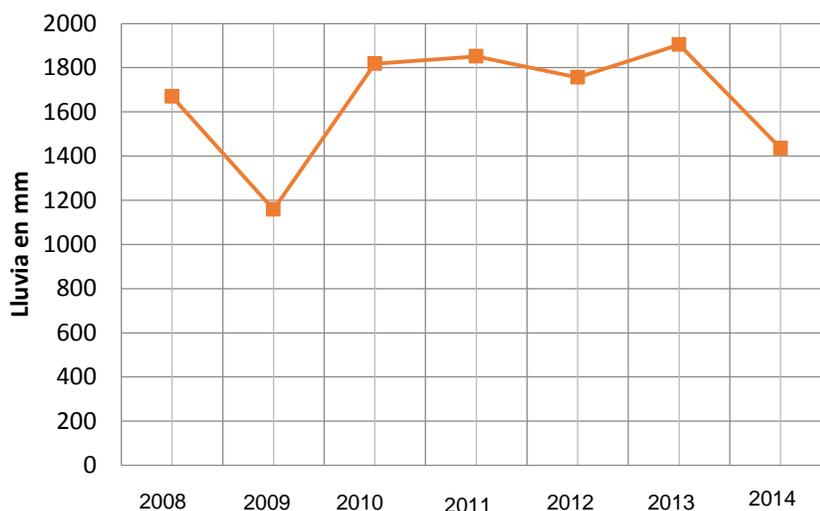
GRÁFICA 1
PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL DEL AÑO 2008 AL 2014.



FUENTE: Investigación de campo, 2 014. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) <http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/ESTACIONES/IZABAL/Las%20Vegas/lluvia%20en%20mm.%20LAS%20VEGAS.htm> (14 de diciembre de 2014).

Como se puede observar en la gráfica 2, el año más seco es 2009, con una precipitación anual de 1 158,40 mm y 1 904,30 mm en 2013, siendo este el año más lluvioso.

GRÁFICA 2
PRECIPITACIÓN ANUAL DEL AÑO 2008 AL 2014.



FUENTE: Investigación de campo, 2 014. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) <http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/ESTACIONES/IZABAL/Las%20Vegas/lluvia%20en%20mm.%20LAS%20VEGAS.htm> (14 de diciembre de 2014).

2) Temperatura promedio (°C)

El departamento de Izabal presenta una temperatura promedio de 27 °C. Se estima la evapotranspiración potencial en 0,40⁷³.

Si se hace referencia al municipio de los Amates, la temperatura máxima es 32,7 °C y la temperatura mínima es 21,4 °C, la precipitación es 1 800,3 mm, la humedad relativa del 75 %⁷⁴.

Según los datos observados en el cuadro 17, la temperatura media promedio más baja registrada en los

⁷³ De la Cruz, Jorge René. *Clasificación de las zonas de vida de Guatemala a nivel del reconocimiento*. Sector público agropecuario y de alimentación. Instituto Nacional Forestal, unidad de evaluación y promoción. Dirección General de servicios agrícolas. (Guatemala, 1 982). p 28.

⁷⁴ Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH). <http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/ESTADISTICAS.htm>. (25 de septiembre 2010)

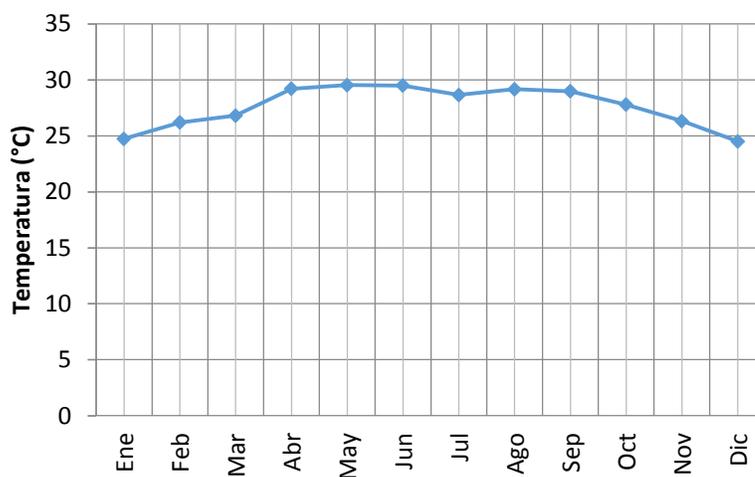
últimos 7 años es de 24,5 °C en el mes de diciembre, mientras que la temperatura más alta se presenta en el mes de mayo; siendo esta de 29,52 °C.

CUADRO 17
TEMPERATURA MEDIA MENSUAL DEL AÑO 2008 AL 2014.

Año	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (en °C)												Pro
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
2 008		26,43	26,69	27,81	29,60		27,91	28,83	29,06	25,93		23,76	27,34
2 009	24,16		26,30	29,17	30,8	30,12	28,85	28,56	29,62	29,31		26,74	28,30
2 010	24,49	25,48		29,68			29,47	29,58	27,68	27,53	25,84	24,10	27,09
2 011	25,97	26,27	27,40	29,66	30,05	29,79	28,65	29,56	28,63	27,26	26,45	20,95	27,55
2 012		25,96	26,48	29,03	29,07	29,27	28,38	29,30	29,10	27,73	24,67	25,04	27,64
2 013	24,83	26,38	25,89	29,98	29,76	29,24	28,42	28,55	29,43	28,90	28,29	26,41	28,01
2 014	24,16	26,57	27,99	29,03	28,47	28,98	28,81	29,74	29,32				2812
Promedio	24,72	26,18	26,79	29,19	29,52	29,48	28,64	29,16	28,98	27,78	26,31	24,50	27,72

FUENTE: Investigación de campo, 2 014. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) <http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/ESTACIONES/IZABAL/Las%20Vegas/lluvia%20en%20mm.%20LAS%20VEGAS.htm> (14 de diciembre 2014).

GRÁFICA 3
TEMPERATURA MEDIA MENSUAL DEL AÑO 2008 AL 2014

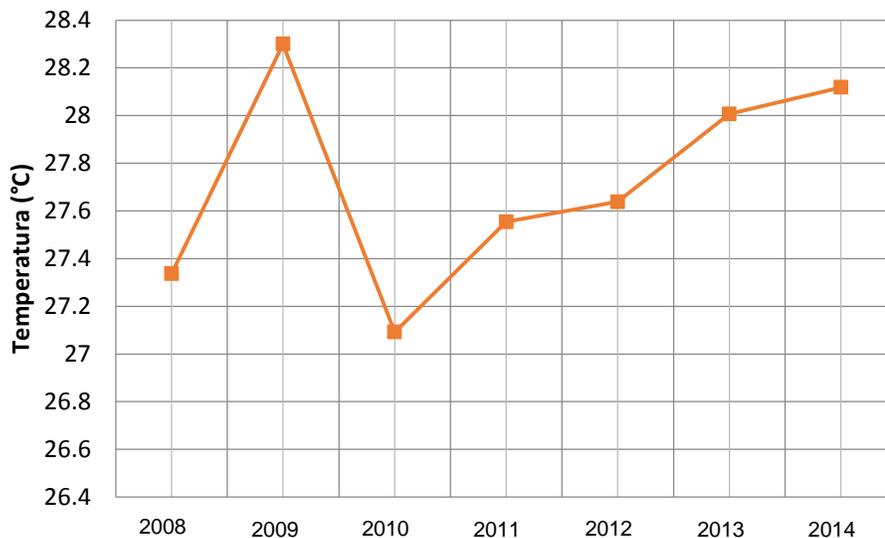


FUENTE: Investigación de campo, 2 014. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) <http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/ESTACIONES/IZABAL/Las%20Vegas/lluvia%20en%20mm.%20LAS%20VEGAS.htm> (14 de diciembre 2014).

Como se puede observar en la gráfica 3, las temperaturas más elevadas se dan del mes de abril al mes de septiembre, oscilando entre los 27 °C y 30 °C.

Tomando en cuenta los datos presentados en la gráfica 4, el año con la temperatura media promedio más alta fue el 2009; con 28,30 °C. Mientras que la temperatura más baja se dio en el 2010; con 27,09 °C.

GRÁFICA 4
TEMPERATURA MEDIA ANUAL DEL AÑO 2008 AL 2014.



FUENTE: Investigación de campo, 2 014. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) <http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/ESTACIONES/IZABAL/Las%20Vegas/luvia%20en%20mm.%20LAS%20VEGAS.htm> (14 de diciembre 2014).

b. Zonas de vida

El área de estudio se encuentra dentro de la zona de vida Bosque muy húmedo subtropical (cálido), se representa con el símbolo bmh-S (c).

Las condiciones climáticas son variables por la influencia del viento. El relieve es de plano a accidentado, con una

elevación mínima de 80 msnm y una máxima de 1 600 msnm (SIG MAGA 2001).

La vegetación natural es una de las más ricas en su composición florística, sin embargo se citan como indicadoras las siguientes: Corozo (*Orbignya cohune*), Naranjo (*Terminalia amazonia*), Ramón blanco (*Brosimum alicasttrum*), Lapo gusano (*Lonchocarpus spp.*), Palo sangre (*Virola spp.*), Guarumo (*Cecropia spp.*), San Juan (*Ceiba pentandra*, *Vochysia hondurensis*) y Pino del Petén (*Pinus caribea*).⁷⁵

Los cultivos principales son: caña de azúcar, hule, cacao, cítricos, maíz, frijol, arroz, piña y otros. La ganadería también ocupa un lugar muy importante.

c. Suelos

En base al mapa de clasificación de suelos elaborado por Simons, se determinó que en el área de estudio existen seis series de suelos (mapa 3): Jubuco, Sebach, Guapinol, Telemán, Quiriguá y Cristina.

1) Suelos Jubuco

Tienen un origen o roca madre de serpentina, localizándose a una elevación que va de 60 msnm a 450 msnm. Se presentan en un relieve de ondulado a escarpado con un buen drenaje. Este suelo presenta un color café en la superficie con una textura franco-arcillosa muy fina. En el subsuelo presenta una coloración café a café rojiza con textura arcillosa muy fina. El espesor promedio es de 45 cm.

⁷⁵ Jorge René De la Cruz S. *Clasificación de las zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento*. Doc. PDF, pág. 23.

Los suelos Jubuco presentan un riesgo a la erosión de regular a alto, con un pH ácido (5,98) y un potencial de fertilidad de regular a bajo (SIG MAGA, 2001).

2) Suelos Sebach

La roca madre de esta serie de suelos es serpentina o peridotita serpentizada, con un relieve inclinado y un buen drenaje. El suelo presenta un color café muy oscuro en superficie y café en el subsuelo; la textura es arcillosa fina, con un espesor promedio de 40 cm. El riesgo a la erosión es alto, el potencial de fertilidad es de regular a baja y un pH ácido (6,2). (SIG MAGA, 2001).

3) Suelos Guapinol

El origen de este suelo es de roca máfica serpentizada o serpentina, el relieve va de escarpado a muy escarpado con buen drenaje. El color en superficie es café rojizo oscuro a café rojizo y una textura franco-arcillosa a arcilla moderadamente fina. El subsuelo presenta una textura arcillosa muy fina con coloración café rojizo a café amarillento, espesor promedio de 95 cm. El riesgo de erosión es alto y su potencial de fertilidad es bajo (pH ácido, 5,54). (SIG MAGA, 2001).

4) Suelos Telemán

Este suelo es derivado de esquistos, con una altitud mínima de 60 msnm y máxima de 500 msnm, el relieve es inclinado con un buen drenaje. En la superficie presenta una coloración café oscura a café y una textura franco-limosa media. El subsuelo presenta una textura que va de franco-limosa a franco-arcillo-limosa media, la coloración es café

claro o café rojizo. El espesor varía entre 60 cm y 100 cm. El riesgo a la erosión es alto, el pH es ácido (5,22) y el potencial de fertilidad es bajo (SIG MAGA, 2001).

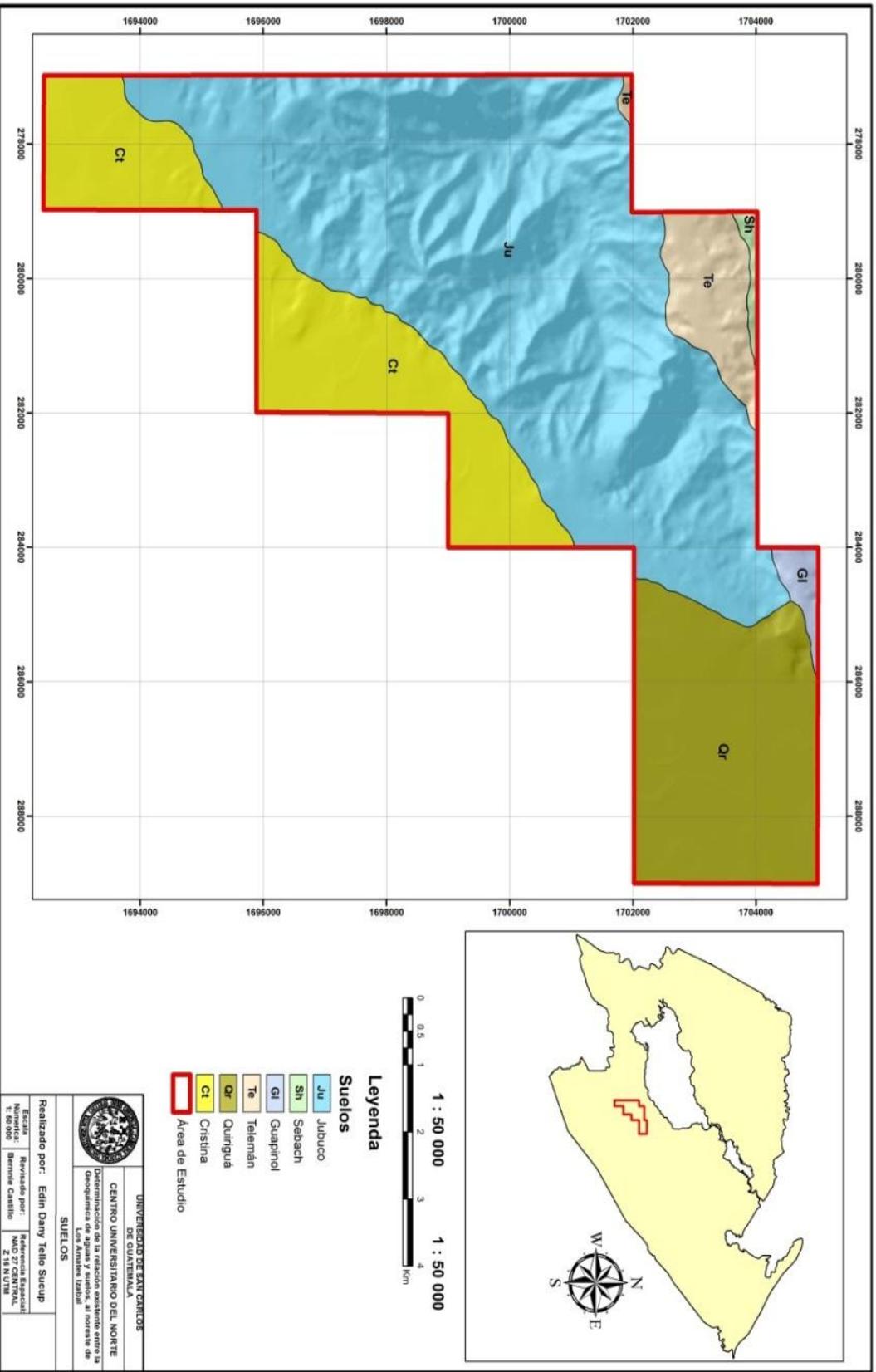
5) Suelos Quiriguá

Son depósitos aluviales antiguos o depósitos marinos, presentan un relieve casi plano, el drenaje es muy pobre y el drenaje interno es malo. El color en superficie va de café a café claro con una textura franco-limosa media. El subsuelo se presenta moteado de café rojizo, gris y café amarillento, con textura de arcilla muy fina. El espesor varía entre 80 cm y 1 m. El riesgo a la erosión y el potencial de fertilidad es bajo con un pH ácido (5,05). (SIG MAGA, 2001).

6) Suelos Cristina

Son materiales aluviales, presentan un relieve casi plano (60 msnm). El drenaje interno es malo y superficial es muy pobre. El color en superficie es gris muy oscuro a café grisáceo muy oscuro; coloreados con café de óxido férrico, en el subsuelo presenta un color gris aceitunado a gris cafésáceo oscuro. La textura es de arcilla muy fina, con un espesor de 1 m aproximadamente. El riesgo de erosión es bajo a regular, el pH es ácido (4,96) y un potencial de fertilidad alto (SIG MAGA, 2001).

MAPA 3 SUELOS



FUENTE: Investigación de campo, 2014.

d. Drenaje

Los sistemas montañosos de Guatemala determinan tres grandes regiones hidrográficas que se conocen como vertientes; son estas: Vertiente del Pacífico, Vertiente del Golfo de México y Vertiente del Atlántico.⁷⁶

Los ríos que desembocan en el golfo de Honduras (vertiente del Atlántico) son extensos y profundos, propios para la navegación y pesca, los más importantes son: Motagua o Grande y Dulce, desagüe natural del lago de Izabal.⁷⁷

El municipio de Los Amates presenta ríos importantes, riachuelos y diversas quebradas, que caracterizan la región y desembocan en el mar Caribe.

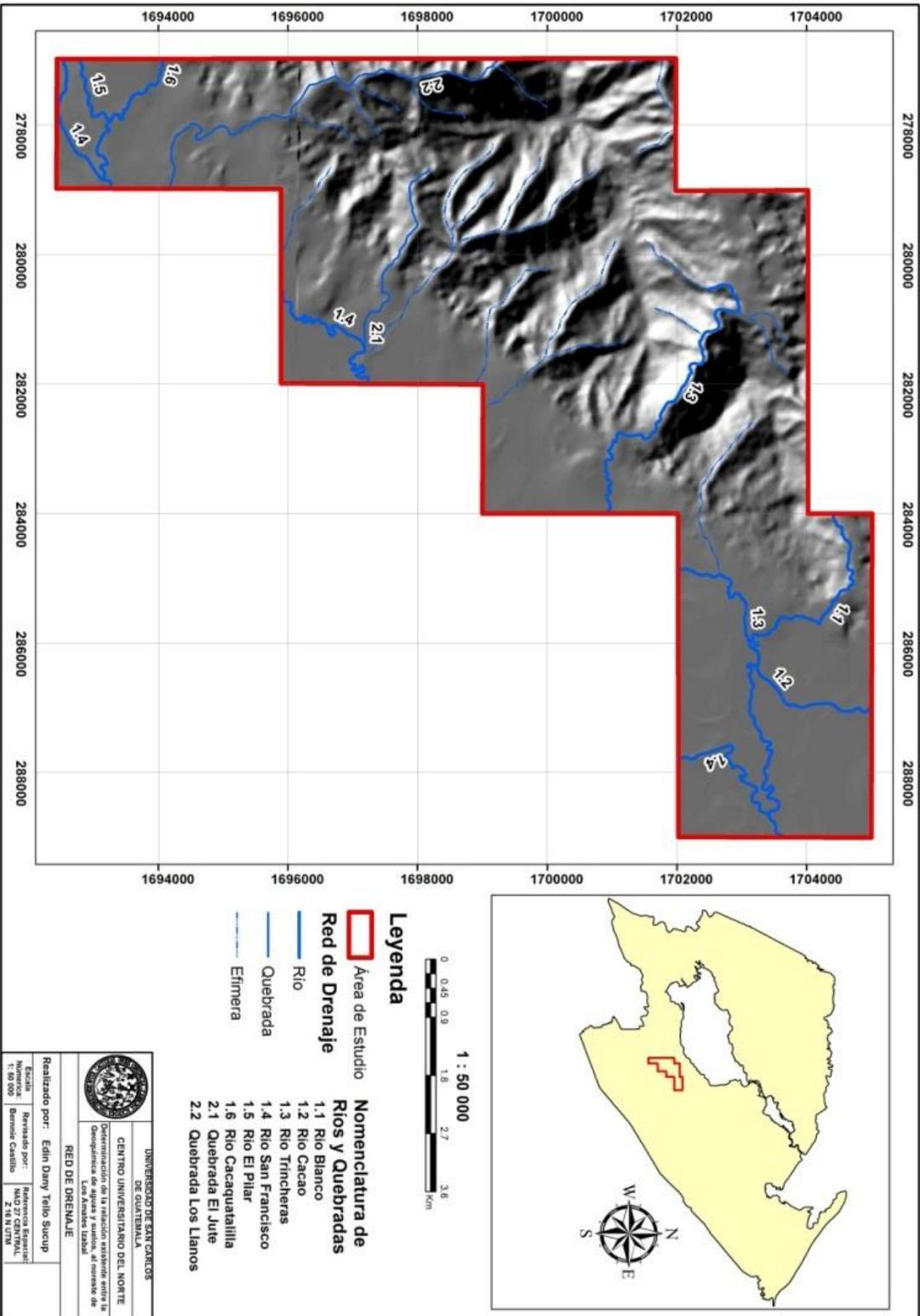
Los ríos que atraviesan el área de estudio son: Blanco, Cacao, Trincheras, El Pilar, Cacaquatalilla y San Francisco (mapa 4). Dentro del área también se localizan dos quebradas: El Jute y Los Llanos. Todos los ríos y quebradas desembocan en El río San Francisco y este a su vez en el río Motagua.

Como se puede ver en el mapa 4, el área presenta en las laderas un drenaje que va de subdendrítico a subparalelo, debido a las características litológicas y estructurales. En la llanura aluvial se observa principalmente un drenaje subangular y meandros.

⁷⁶ Suarez B. Gustavo A. *Cuencas Hidrográficas de Guatemala*. 2011. pág. 2. <http://www.sia.marn.gob.gt/Documentos/Cuencashidrograficas.pdf> (21 de agosto de 2014).

⁷⁷ *Ibíd.*

MAPA 4 RED DE DRENAJE



e. Uso del suelo

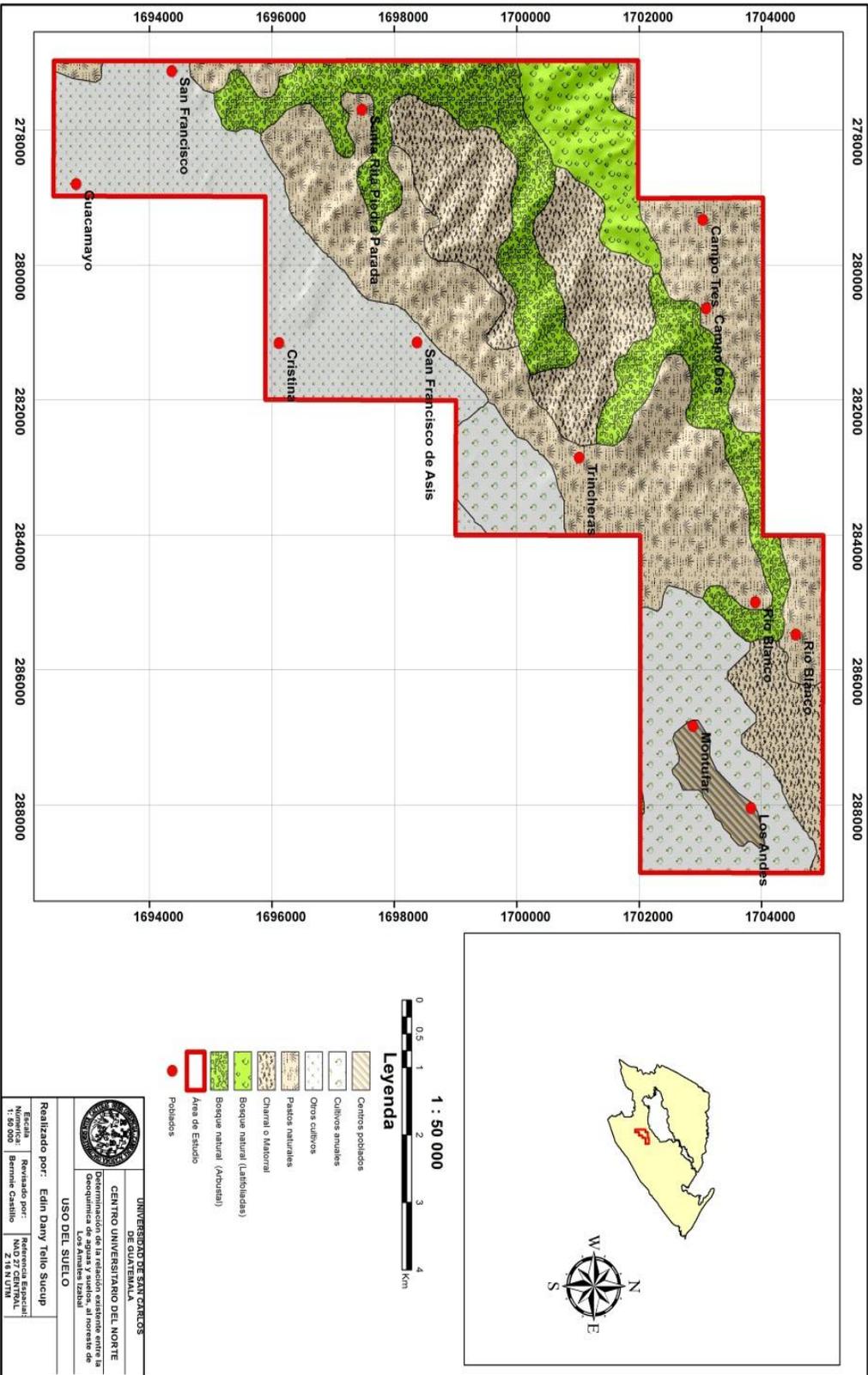
Se debe entender que el uso del suelo es la utilización o manejo que pueda dársele a la tierra, al delimitar su distribución geográfica; planificada o espontánea para fines urbanos, rurales, agrícolas, industriales, etc.

El MAGA divide el uso del suelo del país en siete grupos, los cuales a su vez están divididos en subgrupos (SIG MAGA, 2001). El área de estudio cuenta con cuatro (mapa 5), son estos:

- Infraestructura: Básicamente centros poblados rurales.
- Cultivos: Subgrupo de cultivos anuales (agricultura limpia anual) y otros cultivos (pastos cultivados).
- Pastos / Matorrales: Subgrupo de pastos naturales y charrales o matorrales.
- Bosque natural: Subgrupo de latifoliadas y bosque secundario (arbustal).

Como se observa en el mapa de uso del suelo, únicamente los poblados: Los Andes y Montufar se localizan en centros poblados rurales. Las demás comunidades se encuentran distribuidas en las áreas determinadas para cultivos y pastos/matorrales.

MAPA 5 USOS DEL SUELO



FUENTE: Investigación de campo, 2014.

e. Fisiografía

El área de estudio se localiza entre las regiones fisiográficas de tierras altas cristalinas, depresión del Motagua y de las tierras altas sedimentarias. Cada una de estas regiones cuenta con subregiones y grandes paisajes. Según MAGA, Los grandes paisajes son definidos también como unidades geomorfológicas (Mapa 6).

1) Región fisiográfica tierras altas cristalinas

Está constituida por serpentinitas, gneises metamórficos y esquistos, apareciendo algunas pequeñas áreas de material plutónico, principalmente granito, que forman una región distinta tanto de los estratos sedentarios del norte, como las regiones volcánicas del sur⁷⁸.

Esta área se ubica entre los dos principales sistemas de fallas que han estado en evolución desde el Paleozoico. El patrón de drenaje a través de la región es muy ilustrativo, ya que los cursos de los ríos Chixoy o Negro y Motagua, están controlados por las diversas fallas⁷⁹.

1.1) Subregión Sierra de Las Minas: Laderas degradadas de serpentinita

La unidad está constituida por un conjunto de laderas orientadas de este a oeste, con estribaciones laterales hacia la depresión del Motagua que ha gobernado los procesos de erosión y por el

⁷⁸ Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación –MAGA-. *Mapa fisiográfico-geomorfológico de la república de Guatemala, a escala 1:250 000*. Guatemala: Unidad de Políticas e Información Estratégica; Programa de Emergencia por Desastres Naturales, 2 001.

⁷⁹ *Ibíd.*

consiguiente movimiento de falla siniestral regional. El alto grado de fallamiento y erosión ha formado una cantidad de valles y divisorias con características muy similares debido a la homogeneidad de la roca ultramáfica que la constituye. Las divisorias son angostas de tipo espinazo, sin espacios aprovechables. Las laderas son de pendiente fuerte (> de 50 %), orientadas hacia la depresión del Motagua, con elevaciones de 100 msnm a más de 1 000 msnm⁸⁰.

La unidad en su mayor parte está constituida por rocas de tipo ultrabásica (serpentinita), aunque existe la presencia de otras rocas metamórficas como esquistos, gneisses, migmatitas y anfibolitas⁸¹.

Esta unidad debió ser elevada ya que es parte del manto subcortical, debido al empuje producido por la falla transformante del Motagua, que desde el Terciario ha hecho bascular esta unidad. Al mismo tiempo, se ha dado un sobrecorrimiento producido por las fallas de empuje, que aunado a los procesos erosivos han degradado esta unidad⁸².

La edad de esta unidad es compleja, ya que la formación se pudo iniciar poco después de haber emergido o durante principios del Terciario; sin

⁸⁰ Ibíd.

⁸¹ Ibíd.

⁸² Ibíd.

embargo, su forma actual se alcanzó durante el Terciario superior y el Cuaternario⁸³.

2) Región fisiográfica depresión del Motagua

Está ocupada por el río Motagua, el cual ha formado una gran llanura de inundación formada por aluvión Cuaternario, con meandros bien desarrollados, así como abandonados y meandros fósiles que caracterizan el paisaje fisiográfico en la sección baja de la región. Debido al grado de desarrollo de estas características y a la llanura de inundación aquí constituida, el Motagua se caracteriza como un río de perfil equilibrado y estable.

2.1) Subregión zona de inundación: Llanura aluvial del río San Francisco

La llanura aluvial del río San Francisco es de topografía plana con pendientes menores al 4 %, con orientación de suroeste a noreste. En algunos sitios se observan ligeras diferencias de relieve, vestigios de los bordes de antiguas terrazas que las intensas labores agrícolas han modificado la topografía⁸⁴.

La unidad es un conjunto de fragmentos de rocas de diverso tamaño, principalmente de origen sedimentario y metamórfico. El diámetro de los fragmentos disminuye conforme se aleja del pie de las laderas. Las fracciones de material son principalmente lutitas, limolitas y areniscas de la Formación Armas⁸⁵.

⁸³ Ibíd.

⁸⁴ Ibíd.

⁸⁵ Ibíd.

El origen de la unidad es aluvial, con influencia de depósitos de playa. El principal agente portador de material es el río San Francisco, que ha erosionado la parte norte del cerro La Pita y montaña El Mico⁸⁶.

3) Región fisiográfica de las tierras altas sedimentarias

La unidad del altiplano de Guatemala puede ser separada en tres regiones, con su tipo predominante de rocas. La primera de éstas, de área más extensa, es la de las Tierras Altas Sedimentarias, definida al norte por las márgenes de la cuenca de Petén y al sur por las fallas y contactos que la separan de la parte dominante cristalina del altiplano⁸⁷.

También se extiende desde la actual frontera con México en el oeste, hacia las montañas del Mico en el este.

3.1) Subregión montañas y laderas sedimentarias: montaña sedimentaria del Mico

Los terrenos que forman esta unidad presentan laderas con pendiente de 16 % a 32 %, con orientación *N-NO* y *S-SE*, que concuerdan con el drenaje superficial. Sus cimas son angostas y alargadas, con alturas de 500 msnm a 1 267 msnm (en el cerro San Gil).

Las rocas de esta unidad son de origen sedimentarias, se identifican rocas detríticas como lutitas, areniscas y conglomerados del Grupo Santa

⁸⁶ *Ibíd.*

⁸⁷ *Ibíd.*

Rosa y carbonatos de las Formaciones Chochal y Cobán⁸⁸.

El origen de esta unidad se debe a la presencia de rocas de variada resistencia a la erosión. La erosión diferencial seleccionó las rocas más frágiles y dejó la estructura al descubierto. La forma original del macizo levantado (anticlinales fallados) fue el resultado de los movimientos tectónicos de las fallas del Polochic y Motagua, ambas separadas por esta montaña⁸⁹.

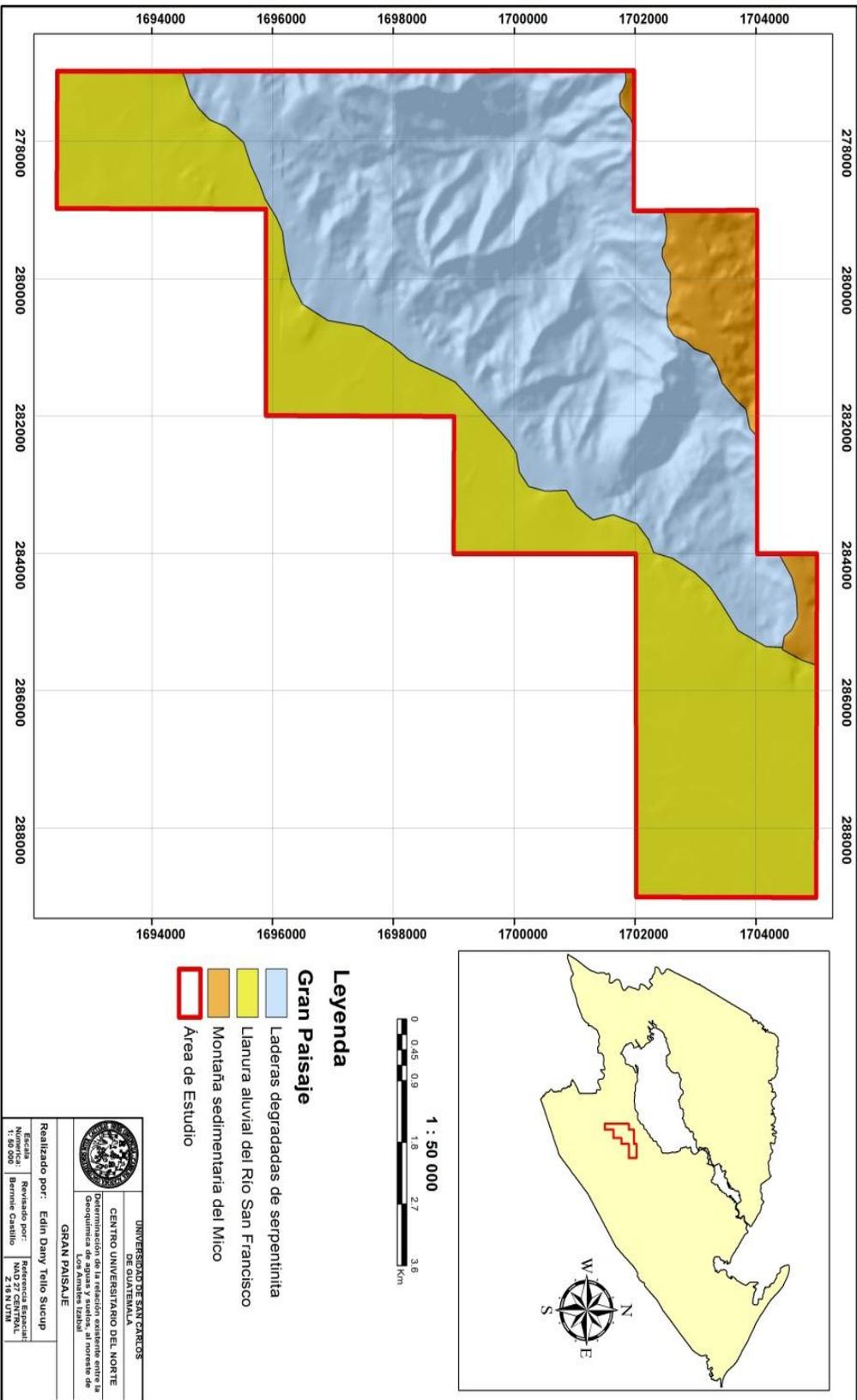
Las rocas de esta unidad fueron formadas en el Paleozoico superior (Carbonífero-Pérmico) y el Mesozoico. La unidad debió haber emergido a finales del Cretácico, para someterse a los procesos erosivos del Terciario hasta el presente⁹⁰.

⁸⁸ *Ibíd.*

⁸⁹ *Ibíd.*

⁹⁰ *Ibíd.*

MAPA 6 GRAN PAISAJE



- Leyenda**
- Gran Paisaje**
- Laderas degradadas de serpentina
 - Lanura aluvial del Rio San Francisco
 - Montaña sedimentaria del Mico
 - Área de Estudio

 <p>UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA</p>	
<p>CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE</p>	
<p>Determinación de la relación existente entre la Geodinámica de aguas y suelos, al nordeste de Gran Paisaje</p>	
<p>GRAN PAISAJE</p>	
Realizado por:	Edin Dany Tello Suncup
Revisado por:	Bernie Castillo
Escala Numérica:	1:50 000
Referencia Espacial:	WGS 77 CENTRAL Zona 18 N UTM

FUENTE: Investigación de campo, 2014.

CAPÍTULO 2

METODOLOGÍA

2.1 Recopilación y análisis bibliográfico

En esta etapa se consultaron libros, tesis y páginas electrónicas, esto con el fin de encontrar toda la información que fue necesaria para realizar el trabajo. La mayoría de fuentes bibliográficas consultadas tienen una relación estrecha con temas de geoquímica de aguas y suelos, y como se relacionan algunos elementos en cada uno de estos dos ambientes.

2.2 Trabajo de campo

Se ubicaron cada uno de los puntos muestreados, tanto en aguas superficiales como en suelos. Una vez ubicados los puntos, se procedió a extraer cada una de las muestras. Para el agua se analizaron *in situ*: pH, conductividad, temperatura, salinidad, potencial de óxido reducción y oxígeno disuelto. Las muestras de agua son superficiales, las cuales fueron obtenidas entre los primeros 15 cm y 20 cm, para posteriormente ser enviadas a los distintos laboratorios.

Las muestras de suelo fueron obtenidas de la superficie y depositadas en bolsas adecuadamente identificadas y esterilizadas para su posterior análisis.

2.3 Laboratorio

Los métodos de análisis empleados fueron los establecidos por la EPA y/o *Standard Methods for Water and Wastewater*. Las muestras se analizaron en:

- a) Laboratorio *Maxxam Analytics Inc*, 6740 *Campobello Road*, *Mississagua, Ontario Canada L5N 2L8*. www.maxxamanalytics.com,
- b) Laboratorio Ecosistemas Proyectos Ambientales, 20 calle B 13-08 zona 2 Colonia El Roble, Guatemala, Guatemala. www.ecosistemas.com.gt.
- c) Laboratorio Ambiental de CGN, km 4,5 carretera a Cobán, El Estor, Izabal.

2.4 Gabinete

En esta etapa se definieron cada uno de los puntos de monitoreo. Las estaciones de monitoreo de agua se establecieron de manera que se abarquen cada uno de los principales ríos que atraviesan el área de estudio y que además son los colectores de las principales quebradas.

Para establecer la ubicación de las muestras de suelo fue necesario tomar en cuenta los distintos tipos de suelos, así como también tomar algunas muestras de sedimentos en los mismos lugares donde se tomaron las muestras de agua, para realizar la relación suelo – agua.

Posteriormente se realizaron las tabulaciones, interpretaciones y relaciones de los datos obtenidos durante la fase de campo y laboratorio, tomando en cuenta cada uno de los indicadores y sus variables; para así realizar el trabajo de investigación.

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1. Hidrogeoquímica

El análisis hidrogeoquímico comprende varios aspectos, como lo es la definición de los puntos de monitoreo, evaluación de la calidad del agua en base al ICA, evaluación de la calidad del agua en base a la norma COGUANOR, determinación de los distintos índices de contaminación (índice o nivel de contaminación bacteriana, índice de contaminación por sólidos suspendidos, índice de contaminación trófico, índice de contaminación por mineralización) y la clasificación química de las aguas superficiales (según dureza, pH y iones dominantes).

3.1.1. Puntos de monitoreo

Los puntos de monitoreo se encuentran distribuidos entre los principales ríos que atraviesan el área de estudio, y que además son los colectores de las principales quebradas, teniendo con estos mayor información de los lugares por los cuales recorre el agua.

En el cuadro 18 se observan los sitios de muestro con su respectiva coordenada, así mismo se visualiza el nombre del río, el código utilizado para nombrarlo (calidad del agua superficial, *Surface Water*) y la altura a la cual fue tomada la muestra.

Los puntos de muestreo se observan en el mapa 7, en el cual se visualiza el contexto local y la distancia a la cual se encuentra cada punto de monitoreo.

CUADRO 18
PUNTOS DE MUESTREO DE AGUA

Código de muestra	Lugar	Coordenada UTM (NAD 27)		Elevación (msnm)
		Este	Norte	
SW7	Río San Francisco	288472	1703438	60
SW8	Río Trincheras	280538	1703040	220
SW21	Río Trincheras bajo el puente	282931	1701147	80
SW23	Río San Francisco, al noroeste de Cristina	281121	1696734	80
SW24	Río Blanco	284435	1704813	90
SW25	Río al oeste de Santa Rita Piedra Parada	277043	1692766	95

Fuente: Investigación de campo, 2014.

3.1.2. Evaluación de la calidad del agua en base al ICA

Para obtener los índices de calidad de agua (ICA) en los ríos monitoreados, se tomaron en cuenta diecisiete parámetros, tanto fisicoquímicos como bacteriológicos. Así mismo se tomaron en cuenta los monitoreos realizados en invierno y en verano, esto con el fin de determinar la variabilidad de los mismos.

Para determinar las fechas en las cuales se dice que comienza el invierno y el verano, se tomaron en cuenta las condiciones climáticas; principalmente el índice de lluvia, se definió con esto que el verano inicia en febrero y termina en junio y que el invierno es de julio a enero.

a. Río San Francisco (SW7)

Este punto de monitoreo se encuentra localizado en la llanura aluvial, al sur de la aldea Los Andes.

Según la evaluación ICA realizada para este punto, se determinó un valor de 71,18 en invierno (cuadro 37, anexo 1), lo cual indica que esta agua está levemente contaminada y dudosa para su consumo.

En el cuadro 38 (anexo 1) se muestra la evaluación ICA realizada para este punto de monitoreo en verano, determinando un valor de 67,94, lo cual indica que esta agua está contaminada y para su consumo es necesario tratamiento potabilizador.

Con los diferentes datos obtenidos en las distintas estaciones (invierno y verano), se puede decir que para este punto de monitoreo el agua tiene una mejor calidad para consumo humano en invierno; pero no es apta para su consumo.

b. Río Trincheras (SW8)

Este punto de monitoreo se encuentra localizado en la aldea Campo Dos. Según la evaluación ICA realizada, se determinó un valor de 72,94 en invierno (cuadro 39, anexo 1), lo cual indica que esta agua está levemente contaminada y es dudoso su consumo.

La evaluación ICA realizada para este punto en verano (cuadro 40, anexo 1), establece un valor de 72,06, lo cual indica que esta agua está levemente contaminada para su consumo.

Como se puede observar para este punto de monitoreo el valor ICA difiere en 0,88 entre cada una de las dos estaciones, existe diferencia únicamente entre los valores de temperatura y dureza; ya que tienen un valor más alto en verano.

c. Río Trincheras bajo el puente (SW21)

Este punto de monitoreo se encuentra localizado en la llanura aluvial, a un costado de la carretera CA-9,

aproximadamente en el kilómetro 217,5. Según la evaluación ICA realizada, se determinó un valor de 69,41 en invierno (cuadro 41, anexo 1), lo cual indica que esta agua está contaminada y que el tratamiento potabilizador es necesario.

En el cuadro 42 (anexo 1) se observa la evaluación ICA realizada para este punto en verano y establece un valor de 72,06, lo cual indica que esta agua está levemente contaminada y no es apta para su consumo; por lo mismo se tiene una mejor calidad de agua para consumo humano en verano, pero aun así no es apta para consumo.

d. Río San Francisco (SW23)

Este punto de monitoreo se encuentra localizado en la llanura aluvial, al noreste de la aldea Cristina. Según la evaluación ICA realizada, se determinó un valor de 70,59 en invierno (cuadro 43, anexo 1), lo cual indica que esta agua está levemente contaminada y no es apta para su consumo.

En el cuadro 44 (anexo 1) se observar la evaluación ICA realizada para este punto de monitoreo en verano, la cual establece un valor de 71,47, que indica que el agua está levemente contaminada y que no es apta para el consumo.

Según lo anterior, se puede decir que para este punto de monitoreo el agua tiene una mejor calidad para consumo humano en verano; pero es dudoso sin purificación.

e. Río Blanco (SW24)

Este punto de monitoreo se encuentra localizado al noroeste de la aldea Río Blanco.

Según la evaluación ICA realizada, se determinó un valor de 70,88 en invierno (cuadro 45, anexo 1), lo cual indica que esta agua está levemente contaminada y que no es apta para su consumo.

La evaluación ICA realizada para este punto de monitoreo en verano, se observa en el cuadro 46 (anexo 1). El valor ICA obtenido es de 67,65, lo cual indica que el agua está contaminada y que el tratamiento potabilizador es necesario.

Según los datos en cada estación (invierno y verano), se puede decir que para este punto de monitoreo el agua tiene una mejor calidad para consumo humano en invierno; pero aun así, no es apta para la ingesta humana.

f. Río al oeste de Santa Rita Piedra Parada (SW25)

Este punto de monitoreo se encuentra localizado al suroeste de las aldeas Santa Rita Piedra Parada y San Francisco. Según la evaluación ICA realizada, se determinó un valor de 70,00 en invierno (cuadro 47, anexo 1), lo cual indica que esta agua está contaminada y que el tratamiento potabilizador es necesario.

En el cuadro 48 (anexo 1) se observa la evaluación ICA realizada para este punto de monitoreo en verano, determinado con esto un valor de 68,53, lo cual indica que el agua está contaminada y que el tratamiento potabilizador es necesario.

La evaluación ICA realizada en cada estación (invierno y verano), determinó para este punto de monitoreo que el agua

tiene una mejor calidad para consumo humano en invierno; pero el tratamiento potabilizador es necesario.

3.1.3. Evaluación de la calidad del agua en base a la norma COGUANOR

Para determinar la calidad del agua en los distintos puntos de monitoreo, es necesario tomar en cuenta las normas COGUANOR; para lo cual se analizaron los siguientes elementos:

a. Temperatura

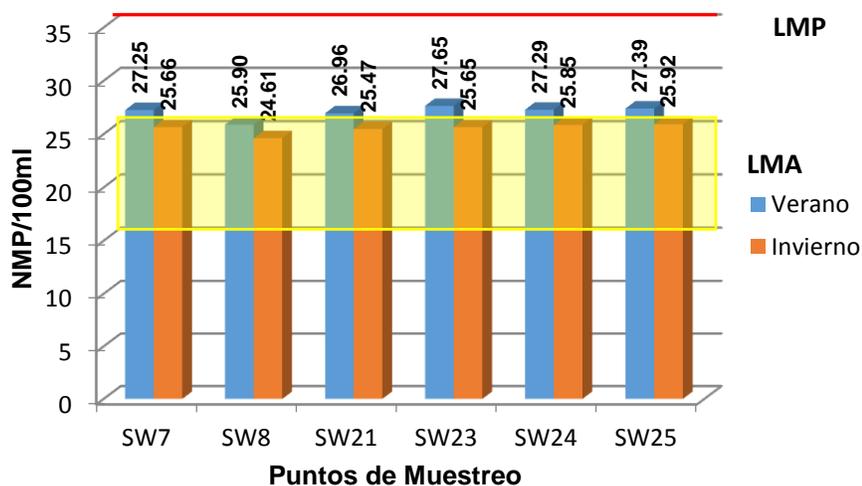
Como es de suponer las temperaturas más altas se registraron en verano; con un valor mínimo 25,90 °C y una máxima 27,65 °C. En invierno se registró una temperatura mínima de 24,61 °C y una máxima de 25,92 °C. En la gráfica 5 se puede observar el contraste entre cada una de las temperaturas, así como el rango del límite máximo admisible (LMA) y límite máximo permisible (LMP).

b. Conductividad eléctrica

Con los resultados obtenidos se logra visualizar que este parámetro en todos los puntos de monitoreo es bajo, ya que en ninguno de los sitios de estudio pasó el LMP. Esto se puede visualizar en la gráfica 6.

Los valores más bajos se registraron en invierno, siendo el mínimo de 118,39 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y el máximo de 235,90 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En verano el valor mínimo fue de 138,39 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y el máximo de 211,08 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Como se puede notar, los valores mínimos se registraron en el punto de muestreo SW8 y los valores máximos en SW25. Ninguna de las muestras indica algún peligro para el consumo humano.

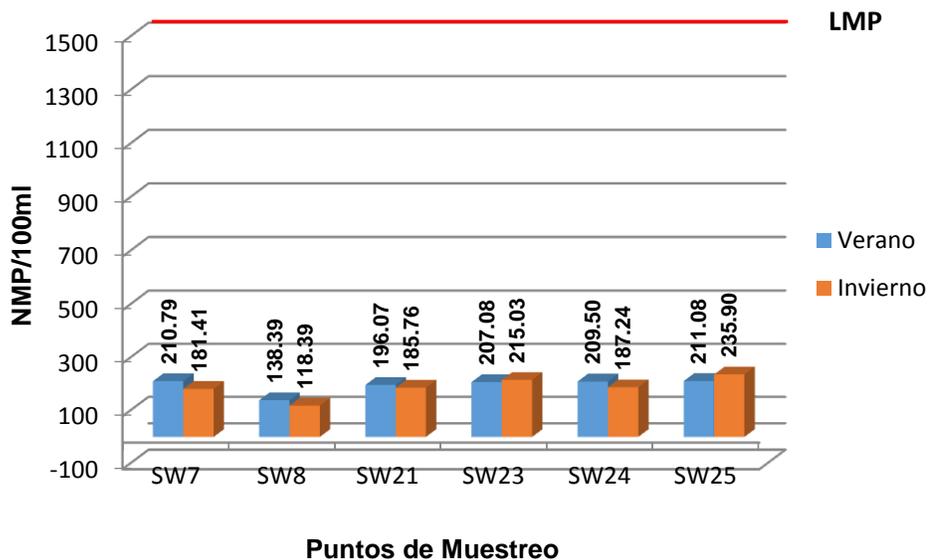
GRÁFICA 5
TEMPERATURA (°C) DE LOS PUNTOS DE MONITOREO



SW7= Río San Francisco. **SW8**= Río Trincheras. **SW21**= Río Trincheras bajo el puente. **SW23**= Río San Francisco, al noroeste de Cristina. **SW24**= Río Blanco. **SW25**= Río al oeste de Santa Rita Piedra Parada.

Fuente: Investigación de campo, 2008 a 2014.

GRÁFICA 6
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN LOS PUNTOS DE MONITOREO



SW7= Río San Francisco. **SW8**= Río Trincheras. **SW21**= Río Trincheras bajo el puente. **SW23**= Río San Francisco, al noroeste de Cristina. **SW24**= Río Blanco. **SW25**= Río al oeste de Santa Rita Piedra Parada.

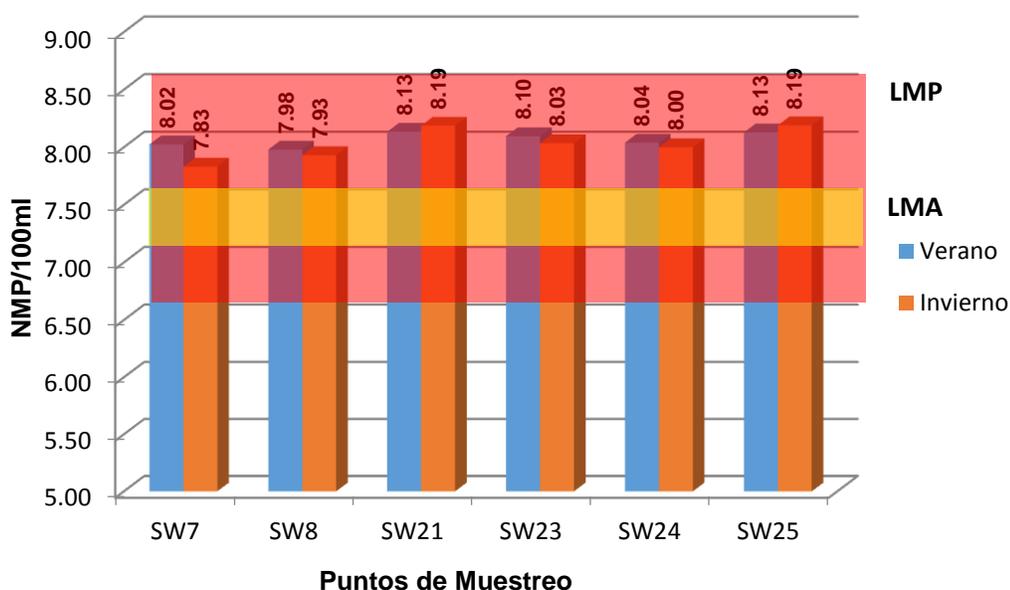
Fuente: Investigación de campo, 2008 a 2014.

c. Potencial de Hidrogeno (pH)

COGUANOR establece que el LMA para el pH debe ser de 7,0 a 7,5; y el LMP debe variar entre 6,5 y 8,5.

Como se puede observar en la gráfica 7, los valores de pH sobrepasaron el LMA, indican con esto que las aguas son básicas y no aptas para el consumo; tuvieron en verano un valor mínimo de 7,98 y un máximo de 8,13. En invierno el valor mínimo es 7,83 y el máximo 8,19.

GRÁFICA 7
pH EN LOS PUNTOS DE MONITOREO



SW7= Río San Francisco. **SW8**= Río Trincheras. **SW21**= Río Trincheras bajo el puente. **SW23**= Río San Francisco, al noroeste de Cristina. **SW24**= Río Blanco. **SW25**= Río al oeste de Santa Rita Piedra Parada.

Fuente: Investigación de campo, 2008 a 2014.

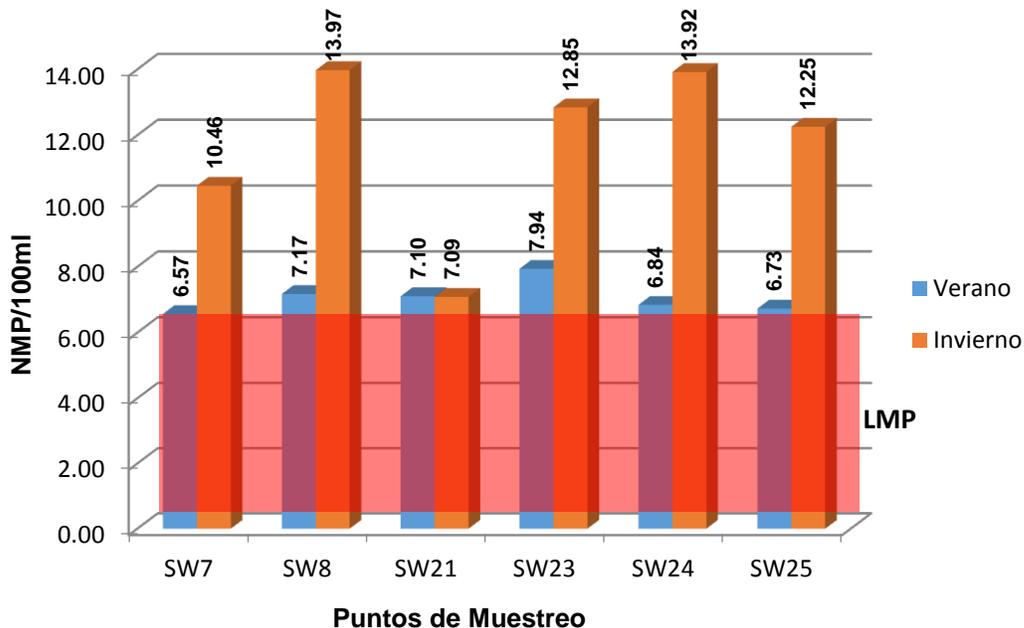
d. Oxígeno disuelto

Según lo establecido por COGUANOR el LMP es menor 6 mg/L. Como se puede observar en la gráfica 8, los valores más bajos se registraron en verano; tuvieron como mínimo 6,57

mg/L y máximo 7,94 mg/L. En invierno se registró un valor mínimo de 7,09 mg/L y un máximo de 13,97 mg/L.

Ninguna de las muestras indica contaminación o representa peligro alguno para el consumo humano, pero es importante tomar en cuenta que el punto SW7 se encuentra muy cercano al LMP.

GRÁFICA 8
CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO EN LOS PUNTOS DE MONITOREO



SW7= Río San Francisco. **SW8**= Río Trincheras. **SW21**= Río Trincheras bajo el puente. **SW23**= Río San Francisco, al noroeste de Cristina. **SW24**= Río Blanco. **SW25**= Río al oeste de Santa Rita Piedra Parada.

Fuente: Investigación de campo, 2008 a 2014.

e. Alcalinidad

Como se puede observar en la gráfica 9 los valores de alcalinidad para el verano presentaron un mínimo de 64,17 mg/L y un máximo de 116,99 mg/L. En invierno el valor mínimo fue de 66 mg/L y el máximo de 130,86 mg/L. No se puede decir

que una estación representa los valores mínimos o máximos, ya que existe variación entre cada uno de los puntos de muestreo.

Según COGUANOR el LMP es de 400 mg/L, el cual se encuentra lejos de los valores obtenidos, con lo cual se puede decir que estas aguas son aptas para el consumo humano, según este parámetro.

GRÁFICA 9
ALCALINIDAD EN LOS PUNTOS DE MONITOREO



SW7= Río San Francisco. **SW8**= Río Trincheras. **SW21**= Río Trincheras bajo el puente. **SW23**= Río San Francisco, al noroeste de Cristina. **SW24**= Río Blanco. **SW25**= Río al oeste de Santa Rita Piedra Parada.

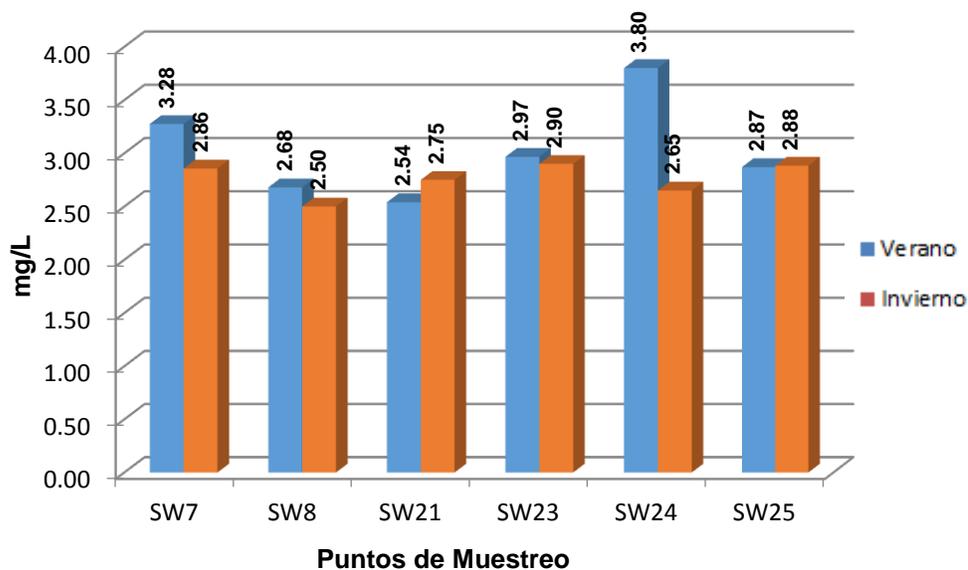
Fuente: Investigación de campo, 2008 a 2014.

f. Cloruro

Según lo establecido por COGUANOR para el ion cloruro, el LMA es de 100 mg/L y el LMP es de 500 mg/L. Todos los puntos de muestro presentan concentraciones bajas, tal y como se observa en la gráfica 10.

Los valores más bajos se registraron en invierno; con un mínimo de 2,5 mg/L y el máximo de 2,9 mg/L. En verano el valor mínimo fue de 2,54 mg/L y el máximo de 3,8 mg/L. Según los datos obtenidos, estas aguas no representan algún riesgo para el consumo humano por este parámetro.

GRÁFICA 10
CONCENTRACIÓN DE CLORURO EN LOS PUNTOS DE MONITOREO



SW7= Río San Francisco. **SW8**= Río Trincheras. **SW21**= Río Trincheras bajo el puente. **SW23**= Río San Francisco, al noroeste de Cristina. **SW24**= Río Blanco. **SW25**= Río al oeste de Santa Rita Piedra Parada.

Fuente: Investigación de campo, 2008 a 2014.

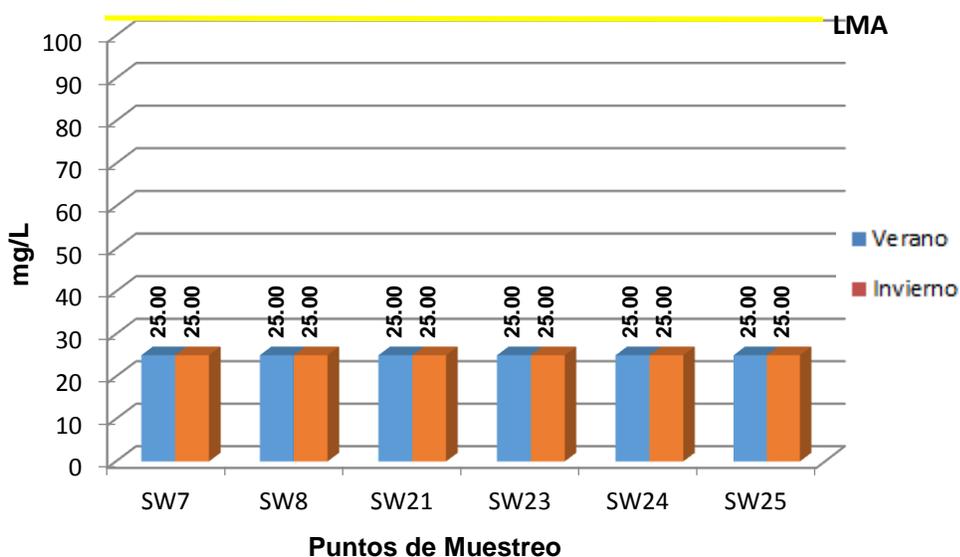
g. Sulfato

El LMA para el sulfato es de 100 mg/L y el LMP es de 250 mg/L, según lo establecido por la norma COGUANOR.

Como se puede observar en la gráfica 11, los valores no pasaron de 25 mg/L en cada uno de los puntos de monitoreo, independientemente de la estación en la cual se haya realizado el análisis. Por lo que se puede decir que estas aguas no

representan riesgo para el consumo humano por este parámetro.

GRÁFICA 11
CONCENTRACIÓN DE SULFATO EN LOS PUNTOS DE MONITOREO



SW7= Río San Francisco. **SW8**= Río Trincheras. **SW21**= Río Trincheras bajo el puente. **SW23**= Río San Francisco, al noroeste de Cristina. **SW24**= Río Blanco. **SW25**= Río al oeste de Santa Rita Piedra Parada.

Fuente: Investigación de campo, 2008 a 2014.

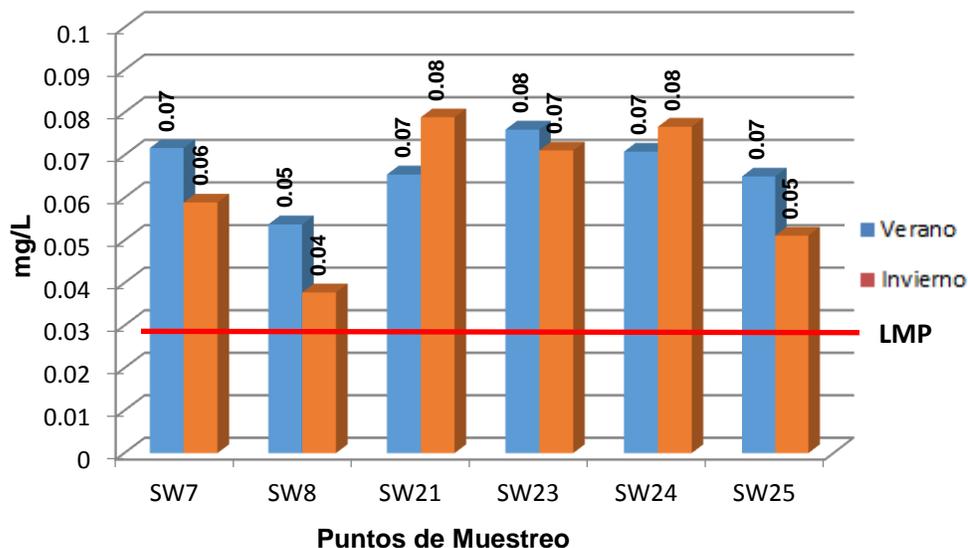
h. Fosfato

COGUANOR no considera este elemento para la calidad del agua, pero OMS establece que el LMP es 0,025 mg/L. Como se puede observar en la gráfica 12 los valores obtenidos en cada uno de los monitoreos son relativamente altos, por lo que se puede decir que según este parámetro existe riesgo para la salud humana por el consumo estas aguas.

Los valores más altos se registraron en verano, con un mínimo de 0,05 mg/L y máximo de 0,08 mg/L. En invierno el valor mínimo obtenido fue de 0,04 mg/L y el máximo de 0,08

mg/L. Es evidente que los valores se mantienen en cada uno de los puntos de monitoreo independiente de la estación en la cual haya sido obtenida la muestra.

GRÁFICA 12
CONCENTRACIÓN DE FOSFATO EN LOS PUNTOS DE MONITOREO



SW7= Río San Francisco. **SW8**= Río Trincheras. **SW21**= Río Trincheras bajo el puente. **SW23**= Río San Francisco, al noroeste de Cristina. **SW24**= Río Blanco. **SW25**= Río al oeste de Santa Rita Piedra Parada.

Fuente: Investigación de campo, 2008 a 2014.

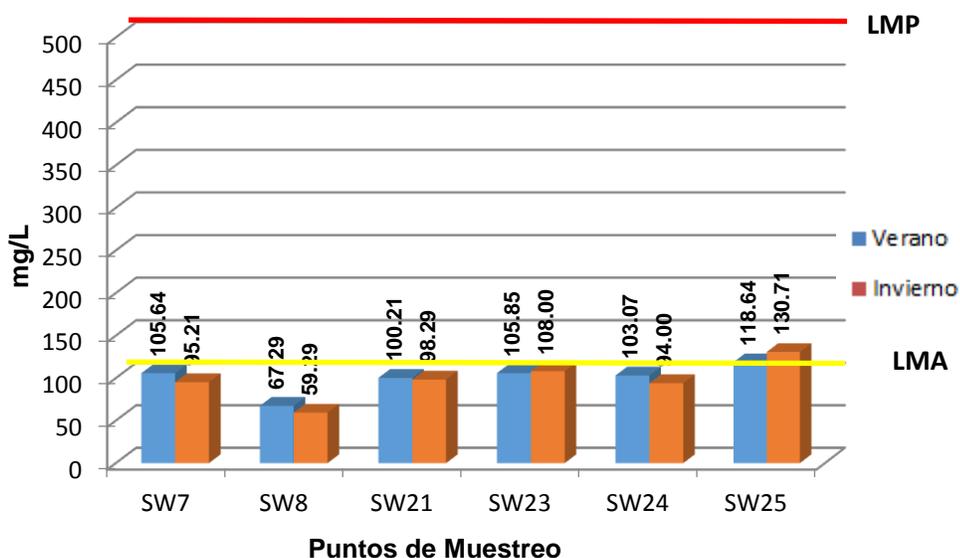
i. Dureza

El LMA para la dureza es de 100 mg/L y el LMP es de 500 mg/L, según lo establecido por COGUANOR.

La gráfica 13 muestra que en verano los valores más bajos fueron de 67,29 mg/L y los más altos de 118,64 mg/L; únicamente el punto **SW8** está por debajo del LMA. En invierno los valores mínimos fueron de 59,29 mg/L y los máximos de 130,71 mg/L.

Independientemente de la estación en la cual se haya realizado el monitoreo los valores más bajos se registran en el punto SW8 y los más altos en SW25.

GRÁFICA 13
CONCENTRACIÓN DE DUREZA EN LOS PUNTOS DE MONITOREO



SW7= Río San Francisco. **SW8**= Río Trincheras. **SW21**= Río Trincheras bajo el puente. **SW23**= Río San Francisco, al noroeste de Cristina. **SW24**= Río Blanco. **SW25**= Río al oeste de Santa Rita Piedra Parada.

Fuente: Investigación de campo, 2008 a 2014.

j. Sólidos totales

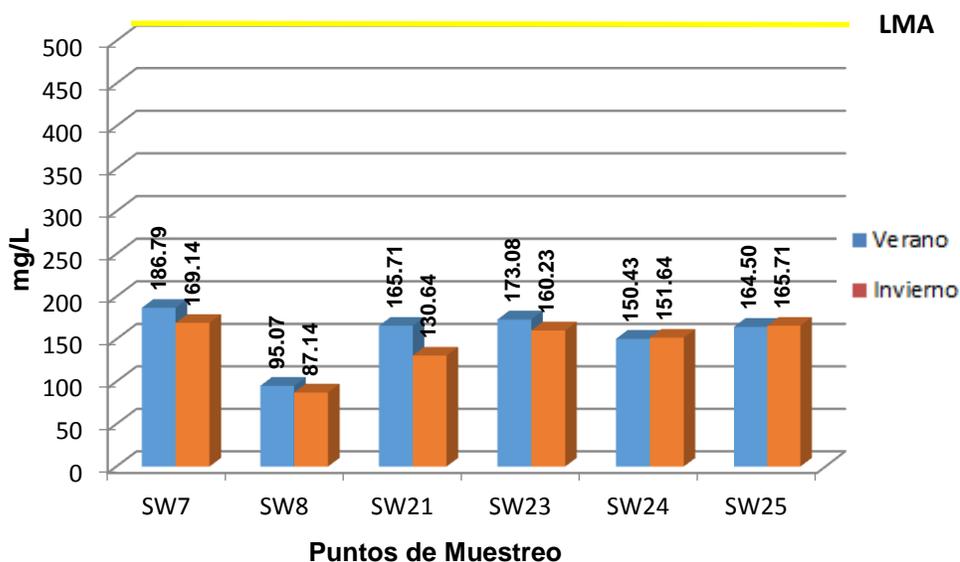
Con los resultados que se tienen de los sólidos totales, se logra visualizar que dicho parámetro en todos los puntos de monitoreo es bajo, ya que en ningún lugar de estudio pasó los límites establecidos por la norma COGUANOR (el LMA de 500 mg/L y el LMP de 1 000 mg/L).

Como se puede observar en la gráfica 14, los valores más altos se registraron en verano; el más alto fue 186,79 mg/L y el más bajo 95,07 mg/L. En invierno el valor mínimo fue 87,14

mg/L y el máximo de 169,14 mg/L. Los valores más bajos se registraron en el punto de muestreo SW8 y los más altos en SW7.

Para los puntos SW24 y SW25, los valores entre cada una de las estaciones de monitoreo varían en 1,21 mg/L, por lo que se puede decir que este parámetro aumenta mínimamente en invierno.

GRÁFICA 14
CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES EN LOS PUNTOS DE MONITOREO



SW7= Río San Francisco. **SW8**= Río Trincheras. **SW21**= Río Trincheras bajo el puente. **SW23**= Río San Francisco, al noroeste de Cristina. **SW24**= Río Blanco. **SW25**= Río al oeste de Santa Rita Piedra Parada.

Fuente: Investigación de campo, 2008 a 2014.

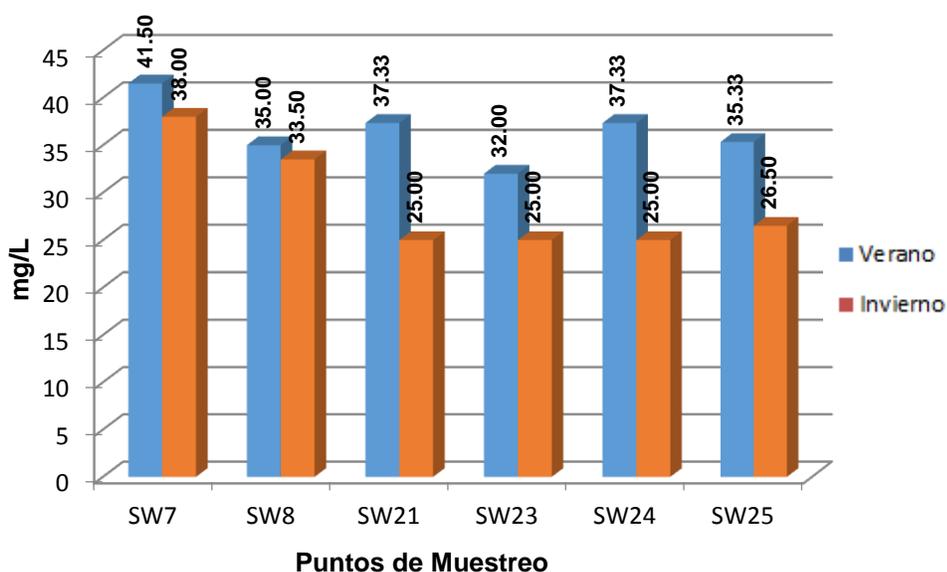
k. Demanda química de Oxígeno

COGUANOR establece que el LMP para la demanda química de Oxígeno es de 1 000 mg/L, pero como se puede observar en la gráfica 15, los valores en cada uno de los puntos de monitoreo fueron bastante bajos, por lo que se

puede decir que según este parámetro, estas aguas no representan riesgo para la salud humana.

La mayor demanda química de Oxígeno se da en verano; al mostrar como máximo 41,5 mg/L y mínimo 32 mg/L. En invierno el valor más bajo fue de 25 mg/L (este valor se mantiene constante en los puntos SW21, SW23 y SW24) y el más alto 38 mg/L. Los datos más altos se registran en el punto SW7 y los más bajos en SW23; esto independiente de la estación en la cual se realizó el monitoreo.

GRÁFICA 15
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO EN LOS PUNTOS DE MONITOREO



SW7= Río San Francisco. **SW8**= Río Trincheras. **SW21**= Río Trincheras bajo el puente. **SW23**= Río San Francisco, al noroeste de Cristina. **SW24**= Río Blanco. **SW25**= Río al oeste de Santa Rita Piedra Parada.

Fuente: Investigación de campo, 2008 a 2014.

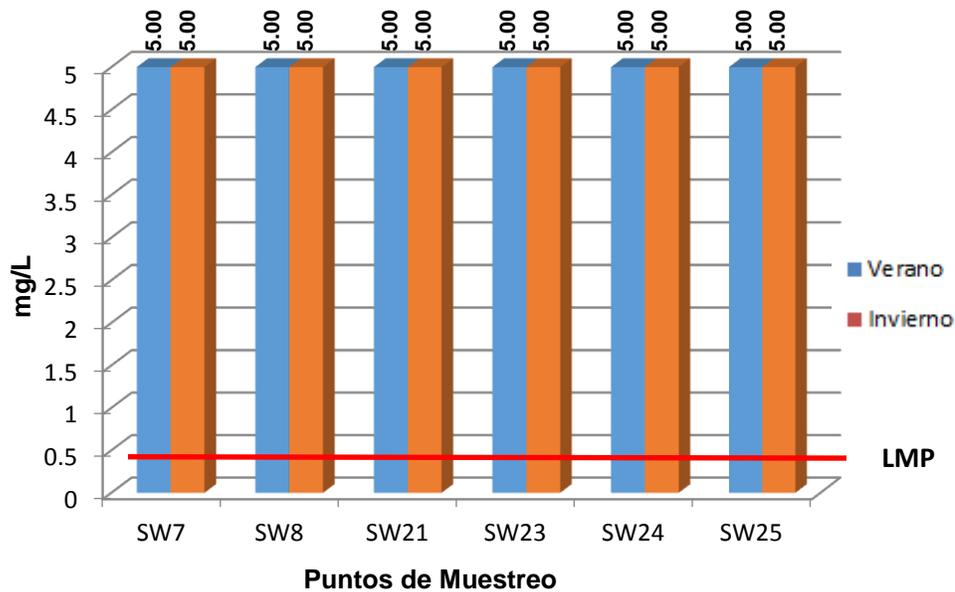
I. Grasas y aceites

El LMP establecido por COGUANOR es de 0,3 mg/L.

Como se puede observar en la gráfica 16, los valores obtenidos

en cada uno de los puntos de muestreo en las distintas estaciones (invierno y verano) fueron bastante altos (5 mg/L), con lo que se puede decir que según este parámetro estas aguas representan riesgos para el consumo humano.

GRÁFICA 16
CONCENTRACIÓN DE GRASAS Y ACEITES EN LOS PUNTOS DE MONITOREO



SW7= Río San Francisco. **SW8**= Río Trincheras. **SW21**= Río Trincheras bajo el puente. **SW23**= Río San Francisco, al noroeste de Cristina. **SW24**= Río Blanco. **SW25**= Río al oeste de Santa Rita Piedra Parada.

Fuente: Investigación de campo, 2008 a 2014.

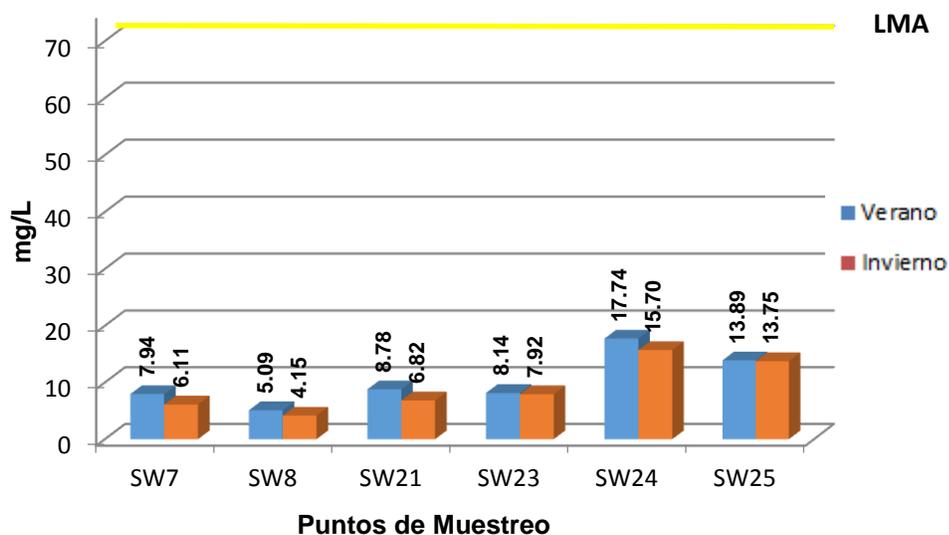
m. Calcio (Ca)

Con los resultados que se tiene del Ca, se logró visualizar que dicho parámetro en todos los sitios de monitoreo fue bajo, ya que en ningún lugar de estudio pasó los límites máximos establecidos por la norma COGUANOR.

Como se puede observar en la gráfica 17, los valores más altos se presentaron en verano; con 17,74 mg/L como máximo valor y el mínimo 5,09 mg/L. En invierno los resultados son

más bajos; 4,15 mg/L el mínimo y 15,7 mg/L el máximo. Los valores más bajos se presentaron en el punto de monitoreo SW8 y los más altos en SW24.

GRÁFICA 17
CONCENTRACIÓN DE CALCIO EN LOS PUNTOS DE MONITOREO



SW7= Río San Francisco. **SW8**= Río Trincheras. **SW21**= Río Trincheras bajo el puente. **SW23**= Río San Francisco, al noroeste de Cristina. **SW24**= Río Blanco. **SW25**= Río al oeste de Santa Rita Piedra Parada.

Fuente: Investigación de campo, 2008 a 2014.

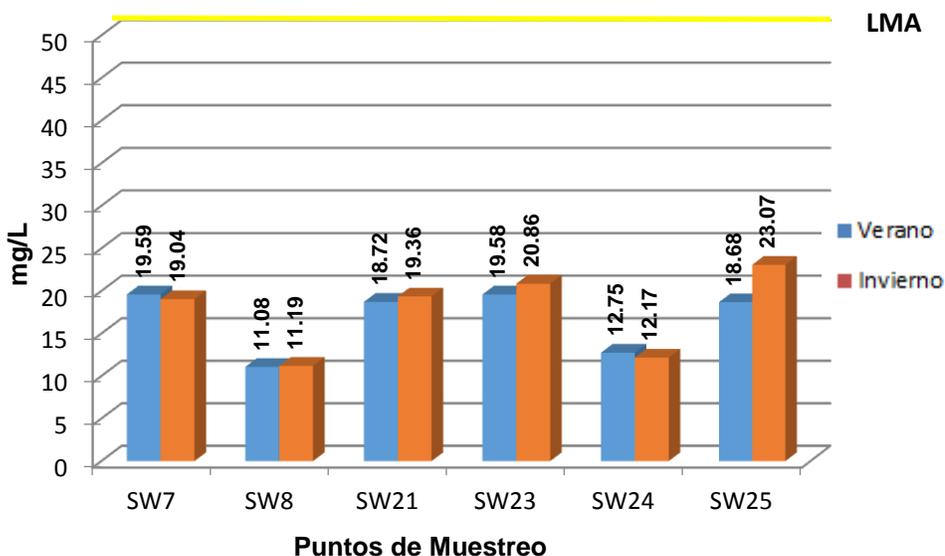
n. Magnesio (Mg)

Según lo establecido por la norma COGUANOR, el LMA es de 50 mg/L y el LMP de 100 mg/L. Los valores obtenidos en cada uno de los monitoreos fueron bastante bajos, por lo cual se establece que la presencia de este parámetro en el agua no es perjudicial para la salud humana.

En la gráfica 18 se observan las variaciones de Mg en verano e invierno. Los valores más bajos fueron 11,08 mg/L y los más altos ascienden a 19,59 mg/L en verano. Para el invierno los valores mínimos fueron 11,19 mg/L y los máximos

llegaron 23,07 mg/L. Los valores más bajos se registraron en el punto de monitoreo SW8. Los resultados tienen mayor variación en el invierno.

GRÁFICA 18
CONCENTRACIÓN DE MAGNESIO EN LOS PUNTOS DE MONITOREO



SW7= Río San Francisco. **SW8**= Río Trincheras. **SW21**= Río Trincheras bajo el puente. **SW23**= Río San Francisco, al noroeste de Cristina. **SW24**= Río Blanco. **SW25**= Río al oeste de Santa Rita Piedra Parada.

Fuente: Investigación de campo, 2008 a 2014.

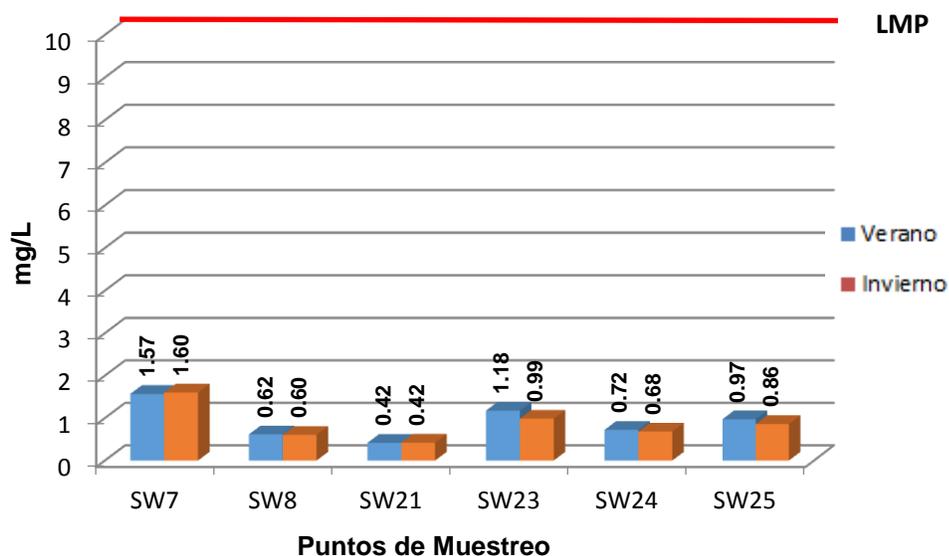
o. Potasio (K)

La norma COGUANOR establece para este parámetro que el LMP es de 10 mg/L, pero como se puede observar en la gráfica 19, los valores obtenidos en cada uno de los puntos de muestro fueron bastante bajos, con lo cual se puede decir que este parámetro no representa algún riesgo para la salud humana.

En verano los valores más bajos fueron 0,42 mg/L y los más altos 1,57 mg/L. En invierno los valores mínimos fueron 0,42 mg/L y los máximos 1,60 mg/L.

Independientemente de la estación en la cual se haya realizado el monitoreo los valores más bajos se registraron en el punto SW21 (iguales en cada estación) y los más altos en SW7 (una diferencia de 0,03 mg/L).

GRÁFICA 19
CONCENTRACIÓN DE POTASIO EN LOS PUNTOS DE MONITOREO



SW7= Río San Francisco. **SW8**= Río Trincheras. **SW21**= Río Trincheras bajo el puente. **SW23**= Río San Francisco, al noroeste de Cristina. **SW24**= Río Blanco. **SW25**= Río al oeste de Santa Rita Piedra Parada.

Fuente: Investigación de campo, 2008 a 2014.

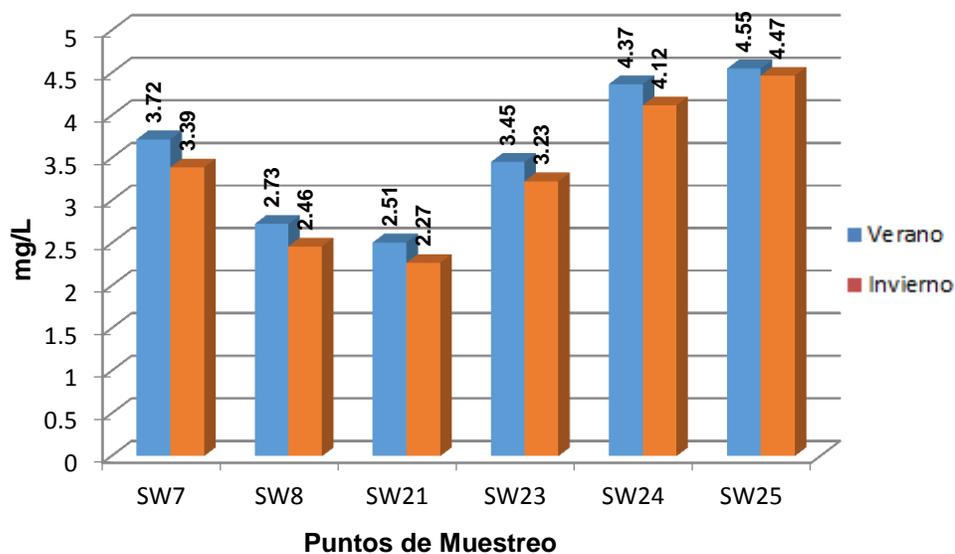
p. Sodio (Na)

COGUANOR establece que el LMP para el Na es de 200 mg/L, pero como se puede observar en la gráfica 20, los valores en cada uno de los puntos de monitoreo fueron bastante bajos (no alcanzan 5 mg/L), por lo que se puede decir

que según este parámetro estas aguas no representan riesgo para la salud humana.

Las mayores concentraciones de Na se dan en verano; con un máximo 4,55 mg/L y mínimo 2,51 mg/L. En invierno el valor más bajo fue 2,27 mg/L y el más alto 4,47 mg/L. Los datos más altos se registraron en el punto SW25 y los más bajos en SW21; esto independiente de la estación en la cual se realizó el monitoreo.

GRÁFICA 20
CONCENTRACIÓN DE SODIO EN LOS PUNTOS DE MONITOREO



SW7= Río San Francisco. **SW8**= Río Trincheras. **SW21**= Río Trincheras bajo el puente. **SW23**= Río San Francisco, al noroeste de Cristina. **SW24**= Río Blanco. **SW25**= Río al oeste de Santa Rita Piedra Parada.

Fuente: Investigación de campo, 2008 a 2014.

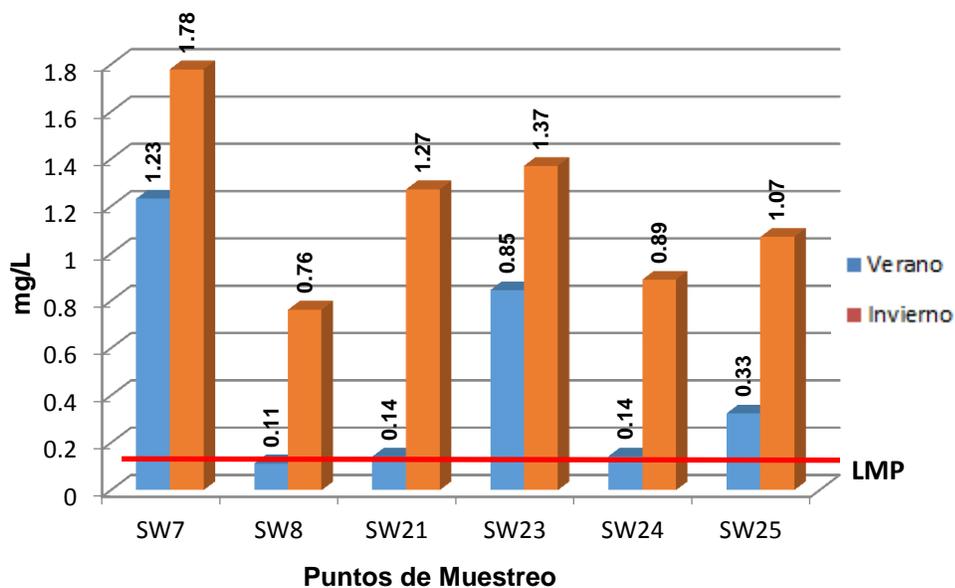
q. Aluminio (Al)

La norma COGUANOR establece que el LMA es de 0,05 mg/L y que el LMP es de 0,1 mg/L. Como se puede observar en la gráfica 21 los valores obtenidos en cada uno de los

monitoreo son altos y sobrepasan el LMP, por lo que se puede decir que según este parámetro, existe peligro para la salud humana por el consumo de estas aguas.

Los valores más altos se registraron en época invierno, con un mínimo de 0,76 mg/L y un máximo 1,78 mg/L. En verano el valor más bajo obtenido fue de 0,11 mg/L y el más alto de 1,23 mg/L. El punto SW8 presenta los valores más bajos y SW7 los valores más altos.

GRÁFICA 21
CONCENTRACIÓN DE ALUMINIO EN LOS PUNTOS DE MONITOREO



SW7= Río San Francisco. **SW8**= Río Trincheras. **SW21**= Río Trincheras bajo el puente. **SW23**= Río San Francisco, al noroeste de Cristina. **SW24**= Río Blanco. **SW25**= Río al oeste de Santa Rita Piedra Parada.

Fuente: Investigación de campo, 2008 a 2014.

r. Arsénico (As)

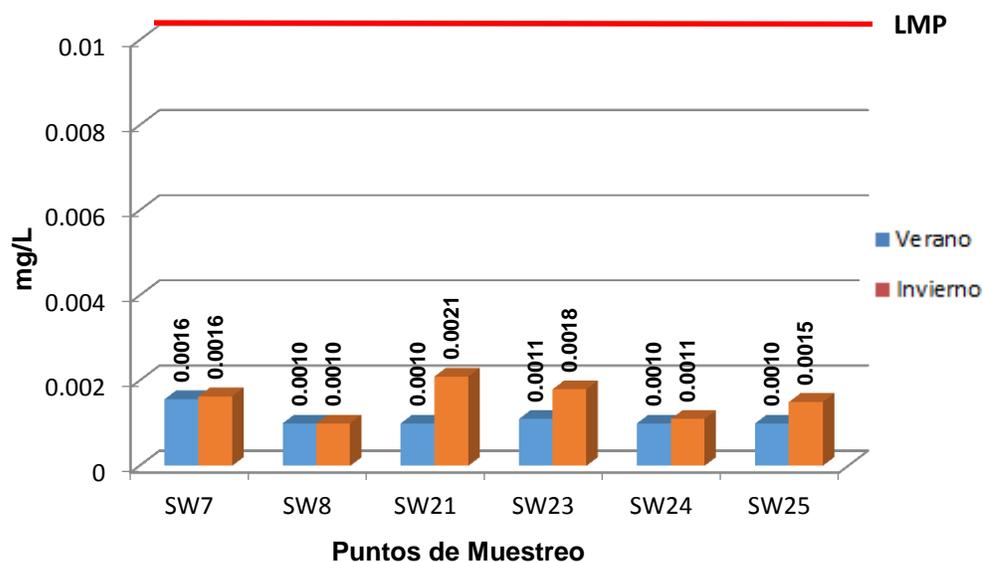
Según lo establecido por la norma COGUANOR, el LMP para el As es de 0,01 mg/L. Como se puede observar en la gráfica 22, los valores obtenidos en cada uno de los puntos de

muestreo (independientemente de la estación en la cual se haya realizado el monitoreo) fueron relativamente bajos, con lo cual se puede decir que según este parámetro estas agua no representan riesgo para la salud humana.

Los valores más altos de As se presentan en el invierno; tuvo como máximo 0,0021 mg/L y como mínimo 0,001 mg/L. En verano el valor más bajo fue de 0,001 mg/L y el más alto de 0,0016 mg/L.

Los valores más bajos se presentaron en el punto SW8, inclusive estos no varían independiente de la estación; al igual que SW7.

GRÁFICA 22
CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO EN LOS PUNTOS DE MONITOREO

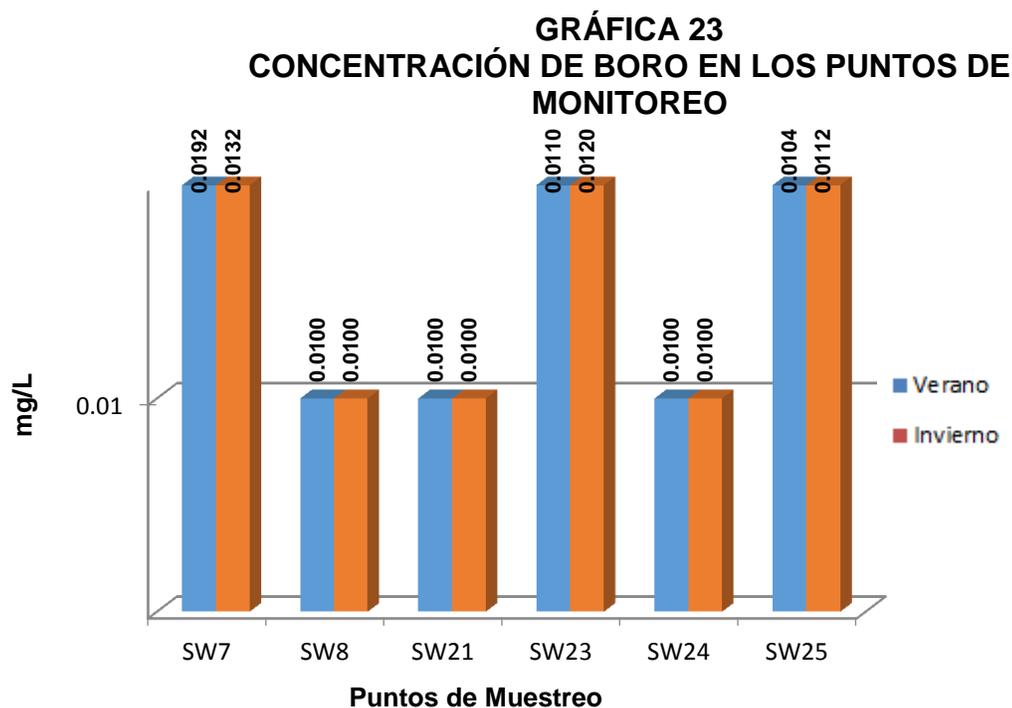


SW7= Río San Francisco. **SW8**= Río Trincheras. **SW21**= Río Trincheras bajo el puente. **SW23**= Río San Francisco, al noroeste de Cristina. **SW24**= Río Blanco. **SW25**= Río al oeste de Santa Rita Piedra Parada.

Fuente: Investigación de campo, 2008 a 2014.

s. Boro (Bo)

COGUANOR establece que el LMP para el Boro es de 0,3 mg/L, pero como se puede observar en la gráfica 23, los valores en cada uno de los puntos de monitoreo fueron bastante bajos (no alcanzaron ni 0,02 mg/L), por lo que se puede decir que según este parámetro estas aguas no representan riesgo para la salud humana.



SW7= Río San Francisco. **SW8**= Río Trincheras. **SW21**= Río Trincheras bajo el puente. **SW23**= Río San Francisco, al noroeste de Cristina. **SW24**= Río Blanco. **SW25**= Río al oeste de Santa Rita Piedra Parada.

Fuente: Investigación de campo, 2008 a 2014.

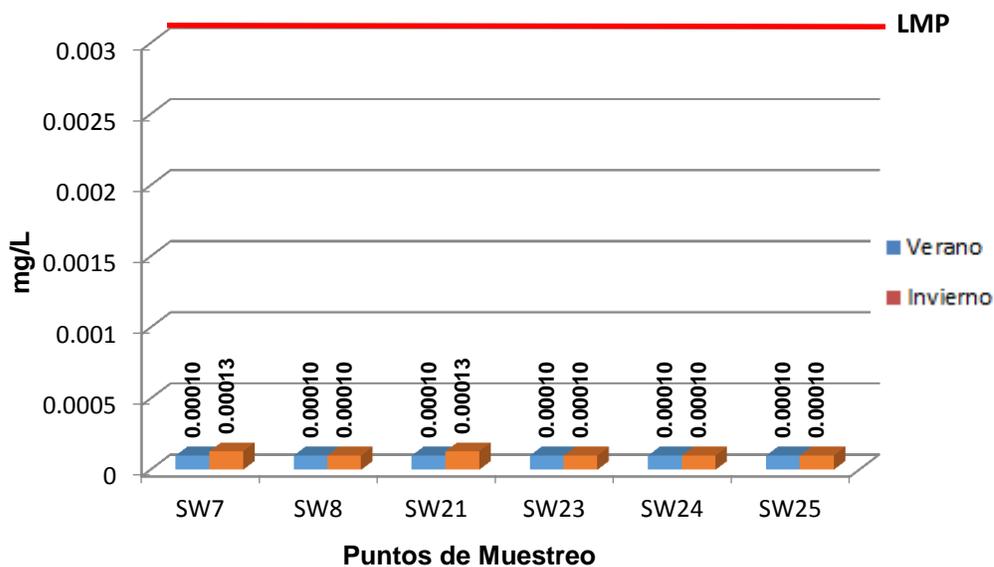
No se puede establecer en que estación se dieron las mayores concentraciones de Bo, pero se observa que en verano el máximo es de 0,0192 mg/L y el mínimo de 0,010 mg/L. En invierno el valor más bajo fue 0,010 mg/L y el más alto 0,0132 mg/L. Los datos más altos se registraron en el

punto SW7 y los más bajos en SW8, SW21 y SW24; esto independiente de la estación en la cual se realizó el monitoreo.

t. Cadmio (Cd)

La norma COGUANOR establece que el LMP para el Cd es 0,003 mg/L, pero como se observa en la gráfica 24, los valores en cada uno de los puntos de monitoreo fueron bastante bajos (no alcanzaron ni 0,00015 mg/L), por lo que se puede decir que según este parámetro, estas aguas no representan riesgo para la salud humana.

GRÁFICA 24
CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN LOS PUNTOS DE MONITOREO



SW7= Río San Francisco. **SW8**= Río Trincheras. **SW21**= Río Trincheras bajo el puente. **SW23**= Río San Francisco, al noroeste de Cristina. **SW24**= Río Blanco. **SW25**= Río al oeste de Santa Rita Piedra Parada.

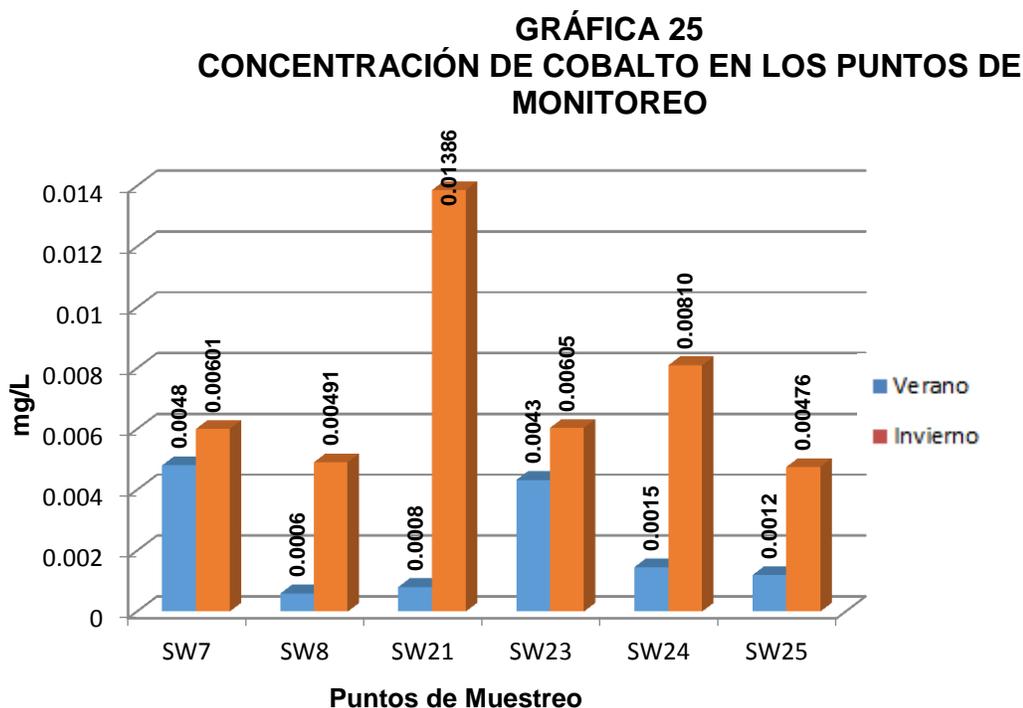
Fuente: Investigación de campo, 2008 a 2014.

No se puede establecer en que estación se dan las mayores concentraciones de Cd, ya que en cuatro puntos de muestreo (SW8, SW23, SW24 y SW25) el valor fue el mismo

en ambas estaciones (0.0001 mg/L). Los puntos SW7 y SW21 presentaron un valor máximo de 0,00013 mg/L y un mínimo de 0,00010 mg/L, como se observa las variaciones son mínimas, con lo que se puede decir que el Bo se mantiene estable en área de estudio independientemente del invierno o verano.

u. Cobalto (Co)

Según lo establecido por la norma COGUANOR, el LMP para el Co es de 0,20 mg/L. Como se puede observar en la gráfica 25, los valores obtenidos en cada uno de los puntos de muestreo (independientemente de la estación en la cual se haya realizado el monitoreo) fueron relativamente bajos, con lo cual se puede decir que según este parámetro estas agua no representan riesgo para la salud humana.



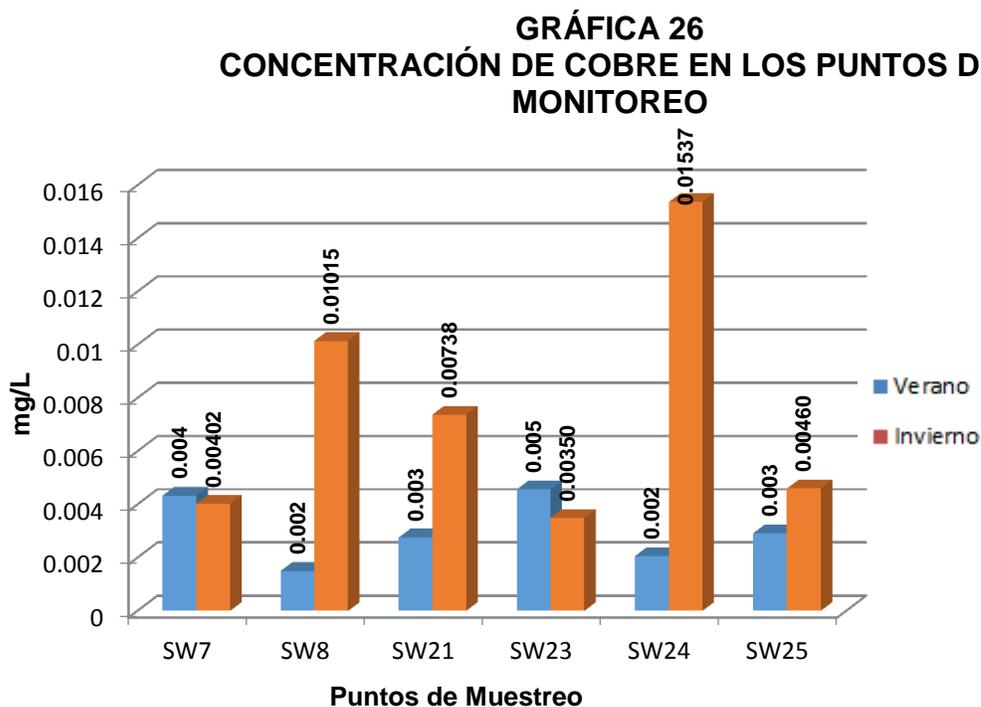
SW7= Río San Francisco. **SW8**= Río Trincheras. **SW21**= Río Trincheras bajo el puente. **SW23**= Río San Francisco, al noroeste de Cristina. **SW24**= Río Blanco. **SW25**= Río al oeste de Santa Rita Piedra Parada.

Fuente: Investigación de campo, 2008 a 2014.

Los valores más altos de Co se presentaron en invierno; con un máximo de 0,01386 mg/L y como mínimo 0,00476 mg/L. En verano el valor más bajo fue de 0,0006 mg/L y el más alto 0,0048 mg/L.

v. Cobre (Cu)

La norma COGUANOR establece que el LMA es de 0,05 mg/L y el LMP es de 1,50 mg/L. Como se puede observar en la gráfica 26, los valores obtenidos en cada uno de los puntos de muestreo no alcanzaron ni 0,02 mg/L (independientemente de la estación en la cual se haya realizado el monitoreo), con lo cual se puede decir que según este parámetro estas aguas no representan riesgo para la salud humana por su ingesta.



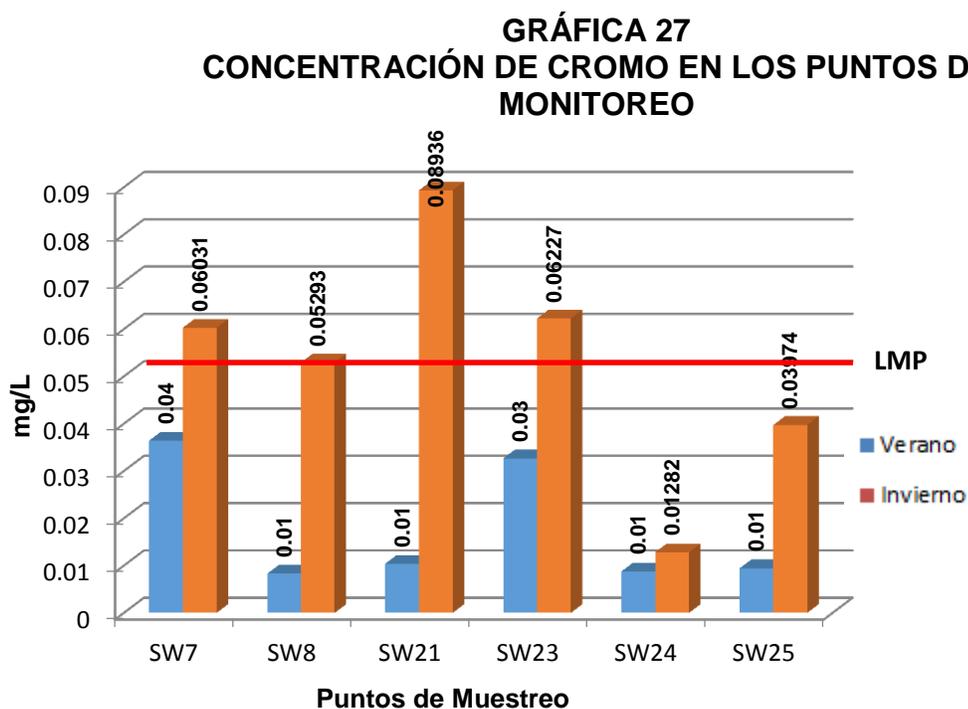
SW7= Río San Francisco. **SW8**= Río Trincheras. **SW21**= Río Trincheras bajo el puente. **SW23**= Río San Francisco, al noroeste de Cristina. **SW24**= Río Blanco. **SW25**= Río al oeste de Santa Rita Piedra Parada.

Fuente: Investigación de campo, 2008 a 2014.

Los valores más altos de Co se presentaron en el invierno; con un máximo de 0,01537 mg/L y mínimo 0,00402 mg/L. En verano el valor más bajo fue de 0,002 mg/L y el más alto 0,005 mg/L.

w. Cromo (Cr)

Según lo establecido por la norma COGUANOR, el LMP para el Cr es 0,05 mg/L. Como se puede observar en la gráfica 27, los valores obtenidos en invierno; en su mayoría sobrepasan el LMP (puntos SW7, SW8, SW21 y SW23), por lo que se puede decir que para estos puntos de muestreo en invierno existe peligro para la salud humana por el consumo de estas aguas.



SW7= Río San Francisco. **SW8**= Río Trincheras. **SW21**= Río Trincheras bajo el puente. **SW23**= Río San Francisco, al noroeste de Cristina. **SW24**= Río Blanco. **SW25**= Río al oeste de Santa Rita Piedra Parada.

Fuente: Investigación de campo, 2008 a 2014.

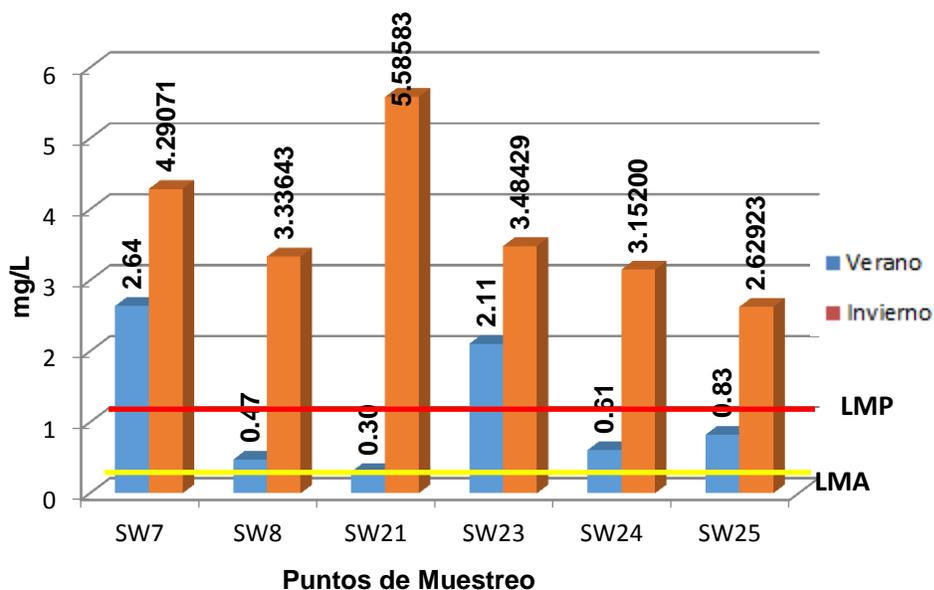
Como se mencionó anteriormente, los valores más altos se registraron en invierno, con un mínimo de 0,01282 mg/L y un máximo de 0,08936 mg/L. En verano el valor más bajo obtenido fue 0,01 mg/L y el más alto de 0,04 mg/L. El punto SW24 presentó los valores más bajos, independientemente de la estación en la cual se haya realizado el monitoreo.

x. Hierro (Fe)

La norma COGUANOR establece que el LMA es 0,10 mg/L y que el LMP es 1 mg/L. Como se puede observar en la gráfica 28 los valores obtenidos en cada uno de los puntos de monitoreo en invierno fueron altos y sobrepasan el LMP (valor más alto 5,58583 mg/L y más bajo 2,62923 mg/L), por lo que se puede decir que según este parámetro existe peligro para la salud humana por el consumo de estas aguas en invierno.

En verano el valor más bajo fue de 0,30 mg/L y el más alto de 2,64 mg/L. Como se puede observar en todos los puntos de monitoreo los valores pasan el LMA y solo el punto SW7 y SW23 sobrepasan el LMP, por lo que se puede decir que en todas las estaciones de monitoreo existe riesgo para el consumo humano, pero las que realmente representan un peligro son las dos estaciones mencionadas anteriormente.

GRÁFICA 28
CONCENTRACIÓN DE HIERRO EN LOS PUNTOS DE
MONITOREO



SW7= Río San Francisco. **SW8**= Río Trincheras. **SW21**= Río Trincheras bajo el puente. **SW23**= Río San Francisco, al noroeste de Cristina. **SW24**= Río Blanco. **SW25**= Río al oeste de Santa Rita Piedra Parada.

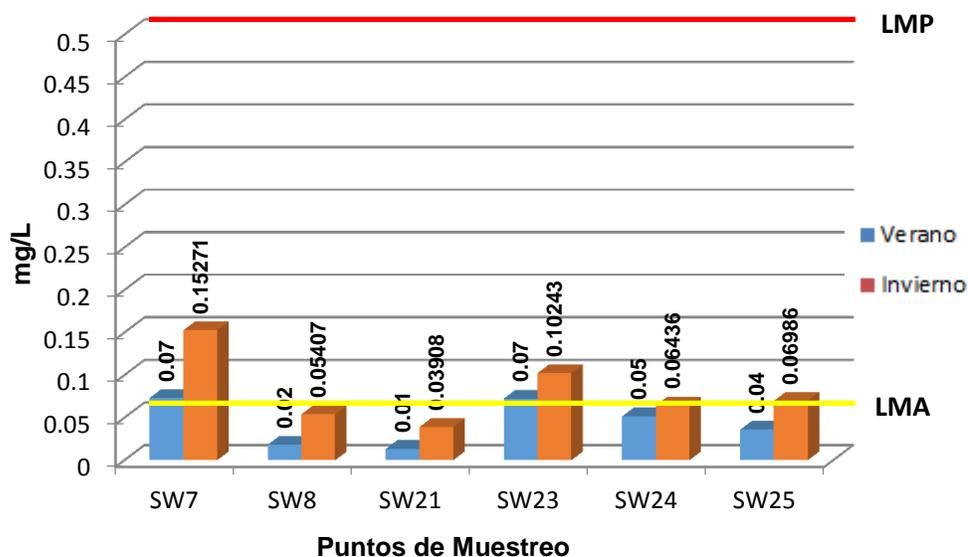
Fuente: Investigación de campo, 2008 a 2014.

y. Manganeso (Mn)

El LMA para el Mn es 0,05 mg/L y el LMP es 0.50 mg/L, según lo establecido por la norma COGUANOR.

La gráfica 29 muestra que los valores más altos se dieron en el invierno, siendo el máximo de 0,15271 mg/L y el mínimo de 0,03908 mg/L; únicamente el punto SW21 está por debajo del LMA. En verano el valor más alto fue de 0.07 mg/L y el más bajo 0,01 mg/L; únicamente los puntos SW7 y SW23 pasan el LMA. Independientemente de la estación en la cual se haya realizado el monitoreo los valores más bajos se registraron en el punto SW21 y los más altos en SW7.

GRÁFICA 29
CONCENTRACIÓN DE MANGANESO EN LOS PUNTOS DE MONITOREO



SW7= Río San Francisco. **SW8**= Río Trincheras. **SW21**= Río Trincheras bajo el puente. **SW23**= Río San Francisco, al noroeste de Cristina. **SW24**= Río Blanco. **SW25**= Río al oeste de Santa Rita Piedra Parada.

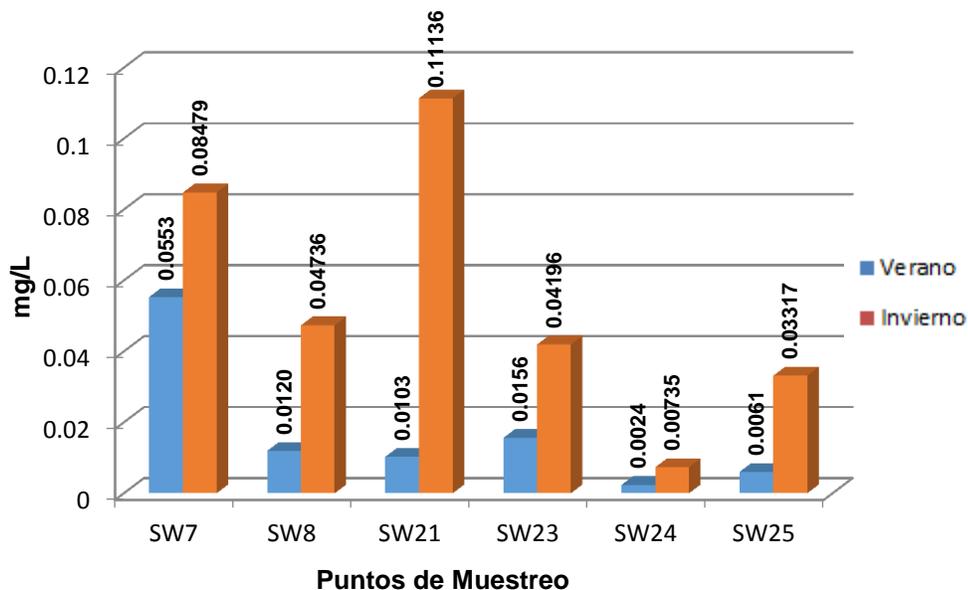
Fuente: Investigación de campo, 2008 a 2014.

z. Níquel (Ni)

La norma COGUANOR establece que el LMP para el Ni es de 0,50 mg/L. Como se puede observar en la gráfica 30, los valores obtenidos en cada uno de los puntos de muestreo no alcanzaron 0,12 mg/L (independientemente de la estación en la cual se haya realizado el monitoreo), con lo cual se puede decir que según este parámetro estas aguas no representan riesgo para la salud humana por su ingesta.

Los valores más altos se presentaron en invierno; teniendo como máximo 0,11136 mg/L y como mínimo 0,00735 mg/L. En verano el valor más bajo fue 0,0024 mg/L y el más alto de 0,0553 mg/L. Los valores más bajos se presentan en el punto de monitoreo SW24.

GRÁFICA 30
CONCENTRACIÓN DE NÍQUEL EN LOS PUNTOS DE MONITOREO



SW7= Río San Francisco. **SW8**= Río Trincheras. **SW21**= Río Trincheras bajo el puente. **SW23**= Río San Francisco, al noroeste de Cristina. **SW24**= Río Blanco. **SW25**= Río al oeste de Santa Rita Piedra Parada.

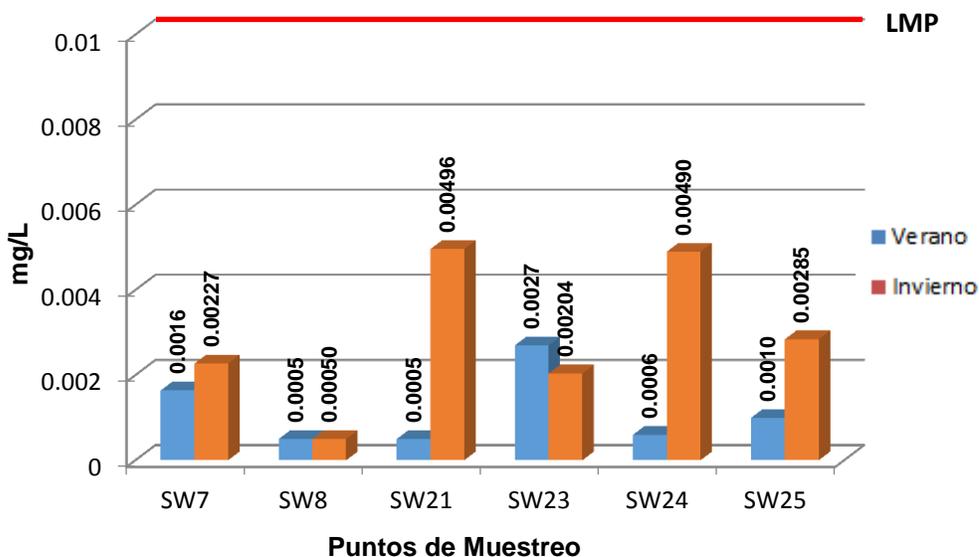
Fuente: Investigación de campo, 2008 a 2014.

a.a. Plomo (Pb)

Según lo establecido por la norma COGUANOR, el LMP para el Pb es 0,01 mg/L. Como se puede observar en la gráfica 31, los valores obtenidos en cada uno de los puntos de muestreo (independientemente de la estación en la cual se haya realizado el monitoreo) fueron relativamente bajos, con lo cual se puede decir que según este parámetro estas agua no representan riesgo para la salud humana.

Los valores más altos se presentaron en invierno; presentando como máximo 0,00496 mg/L y como mínimo 0,0005 mg/L. En verano el valor más bajo fue 0,0005 mg/L y el más alto 0,0027 mg/L. Los valores más bajo se presentan en el punto de muestreo SW8.

GRÁFICA 31
CONCENTRACIÓN DE PLOMO EN LOS PUNTOS DE MONITOREO



SW7= Río San Francisco. **SW8**= Río Trincheras. **SW21**= Río Trincheras bajo el puente. **SW23**= Río San Francisco, al noroeste de Cristina. **SW24**= Río Blanco. **SW25**= Río al oeste de Santa Rita Piedra Parada.

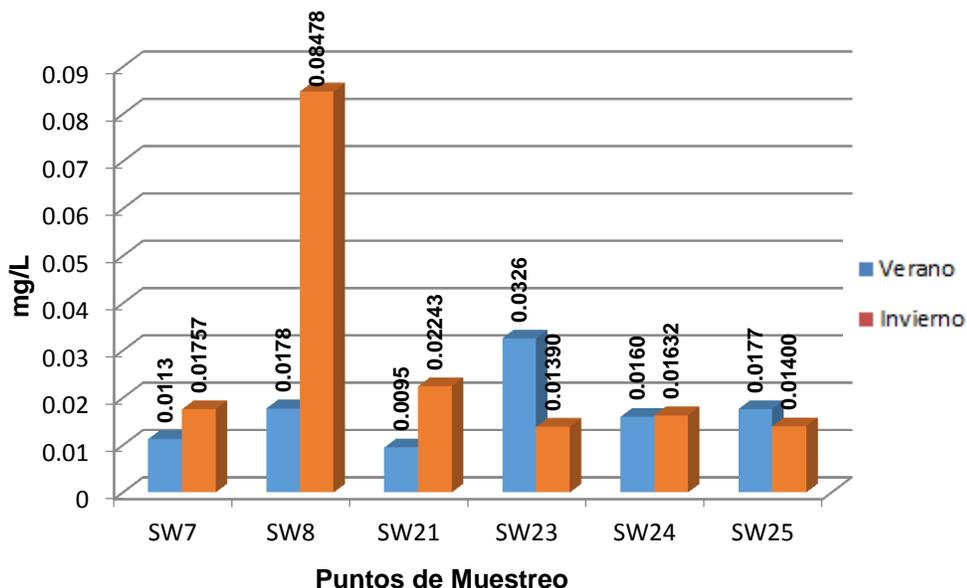
Fuente: Investigación de campo, 2008 a 2014.

a.b. Zinc (Zn)

La norma COGUANOR establece que el LMA es de 3 mg/L y el LMP es de 70 mg/L. Como se puede observar en la gráfica 30, los valores obtenidos en cada uno de los puntos de muestreo no alcanzaron 0,1 mg/L (independientemente de la estación en la cual se haya realizado el monitoreo), con lo cual se puede decir que según este parámetro estas agua no representan riesgo para la salud humana por su ingesta.

Los valores más altos se presentaron en el invierno; teniendo como máximo 0,08478 mg/L y como mínimo 0,0139 mg/L. En verano el valor más bajo es de 0,0095 mg/L y el más alto de 0,0326 mg/L.

GRÁFICA 32
CONCENTRACIÓN DE ZINC EN LOS PUNTOS DE MONITOREO



SW7= Río San Francisco. **SW8**= Río Trincheras. **SW21**= Río Trincheras bajo el puente. **SW23**= Río San Francisco, al noroeste de Cristina. **SW24**= Río Blanco. **SW25**= Río al oeste de Santa Rita Piedra Parada.

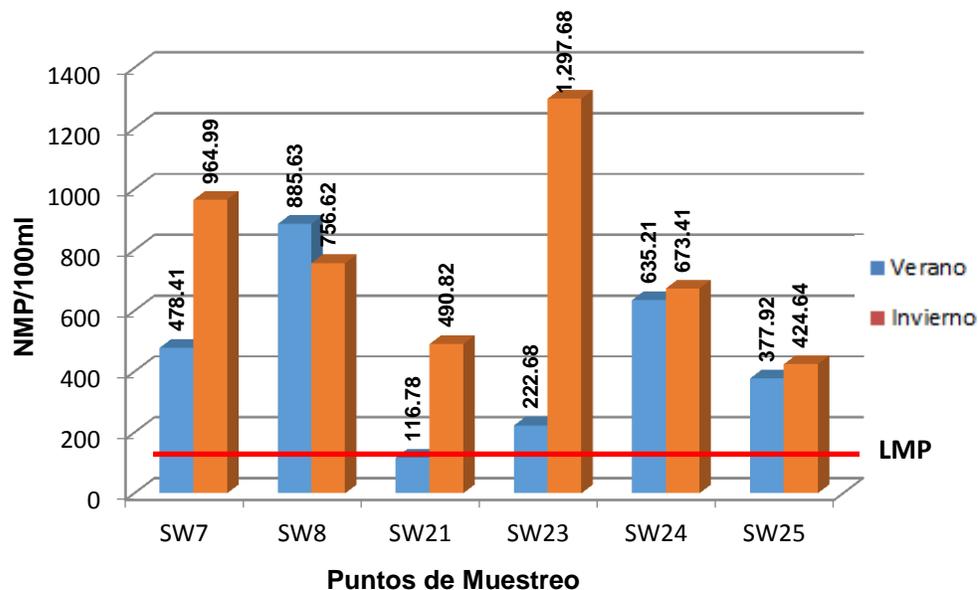
Fuente: Investigación de campo, 2008 a 2014.

a.c. Coliformes fecales (*E-coli*)

La *E-coli* únicamente tiene LMP, que es de 1,1 NMP/100 ml, según lo establecido por la norma COGUANOR para el consumo humano.

Como se puede observar en la gráfica anterior, todos los valores de *E-coli* obtenidos en cada uno de los puntos de muestreo, independiente de la estación, se encuentran por encima del LMP. Con estos valores, las aguas no son aptas para el consumo humano, ya que representan peligro para la salud.

GRÁFICA 33
CONCENTRACIÓN DE COLIFORMES FECALES EN LOS
PUNTOS DE MONITOREO



SW7= Río San Francisco. **SW8**= Río Trincheras. **SW21**= Río Trincheras bajo el puente. **SW23**= Río San Francisco, al noroeste de Cristina. **SW24**= Río Blanco. **SW25**= Río al oeste de Santa Rita Piedra Parada.

Fuente: Investigación de campo, 2008 a 2014.

En el cuadro 19 se puede observar la evaluación de la calidad del agua en base a la norma COGUANOR, al considerar cada uno de los elementos analizados y comparándolos entre invierno y verano.

Los elementos y/o parámetros que pasan el LMP en verano son: fosfato, grasas y aceites, Aluminio y *E. coli*; mientras que en invierno son los siguientes: fosfato, grasas y aceites, Aluminio, Cromo, Hierro y *E. coli*.

CUADRO 19
EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN BASE A LA NORMA
COGUANOR

ELEMENTO Y/O PARAMETRO	VERANO			INVIERNO		
	< LMA	< LMP	> LMA	< LMA	< LMP	> LMA
Temperatura		X		X		
Conductividad eléctrica	X			X		
Potencial de Hidrogeno (pH)		X			X	
Oxígeno Disuelto		X		X		
Alcalinidad	X			X		
Cloruro	X			X		
Sulfato	X			X		
Fosfato			X			X
Dureza	X			X		
Sólidos totales	X			X		
Demanda química de Oxígeno (DQO)	X			X		
Grasas y aceite			X			X
Calcio	X			X		
Magnesio	X			X		
Potasio	X			X		
Sodio	X			X		
Aluminio			X			X
Arsénico	X			X		
Boro	X			X		
Cadmio	X			X		
Cobalto	X			X		
Cobre	X			X		
Cromo	X					X
Hierro		X				X
Manganeso	X				X	
Níquel	X			X		
Plomo	X			X		
Zinc	X			X		
Coliformes fecales (<i>E. Coli</i>)			X			X

<LMA = el agua es aceptable. **<LMP** = el agua es rechazable, desde el punto de vista sensorial, sin que signifique un daño o peligro. **>LMP** = no es adecuada para el consumo humano.

Fuente: Investigación de campo, 2008 a 2014.

3.1.4. Índices de contaminación

a. Índice o nivel de contaminación bacteriana (ICOPA)

En base a los resultados de laboratorio, se estableció el índice o nivel de contaminación bacteriana para cada punto de muestreo. En el cuadro 20 se observa el grado y la clasificación de riesgo para este parámetro en verano.

CUADRO 20
NIVEL DE CONTAMINACIÓN BACTERIANA SEGÚN EL NIVEL DE RIESGO
PARA LA SALUD, EN VERANO

Punto de monitoreo	Cantidad de <i>E-coli</i>	Grado	Clasificación de riesgo
SW7	478,41	D	Alto
SW8	885,63	D	Alto
SW21	116,78	D	Alto
SW23	222,68	D	Alto
SW24	635,21	D	Alto
SW25	377,92	D	Alto

SW7= Río San Francisco. **SW8**= Río Trincheras. **SW21**= Río Trincheras bajo el puente. **SW23**= Río San Francisco, al noroeste de Cristina. **SW24**= Río Blanco. **SW25**= Río al oeste de Santa Rita Piedra Parada.

Fuente: Investigación de campo, 2008 a 2014.

Como se observa en el cuadro anterior, todos los puntos de muestreo presentan un grado de contaminación D; lo que significa que estas aguas no son potables. El grado de riesgo para la salud es alto, y son inaceptables para su ingesta.

Para el invierno también se estableció el índice o nivel de contaminación bacteriana. En el cuadro 21 se puede observar que la mayoría de los puntos de muestreo presentaron un grado de contaminación D y una clasificación de riesgo alto, a excepción del punto SW23 que tuvo un grado contaminación E y una clasificación de riesgo para la salud muy alto. Se puede

decir que estas aguas son inaceptables para el consumo humano.

**CUADRO 21
NIVEL DE CONTAMINACIÓN BACTERIANA SEGÚN EL NIVEL DE RIESGO
PARA LA SALUD, EN INVIERNO**

Punto de monitoreo	Cantidad de <i>E-coli</i>	Grado	Clasificación de riesgo
SW7	964,99	D	Alto
SW8	756,62	D	Alto
SW21	490,82	D	Alto
SW23	1 297,68	E	Muy alto
SW24	673,41	D	Alto
SW25	424,64	D	Alto

SW7= Río San Francisco. **SW8**= Río Trincheras. **SW21**= Río Trincheras bajo el puente. **SW23**= Río San Francisco, al noroeste de Cristina. **SW24**= Río Blanco. **SW25**= Río al oeste de Santa Rita Piedra Parada.

Fuente: Investigación de campo, 2008 a 2014.

b. Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS)

Con los sólidos suspendidos se clasificaron cada una de las muestras para determinar el índice de contaminación. En el cuadro 22 se observan los resultados de la concentración y calidad del ICOSUS para verano.

Como se puede observar en el siguiente cuadro, todos los puntos de monitoreo presentaron concentraciones menores a diez, lo cual indica que la calidad del agua es muy buena, según lo establecido por el índice ICOSUS.

CUADRO 22
CONCENTRACIONES Y CALIDAD DEL AGUA SEGÚN SÓLIDOS
SUSPENDIDOS, EN VERANO

Punto de monitoreo	Concentración	Calidad
SW7	0,07	Muy buena
SW8	0,11	Muy buena
SW21	0,01	Muy buena
SW23	0,09	Muy buena
SW24	0,04	Muy buena
SW25	0,02	Muy buena

SW7= Río San Francisco. **SW8**= Río Trincheras. **SW21**= Río Trincheras bajo el puente. **SW23**= Río San Francisco, al noroeste de Cristina. **SW24**= Río Blanco. **SW25**= Río al oeste de Santa Rita Piedra Parada.

Fuente: Investigación de campo, 2008 a 2014.

En el cuadro 23 se puede observar el ICOSUS para invierno, al igual que en verano, las concentraciones son bastante bajas y la calidad del agua muy buena. Por lo que se puede decir que según este índice de contaminación, estas aguas no representan riesgo para su ingesta.

CUADRO 23
CONCENTRACIONES Y CALIDAD DEL AGUA SEGÚN SÓLIDOS
SUSPENDIDOS, EN INVIERNO

Punto de monitoreo	Concentración	Calidad
SW7	0,04	Muy buena
SW8	0,07	Muy buena
SW21	0,03	Muy buena
SW23	0,07	Muy buena
SW24	0,10	Muy buena
SW25	0,02	Muy buena

SW7= Río San Francisco. **SW8**= Río Trincheras. **SW21**= Río Trincheras bajo el puente. **SW23**= Río San Francisco, al noroeste de Cristina. **SW24**= Río Blanco. **SW25**= Río al oeste de Santa Rita Piedra Parada.

Fuente: Investigación de campo, 2008 a 2014.

c. Índice de contaminación trófica (ICOTRO)

El índice de contaminación trófica se determinó mediante la concentración de Fosforo total en cada uno de los puntos de monitoreo. A continuación se pueden observar los resultados obtenidos en verano.

CUADRO 24
ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN TRÓFICA, EN VERANO

Punto de monitoreo	Concentración (mg/L)	Calidad
SW7	0,07	Eutrófico
SW8	0,05	Eutrófico
SW21	0,07	Eutrófico
SW23	0,08	Eutrófico
SW24	0,07	Eutrófico
SW25	0,07	Eutrófico

SW7= Río San Francisco. **SW8**= Río Trincheras. **SW21**= Río Trincheras bajo el puente. **SW23**= Río San Francisco, al noroeste de Cristina. **SW24**= Río Blanco. **SW25**= Río al oeste de Santa Rita Piedra Parada.

Fuente: Investigación de campo, 2008 a 2014.

El ICOTRO para verano presentó concentraciones entre 0,05 mg/L y 0,08 mg/L, lo cual indica una calidad eutrófica, con lo que se establece que esta agua no es potable.

CUADRO 25
ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN TRÓFICA, EN INVIERNO

Punto de monitoreo	Concentración	Calidad
SW7	0,06	Eutrófico
SW8	0,04	Eutrófico
SW21	0,08	Eutrófico
SW23	0,07	Eutrófico
SW24	0,08	Eutrófico
SW25	0,05	Eutrófico

SW7= Río San Francisco. **SW8**= Río Trincheras. **SW21**= Río Trincheras bajo el puente. **SW23**= Río San Francisco, al noroeste de Cristina. **SW24**= Río Blanco. **SW25**= Río al oeste de Santa Rita Piedra Parada.

Fuente: Investigación de campo, 2008 a 2014.

En el cuadro 25 se observa el ICOTRO para el invierno, muestra concentraciones que varían entre 0,04 mg/L y 0,08 mg/L, refleja con esto, al igual que en el verano, una calidad eutrófica. Por lo que se puede decir, independientemente de la estación, que estas aguas están sujetas a restricciones en su uso, principalmente para el consumo humano.

d. Índice de contaminación por mineralización (ICOMI)

Al aplicar la fórmula general del ICOMI, se determinó el índice para cada punto de monitoreo, en el cuadro 26 se muestran los valores utilizados para la tabulación y análisis de este tipo de contaminación en verano. De igual manera, se muestra el indicador final y su concentración.

CUADRO 26
ICOMI EN VERANO

Punto de monitoreo	I _C	I _D	I _A	ICOMI = $\frac{1}{3} (I_C + I_D + I_A)$	Concentración	Indicador
SW7	0,71440	0,653	0,2617	0,5430	Media	Media
SW8	0,40650	0,090	0,0709	0,1890	Muy baja	Muy buena
SW21	0,64830	0,518	0,3131	0,4930	Media	Media
SW23	0,69760	0,659	0,2522	0,5361	Media	Media
SW24	0,70860	0,586	0,2644	0,5196	Media	Media
SW25	0,71580	1	0,3350	0,6836	Alta	Mala

SW7= Río San Francisco. **SW8**= Río Trincheras. **SW21**= Río Trincheras bajo el puente. **SW23**= Río San Francisco, al noroeste de Cristina. **SW24**= Río Blanco. **SW25**= Río al oeste de Santa Rita Piedra Parada.

I_C= Índice de conductividad, I_D= Índice de dureza, I_A= Índice de alcalinidad.

Fuente: Investigación de campo, 2008 a 2014.

El punto de monitoreo SW8 presentó una concentración mineral muy baja, lo cual indica que esta agua es muy buena; según este índice de contaminación; el punto SW25, al contrario del anterior, presentó una concentración alta lo cual indica que es un agua mala. Las otras cuatro estaciones que no se mencionan presentaron una concentración mineral media, lo cual indica que es un agua media; por lo consiguiente, su consumo es dudoso sin purificación previa.

**CUADRO 27
ICOMI EN INVIERNO**

Punto de monitoreo	I _c	I _D	I _A	ICOMI = $\frac{1}{3} (I_c + I_D + I_A)$	Concentración	Indicador
SW7	0,5842	0,4133	0,2164	0,4046	Baja	Buena
SW8	0,3298	0,0514	0,0800	0,1537	Muy baja	Muy buena
SW21	0,6031	0,4753	0,2457	0,4414	Media	Media
SW23	0,7337	0,7196	0,2936	0,5823	Media	Media
SW24	0,6095	0,3906	0,2271	0,4091	Media	Media
SW25	0,8307	1	0,4043	0,7450	Alta	Mala

SW7= Río San Francisco. **SW8**= Río Trincheras. **SW21**= Río Trincheras bajo el puente. **SW23**= Río San Francisco, al noroeste de Cristina. **SW24**= Río Blanco. **SW25**= Río al oeste de Santa Rita Piedra Parada.

I_c= Índice de conductividad, I_D= Índice de dureza, I_A= Índice de alcalinidad.

Fuente: Investigación de campo, 2008 a 2014.

Del mismo modo en que se calculó el ICOMI en verano, en el cuadro 27 se muestran los valores utilizados para la tabulación y análisis de este tipo de contaminación mineral en invierno, donde los valores variaron entre 0,1537 y 0,745.

El punto de monitoreo SW8 presentó una concentración mineral muy baja, lo cual indica que es un agua es muy buena. En el punto SW7 se obtuvieron concentraciones bajas de mineral, lo que establece que es un agua buena. Para estas dos estaciones, según el ICOMI, no existe contaminación por minerales

Los puntos SW21, SW23 y SW24 presentaron una concentración mineral media, lo cual indica que es un agua media. El punto SW25 presentó una concentración mineral alta, lo que establece que estas aguas son malas.

El ICOMI establece que cuando las aguas presentan un indicador medio a malo, es porque las aguas tienen concentraciones altas de sólidos disueltos, cationes y aniones, que indican un agua mala.

El punto de monitoreo SW8 presentó una concentración mineral muy baja y SW25 una concentración mineral alta, esto independientemente de la estación en la cual se haya realizado el monitoreo. En invierno bajó la concentración mineral, a excepción de los puntos SW23 y SW25, ya que en estos aumentó.

3.1.5. Clasificación química de las aguas superficiales

Según la hidroquímica superficial, el agua se puede clasificar en base a la dureza, pH y por iones mayores dominantes.

a. Clasificación según dureza

La dureza se obtiene al evaluar la concentración de carbonato de calcio (CaCO_3) en las muestras de agua. En el cuadro 27 se muestra la clasificación del agua según la dureza en verano.

CUADRO 28
CLASIFICACIÓN DEL AGUA SEGÚN DUREZA, EN VERANO

Punto de monitoreo	ppm de CaCO_3	Denominación
SW7	105,64	Media
SW8	67,29	Suave
SW21	100,21	Media
SW23	105,85	Media
SW24	103,07	Media
SW25	118,64	Media

SW7= Río San Francisco. SW8= Río Trincheras. SW21= Río Trincheras bajo el puente. SW23= Río San Francisco, al noroeste de Cristina. SW24= Río Blanco. SW25= Río al oeste de Santa Rita Piedra Parada.

Fuente: Investigación de campo, 2008 a 2014.

Como se puede observar en el cuadro anterior, la mayoría de las aguas son medias; puesto que se encontraron entre 103,07 ppm y 118,64 ppm. Únicamente la estación SW8 se denomina como agua suave.

CUADRO 29
CLASIFICACIÓN DEL AGUA SEGÚN DUREZA, EN INVIERNO

Punto de monitoreo	ppm de CaCO ₃	Denominación
SW7	95,21	Media
SW8	59,29	Suave
SW21	98,29	Media
SW23	108,00	Media
SW24	94,00	Media
SW25	130,71	Media

SW7= Río San Francisco. **SW8**= Río Trincheras. **SW21**= Río Trincheras bajo el puente. **SW23**= Río San Francisco, al noroeste de Cristina. **SW24**= Río Blanco. **SW25**= Río al oeste de Santa Rita Piedra Parada.

Fuente: Investigación de campo, 2008 a 2014.

El cuadro 29 muestra la clasificación según la dureza en invierno, se observa nuevamente que la mayoría de aguas se denominan medias; variando entre 94 ppm y 130,71 ppm. Únicamente el punto SW8 se denomina como agua suave.

b. Clasificación según pH

En los cuadros 30 y 31, se muestra la clasificación según el pH de cada uno de los puntos de monitoreo.

CUADRO 30
CLASIFICACIÓN EDL AGUA SEGÚN pH, EN VERANO

Punto de monitoreo	Nivel de pH	Tipo
SW7	8,02	Débilmente básica
SW8	7,98	Débilmente básica
SW21	8,13	Débilmente básica
SW23	8,10	Débilmente básica
SW24	8,04	Débilmente básica
SW25	8,13	Débilmente básica

SW7= Río San Francisco. **SW8**= Río Trincheras. **SW21**= Río Trincheras bajo el puente. **SW23**= Río San Francisco, al noroeste de Cristina. **SW24**= Río Blanco. **SW25**= Río al oeste de Santa Rita Piedra Parada.

Fuente: Investigación de campo, 2008 a 2014.

CUADRO 31
CLASIFICACIÓN EDL AGUA SEGÚN pH, EN INVIERNO

Punto de monitoreo	Nivel de pH	Tipo
SW7	7,83	Débilmente básica
SW8	7,93	Débilmente básica
SW21	8,19	Débilmente básica
SW23	8,03	Débilmente básica
SW24	8,00	Débilmente básica
SW25	8,19	Débilmente básica

SW7= Río San Francisco. **SW8**= Río Trincheras. **SW21**= Río Trincheras bajo el puente. **SW23**= Río San Francisco, al noroeste de Cristina. **SW24**= Río Blanco. **SW25**= Río al oeste de Santa Rita Piedra Parada.

Fuente: Investigación de campo, 2008 a 2014.

En todos los puntos de monitoreo, tanto en invierno como en verano, el pH varió entre 7,83 y 8,19, indica con esto aguas débilmente básicas.

c. Clasificación según iones dominantes

En los cuadros 32 y 33 contienen los resultados de los iones dominantes de las aguas superficiales, los cuales se encuentran dados en meq/L. El monitoreo y análisis se realizó tanto para verano como para invierno.

CUADRO 32
IONES DOMINANTES EN meq/L, EN VERANO

Punto de monitoreo	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻	Na ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺	TIPO
SW7	1,1245	0,5208	0,0923	0,1618	0,3970	1,6327	MB
SW8	0,7052	0,5208	0,0755	0,1186	0,2545	0,9230	MB
SW21	1,2375	0,5208	0,0715	0,1092	0,4391	1,5599	MB
SW23	1,1038	0,5208	0,0836	0,1502	0,4071	1,6321	MB
SW24	1,1305	0,5208	0,1070	0,1901	0,8869	1,0622	BMC
SW25	1,2857	0,5208	0,0808	0,1980	0,6947	1,5567	MB

SW7= Río San Francisco. **SW8**= Río Trincheras. **SW21**= Río Trincheras bajo el puente. **SW23**= Río San Francisco, al noroeste de Cristina. **SW24**= Río Blanco. **SW25**= Río al oeste de Santa Rita Piedra Parada. **MB**= Magnésica-Bicarbonatada. **BMC**=Bicarbonatada magnésico-cálcica.

Fuente: Investigación de campo, 2008 a 2014.

CUADRO 33
IONES DOMINANTES EN meq/L, EN INVIERNO

Punto de monitoreo	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻	Na ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺	TIPO
SW7	1,0251	0,5208	0,0805	0,1475	0,3054	1,5869	MB
SW8	0,7253	0,5208	0,0704	0,1071	0,2073	0,9327	MB
SW21	1,0895	0,5208	0,0775	0,0988	0,3411	1,6131	MB
SW23	1,1947	0,5208	0,0817	0,1404	0,3961	1,7381	MB
SW24	1,0487	0,5208	0,0746	0,1792	0,7850	1,0143	BMC
SW25	1,4380	0,5208	0,0812	0,1944	0,6875	1,9226	MB

SW7= Río San Francisco. **SW8**= Río Trincheras. **SW21**= Río Trincheras bajo el puente. **SW23**= Río San Francisco, al noroeste de Cristina. **SW24**= Río Blanco. **SW25**= Río al oeste de Santa Rita Piedra Parada. **MB**= Magnésica-Bicarbonatada. **BMC**=Bicarbonatada magnésico-cálcica.
Fuente: Investigación de campo, 2008 a 2014.

Además, se aprecia rápidamente los valores de las relaciones iónicas con respecto a la unidad y la variación de las relaciones entre cationes y entre aniones de una muestra.

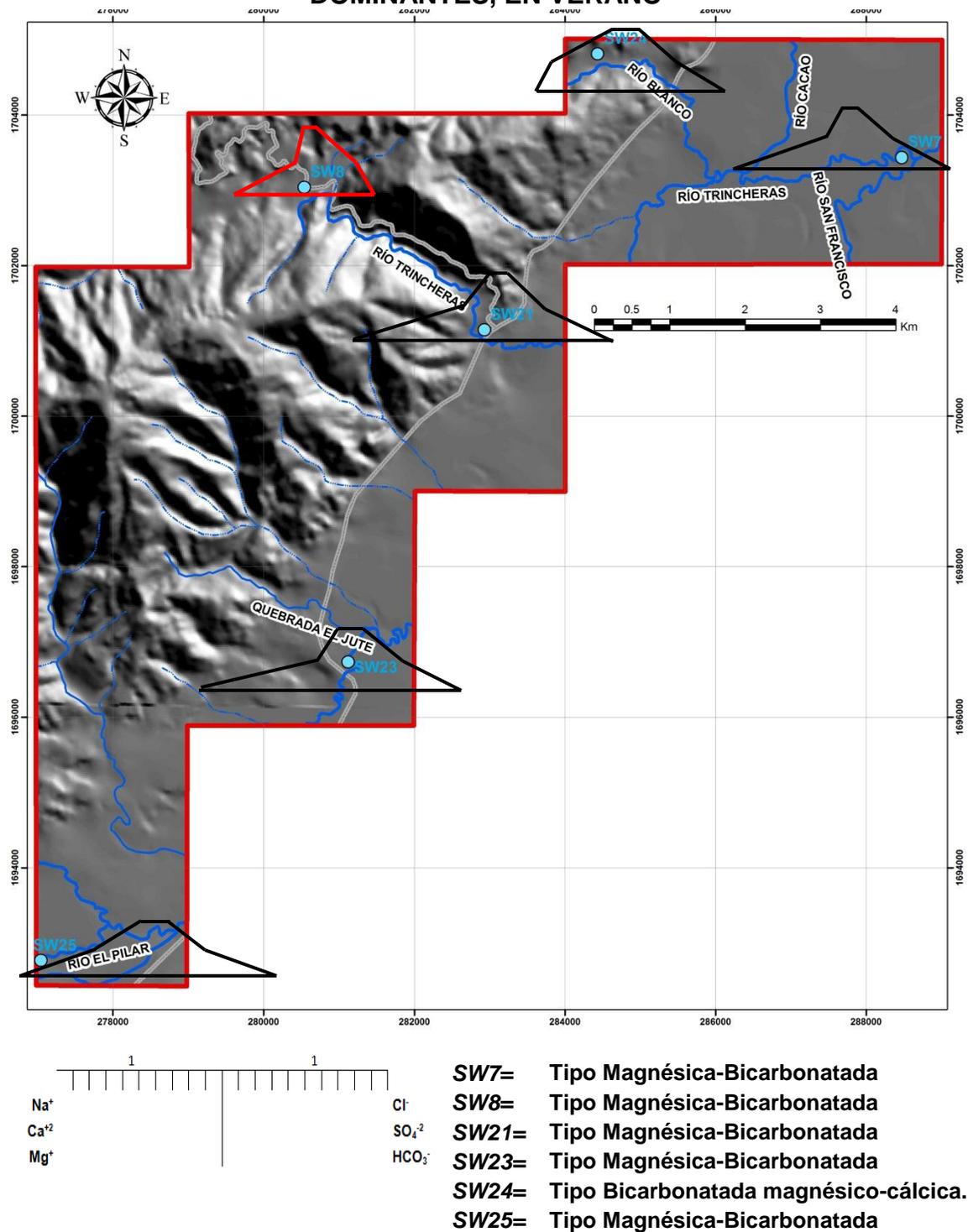
La forma de cada polígono orienta sobre el tipo de agua, y su tamaño da una idea relativa del contenido iónico total del agua.

Pueden representarse en un mapa, con lo que se visualiza rápidamente la variación espacial.

Tanto en verano como en invierno, se evidencia que la mayoría de puntos de monitoreo se clasifica como agua magnésica-bicarbonatada, con excepción del punto de monitoreo SW24; el cual presenta un agua bicarbonatada magnésico-cálcica (cuadro 32 y 33).

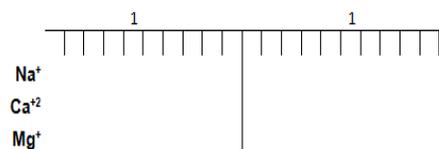
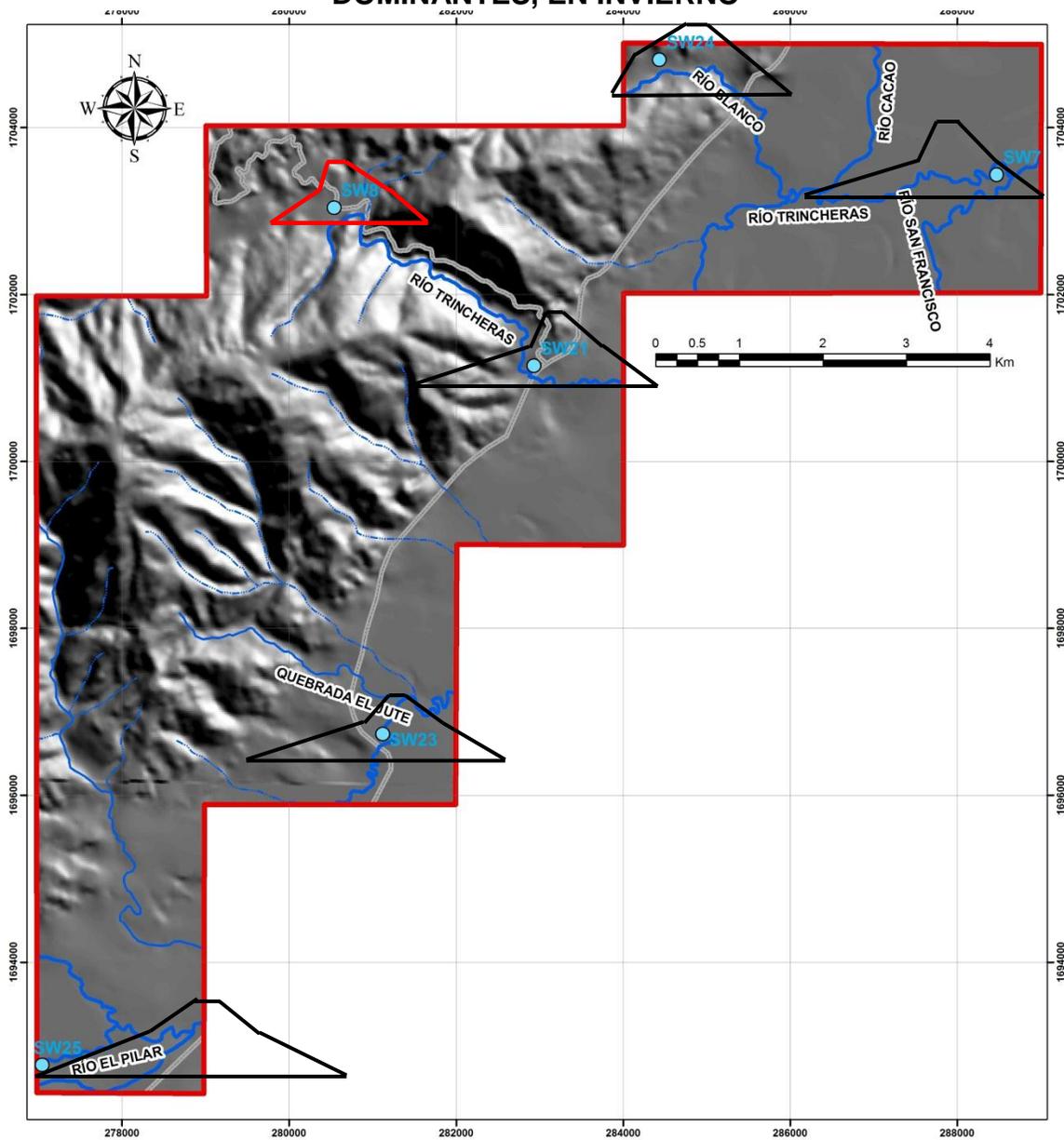
En las figuras 8 y 9 se muestran los mapas hidroquímicos según la clasificación de los iones mayores dominantes; los cuales contienen los diagramas de *Stiff* modificado en cada punto monitoreado.

FIGURA 8
MAPA SEGÚN LA CLASIFICACIÓN DEL AGUA POR IONES MAYORES DOMINANTES, EN VERANO



Fuente: Investigación de campo, 2008 a 2014.

FIGURA 9
MAPA SEGÚN LA CLASIFICACIÓN DEL AGUA POR IONES MAYORES
DOMINANTES, EN INVIERNO



- SW7=** Tipo Magnésica-Bicarbonatada
SW8= Tipo Magnésica-Bicarbonatada
SW21= Tipo Magnésica-Bicarbonatada
SW23= Tipo Magnésica-Bicarbonatada
SW24= Tipo Bicarbonatada magnésico-cálcica.
SW25= Tipo Magnésica-Bicarbonatada

Fuente: Investigación de campo, 2008 a 2014.

3.2. Geoquímica de suelos y sedimentos

El análisis geoquímico de suelos y sedimentos comprende varios aspectos: ubicación de las muestras, determinación de elementos mayores y traza, definir la calidad de suelos y sedimentos, análisis del índice de geoacumulación y factor de enriquecimiento.

3.2.1. Ubicación de las muestras

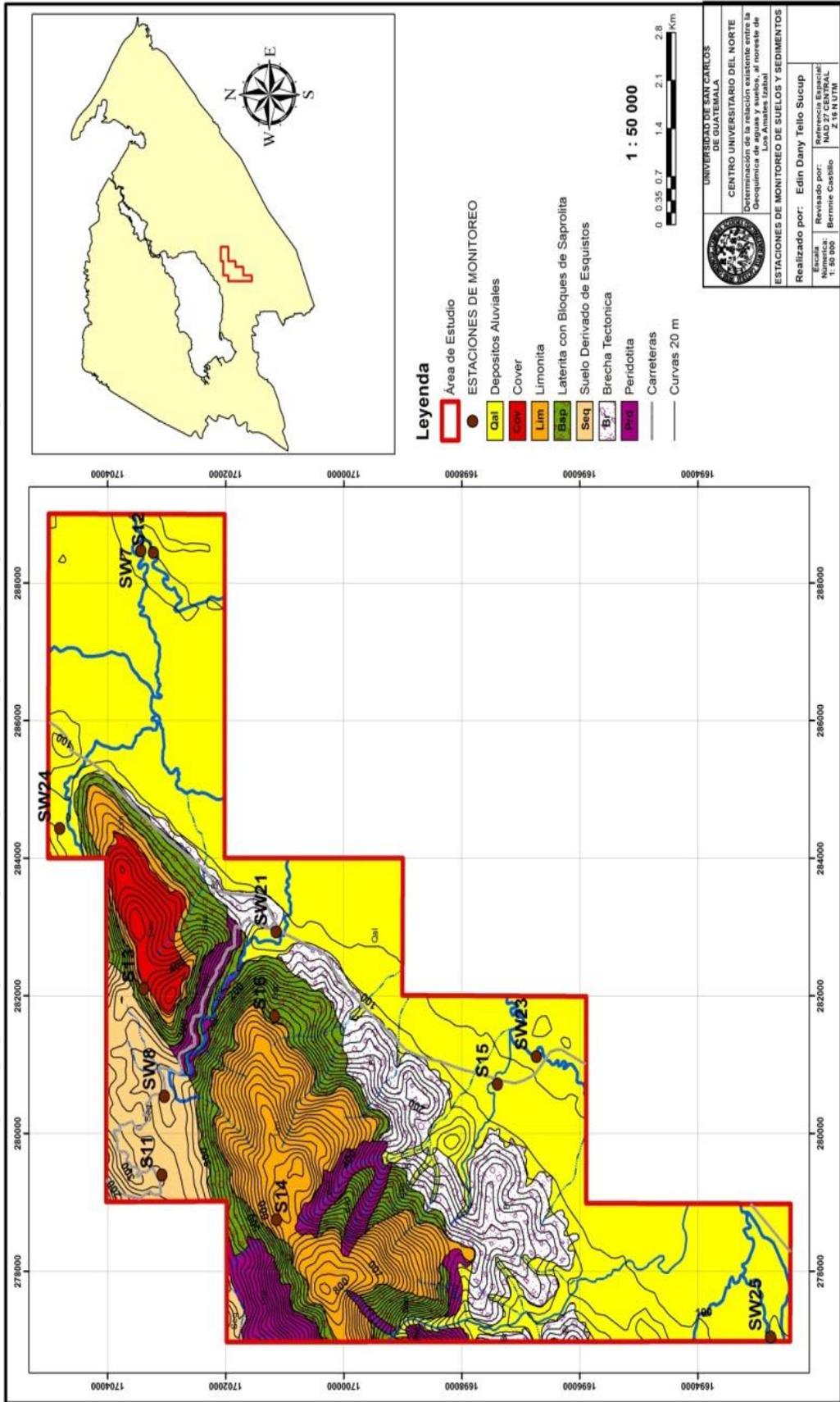
Los puntos de monitoreo se encuentran distribuidos de tal manera que se consideraron los distintos tipos de suelos, además se tomaron en cuenta algunas muestras de sedimentos; las cuales fueron obtenidas en los mismos puntos donde se extrajeron las muestras de agua.

CUADRO 34
ESTACIONES DE MONITOREO DE SUELOS Y SEDIMENTOS

Código de muestra	Lugar	Coordenada UTM (NAD 27)		Elevación (msnm)
		Este	Norte	
SW7	Río San Francisco	288472	1703438	60
SW8	Río Trincheras	280538	1703040	220
SW21	Río Trincheras bajo el puente	282931	1701147	80
SW23	Río San Francisco, al noroeste de Cristina	281121	1696734	80
SW24	Río Blanco	284435	1704813	90
SW25	Río al oeste de Santa Rita Piedra Parada	277043	1692766	95
S11	Campo 3	279398	1703081	285
S12	Los Andes	288445	1703224	60
S13	Al suroeste de Campo 3	282103	1703391	650
S14	Al este de Campo 2	278750	1701140	375
S15	El Jute	280720	1697396	90
S16	Área de Mina	281703	1701170	360

Fuente: Investigación de campo, 2014.

MAPA 8 ESTACIONES DE MONITEORIO DE SUELOS Y SEDIMENTOS



FUENTE: Investigación de campo, 2014.

En el cuadro 34 se pueden observar los sitios de muestro, tanto de suelos como de sedimentos, con su respectiva coordenada, así mismo se visualiza el nombre del río o lugar de donde se extrajo la muestra, el código utilizado para nombrarlo (calidad del agua superficial; *Surface Water* y S de suelos) y la elevación a la cual fue tomada cada una de las muestras.

Los puntos de muestreo se observan en el mapa 8, en el cual se visualiza el contexto local; principalmente la litología. También se representa la distancia a la cual se encuentra cada punto de monitoreo.

3.2.2. Elementos mayores

Para realizar el estudio del área, se tomaron en cuenta los siguientes elementos mayores: Ca, Fe, Mg, K y Na.

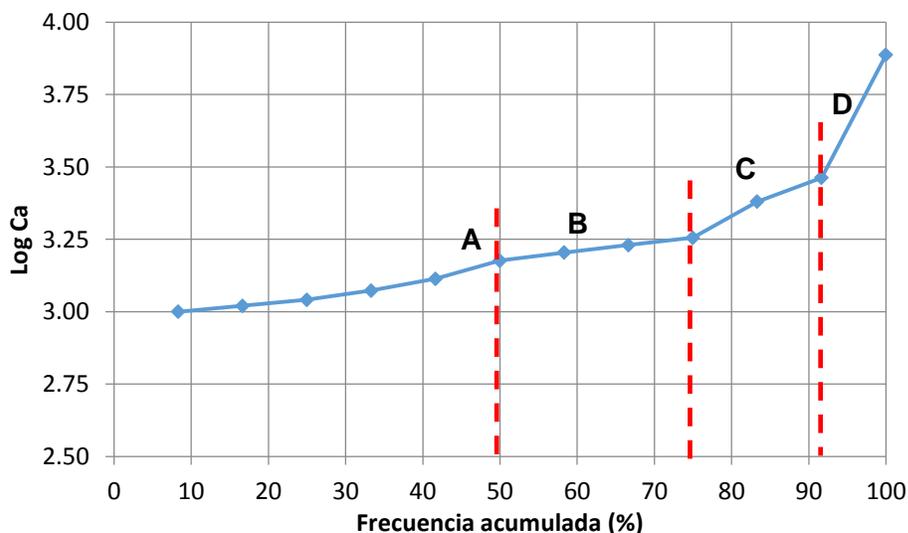
a. Calcio (Ca)

Elemento químico de número atómico 20 y de peso atómico 40,08; es el quinto elemento más abundante en masa y el tercer metal más abundante en la corteza terrestre. Su distribución media dentro de la corteza terrestre es de 33 000 ppm; mientras que el contenido medio de las doce muestras analizadas en el área de estudio es de 2 103,17 ppm, con un rango entre 1 000 ppm y 7 706 ppm.

Como se puede observar en la gráfica anterior, la curva de frecuencias relativas acumuladas (CFRA) refleja el carácter multimodal de la distribución de los datos log-transformados, diferenciándose cuatro subpoblaciones de datos, esto según los cambios en la linealidad o puntos de inflexión de la gráfica, denominadas subpoblaciones A, B, C y D. Se nota que la

mayoría de datos se encuentran localizados en la subpoblación A.

GRÁFICA 34
CURVA DE FRECUENCIAS RELATIVAS ACUMULADAS DEL LOG CA Y
LÍMITES DE CADA SUBPOBLACIÓN EN FUNCIÓN DE LOS PUNTOS DE
INFLEXIÓN DE LA LINEALIDAD



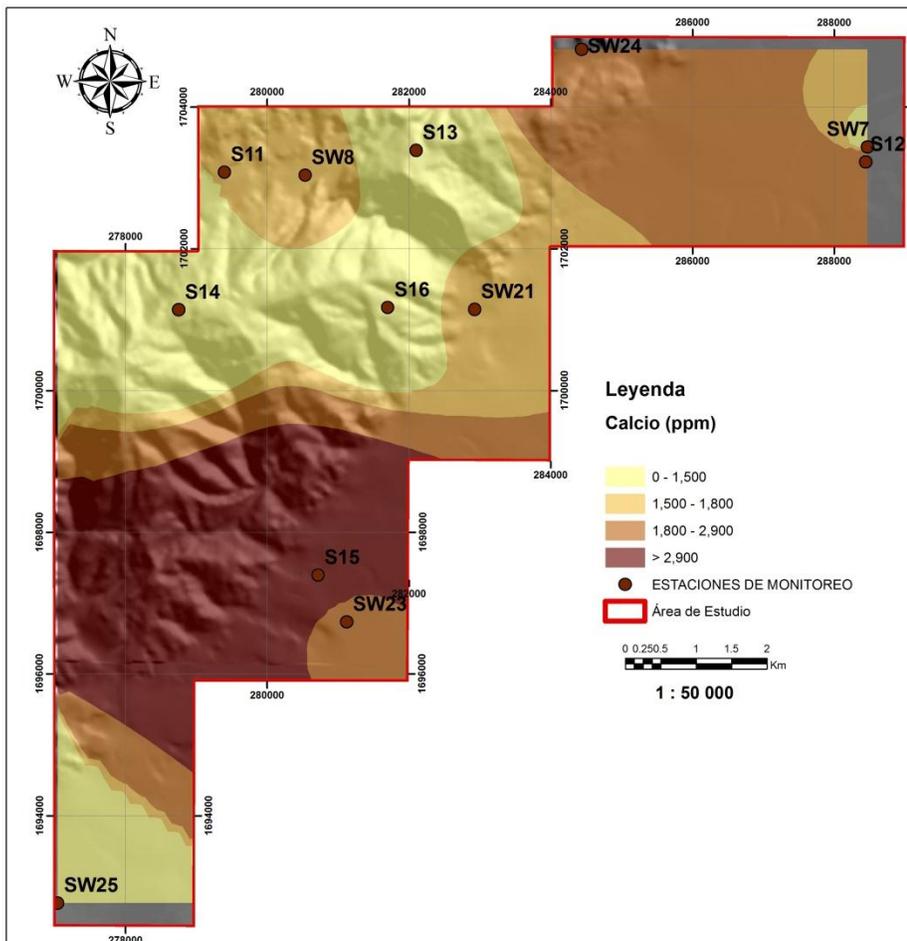
Fuente: Investigación de campo, 2013- 2014.

Las subpoblaciones A ($Ca < 1\ 500$ ppm) y D ($Ca > 2\ 900$ ppm), situadas en los extremos de la CFRA, representa el conjunto de datos que exceden los límites inferior y superior de la población de fondo. De manera que, los valores de fondo (*Background*, B) de Ca de los suelos del área de estudio estarían comprendidos entre 1 500 ppm y 2 900 ppm, el valor umbral (*Threshold*, T) es el límite superior de B y la anomalía está comprendida en la subpoblación D.

Las menores concentraciones de Ca se localizaron en su mayoría en los suelos lateríticos, que debido a su composición no aportan altos contenidos del mismo (mapa 9). Los valores más altos de Ca se localizaron en las partes bajas

o depósitos aluviales; con lo que se puede decir que esto se debe principalmente a la actividad agrícola del área.

MAPA 9 DISTRIBUCIÓN DE LAS DIFERENTES SUBPOBLACIONES DE CALCIO EN EL ÁREA DE ESTUDIO



Fuente: Investigación de campo, 2013 - 2014.

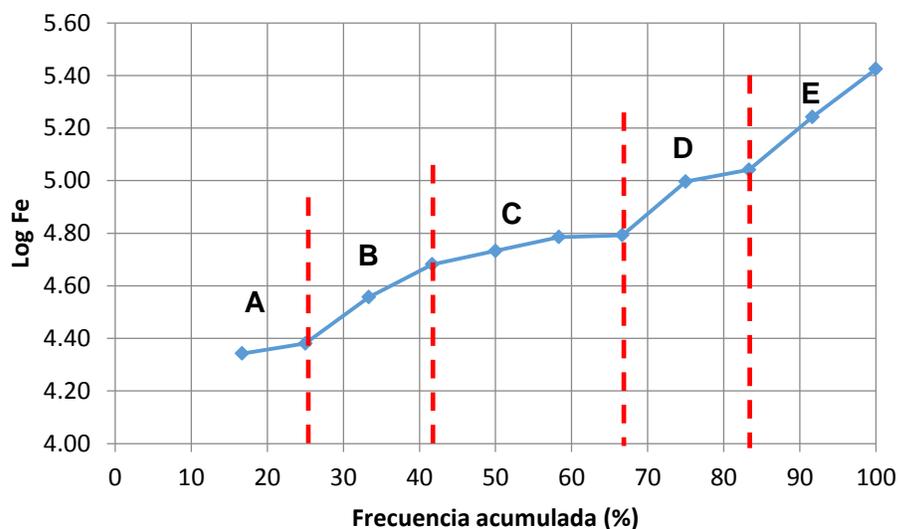
El contenido de Ca de acuerdo con los datos obtenidos, información de mapa y gráfica estudiada, no representa contaminación alguna; por lo que se puede decir que las concentraciones son normales en los diferentes puntos de muestreo.

b. Hierro (Fe)

Es un elemento metálico de transición, su número atómico 26 y de peso atómico 55,84. Su distribución media dentro de la corteza terrestre es de 50 000 ppm; en suelos libres de contaminación es de 26 000 ppm; mientras que el contenido medio de las doce muestras analizadas fue de 81 539,83 ppm, con un rango entre 22 000 ppm y 265 640 ppm.

La CFRA refleja el carácter multimodal de la distribución de los datos log-transformados, diferenciándose cinco subpoblaciones de datos, esto según los cambios en la linealidad o puntos de inflexión de la gráfica, denominadas subpoblaciones A, B, C, D y E (gráfica 35). Como se puede observar la mayoría de datos se encuentran localizados en la subpoblación C.

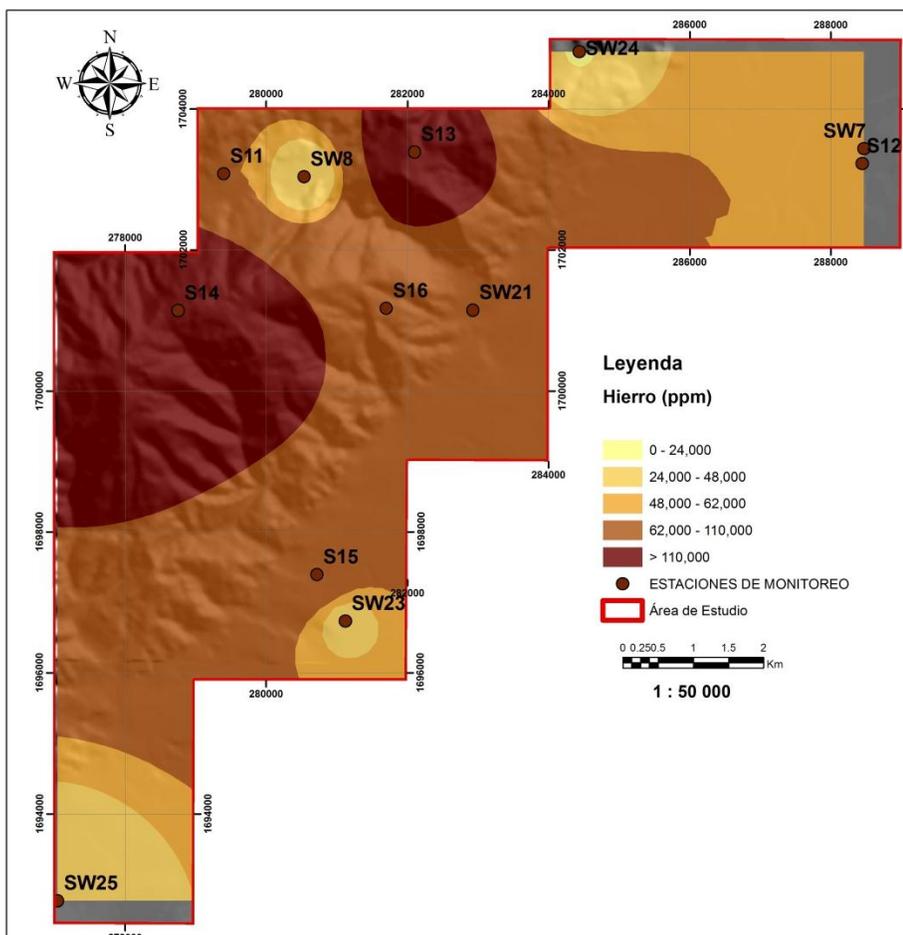
GRÁFICA 35
CURVA DE FRECUENCIAS RELATIVAS ACUMULADAS DEL LOG Fe Y
LÍMITES DE CADA SUBPOBLACIÓN EN FUNCIÓN DE LOS PUNTOS DE
INFLEXIÓN DE LA LINEALIDAD



Fuente: Investigación de campo, 2013- 2014.

Las subpoblaciones A ($Fe < 24\,000$ ppm) y E ($Fe > 110\,000$ ppm), situadas en los extremos de la CFRA, representa el conjunto de datos que exceden los límites inferior y superior de la población de fondo. De manera que, los valores de fondo (*Background*, B) de Fe en los suelos del área de estudio estarían comprendidos entre $24\,000$ ppm y $110\,000$ ppm, el valor umbral (*Threshold*, T) es el límite superior de B y la anomalía está comprendida en la subpoblación E.

MAPA 10 DISTRIBUCIÓN DE LAS DIFERENTES SUBPOBLACIONES DE HIERRO EN EL ÁREA DE ESTUDIO



Fuente: Investigación de campo, 2013- 2014.

Las concentraciones de Fe obtenidas en cada una de las muestras analizadas, dependen mucho de la litología de donde

se extrajeron, debido a que los valores más altos se encuentran sobre la peridotita y suelos lateríticos; siendo su principal característica el color rojo intenso, lo que significa que son suelos muy ricos en óxidos derivados de las peridotitas.

Los valores más bajos se presentaron principalmente en los depósitos aluviales que se encuentran alejados de los suelos lateríticos (mapa 10). El punto SW8 también presentó un valor bajo de Fe, esto debido a que la muestra fue tomada sobre los suelos derivados de esquisto.

De acuerdo con los datos obtenidos, información de mapa y gráfica estudiada, Fe está por debajo de su distribución media dentro de la corteza terrestre para las subpoblaciones A y B (gráfica 35). Lo que significa que aproximadamente el 70 % del área se encuentra afectada por un alto contenido de Hierro.

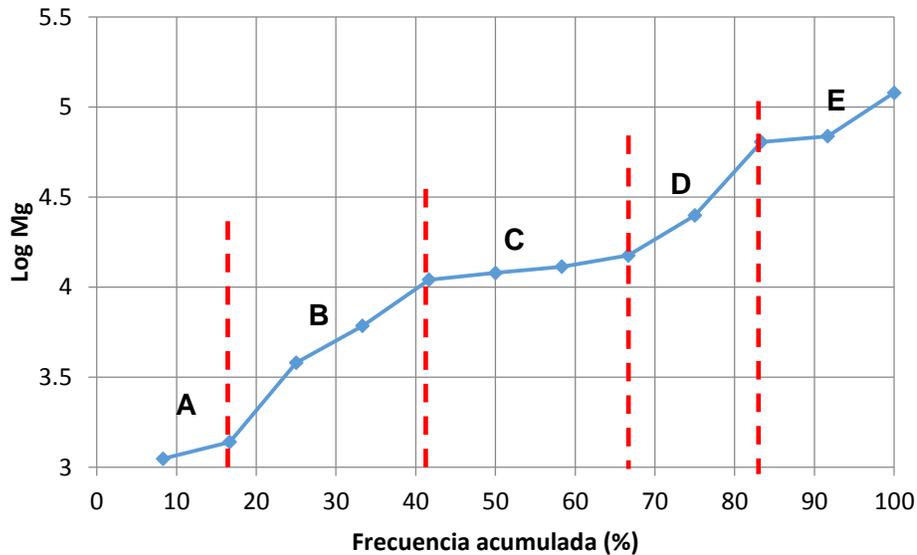
c. Magnesio (Mg)

Pertenece al grupo de los metales alcalino-térreos, su número atómico es 12 y el peso atómico 24,31. Su distribución media dentro de la corteza terrestre es de 17 000 ppm; mientras que en los suelos libres de contaminación es de 9 000 ppm; el contenido medio de las doce muestras analizadas es de 28 400 ppm, con un rango entre 1 115 ppm y 120 000 ppm.

El carácter multimodal de la distribución de los datos log-transformados se refleja en la CFRA, diferenciándose con esto cinco subpoblaciones de datos, esto según los cambios en la linealidad o puntos de inflexión de la gráfica 36, denominadas subpoblaciones A, B, C, D y E. Como se puede observar la

mayoría de datos se encuentran localizados en la subpoblación B y C.

GRÁFICA 36
CURVA DE FRECUENCIAS RELATIVAS ACUMULADAS DEL LOG Mg Y
LÍMITES DE CADA SUBPOBLACIÓN EN FUNCIÓN DE LOS PUNTOS DE
INFLEXIÓN DE LA LINEALIDAD



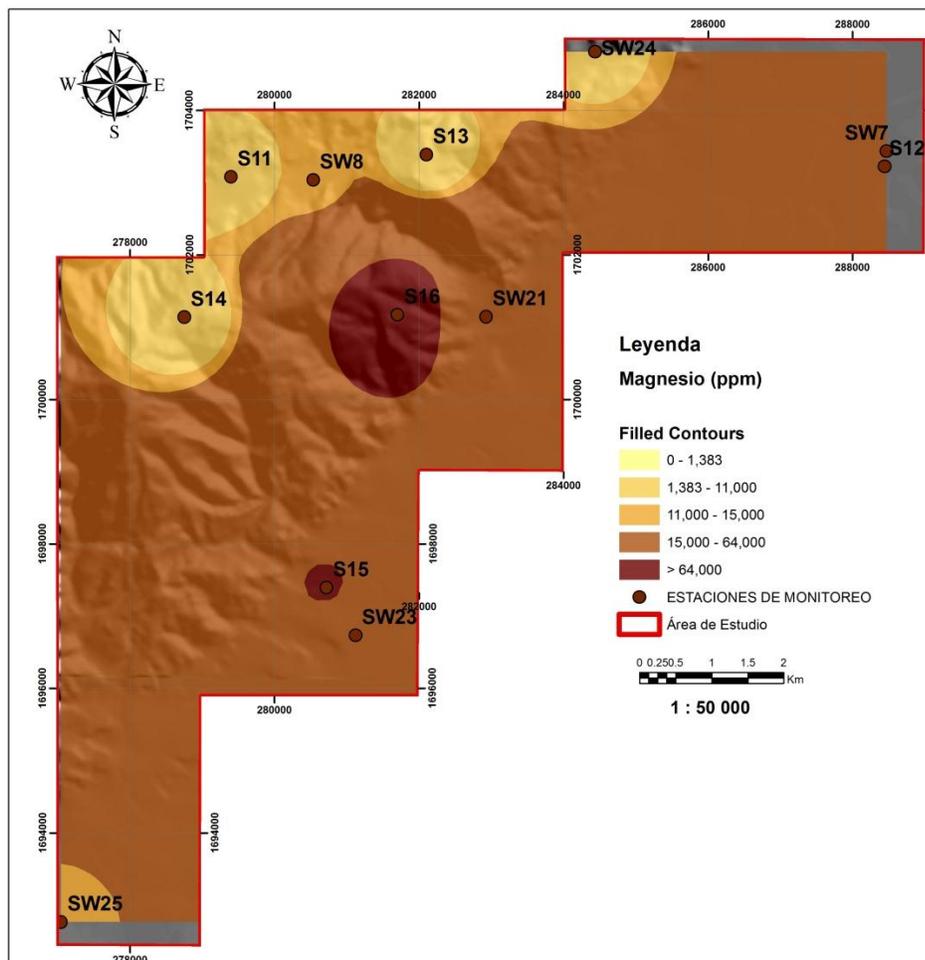
Fuente: Investigación de campo, 2013- 2014.

Las subpoblaciones A ($Mg < 1\,383$ ppm) y E ($Mg > 64\,000$ ppm), situadas en los extremos de la CFRA, representa el conjunto de datos que exceden los límites inferior y superior de la población de fondo. De manera que, los valores de fondo (*Background*, B) de Mg en los suelos del área de estudio estarían comprendidos entre 1 383 ppm y 64 000 ppm, el valor umbral (*Threshold*, T) es el límite superior de B y la anomalía está comprendida en la subpoblación E.

Las concentraciones más bajas de Mg se dieron en la parte norte del área, esto debido a que las muestras fueron obtenidas del suelo de esquisto y de la subunidad de cobertura

del perfil laterítico (subpoblación A y B); esto debido a que esta subunidad esta enriquecida en Fe.

MAPA 11 DISTRIBUCIÓN DE LAS DIFERENTES SUBPOBLACIONES DE MAGNESIO EN EL ÁREA DE ESTUDIO



Fuente: Investigación de campo, 2013- 2014.

Los valores más altos de Mg se dieron en los depósitos aluviales; a excepción del punto SW25, y en el depósito laterítico de saprolita (mapa 11). Una de las causas principales de la alta concentración Mg, es que la saprolita es una alteración química de la peridotita serpentizada, al tener como minerales primarios olivinos y piroxenos, los cuales a su vez tienen un alto contenido de Magnesio.

Según los datos obtenidos, información de mapa y gráfica analizada, el Mg está por debajo de su distribución media dentro de la corteza terrestre para las subpoblaciones A, B y C (gráfica 36); pero únicamente A y B se encuentran dentro del rango de los suelos libres de contaminación. Lo que significa que aproximadamente el 75 % del área se encuentra afectada por un alto contenido de Mg y por ende puede existir riesgo de contaminación.

d. Potasio (K)

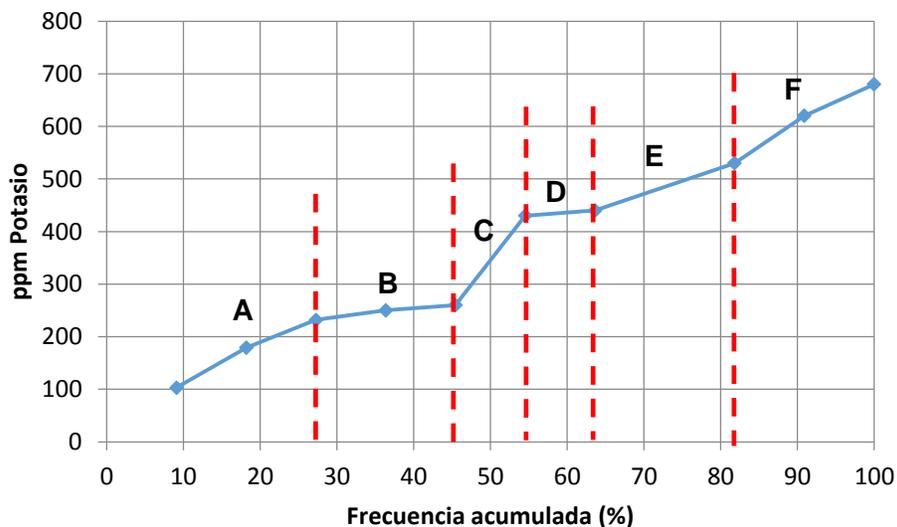
Es un elemento metálico-alkalino, su número atómico es 19 y el peso atómico es 39,10. Su distribución media dentro de la corteza terrestre es de 25 000 ppm; mientras que en los suelos libres de contaminación es de 15 000 ppm; el contenido medio de las doce muestras analizadas es de 387 ppm, con un rango entre 103 ppm y 680 ppm.

En gráfica 37 se puede observar la distribución de los datos en la CFRA refleja el carácter multimodal del K, diferenciándose con esto seis subpoblaciones de datos, esto según los cambios en la linealidad o puntos de inflexión, denominadas subpoblaciones A, B, C, D, E y F. Como se puede notar la mayoría de datos se encuentran localizados en la subpoblación A.

Las subpoblaciones A ($K < 232$ ppm) y F ($K > 530$ ppm), situadas en los extremos de la CFRA, representan el conjunto de datos que exceden los límites inferior y superior de la población de fondo. De manera que, los valores de fondo (*Background*, B) de K en los suelos del área de estudio estarían comprendidos entre 232 ppm y 530 ppm, el valor umbral

(*Threshold, T*) es el límite superior de B y la anomalía está comprendida en la subpoblación F.

GRÁFICA 37
CURVA DE FRECUENCIAS RELATIVAS ACUMULADAS DEL K Y
LÍMITES DE CADA SUBPOBLACIÓN EN FUNCIÓN DE LOS PUNTOS DE
INFLEXIÓN DE LA LINEALIDAD



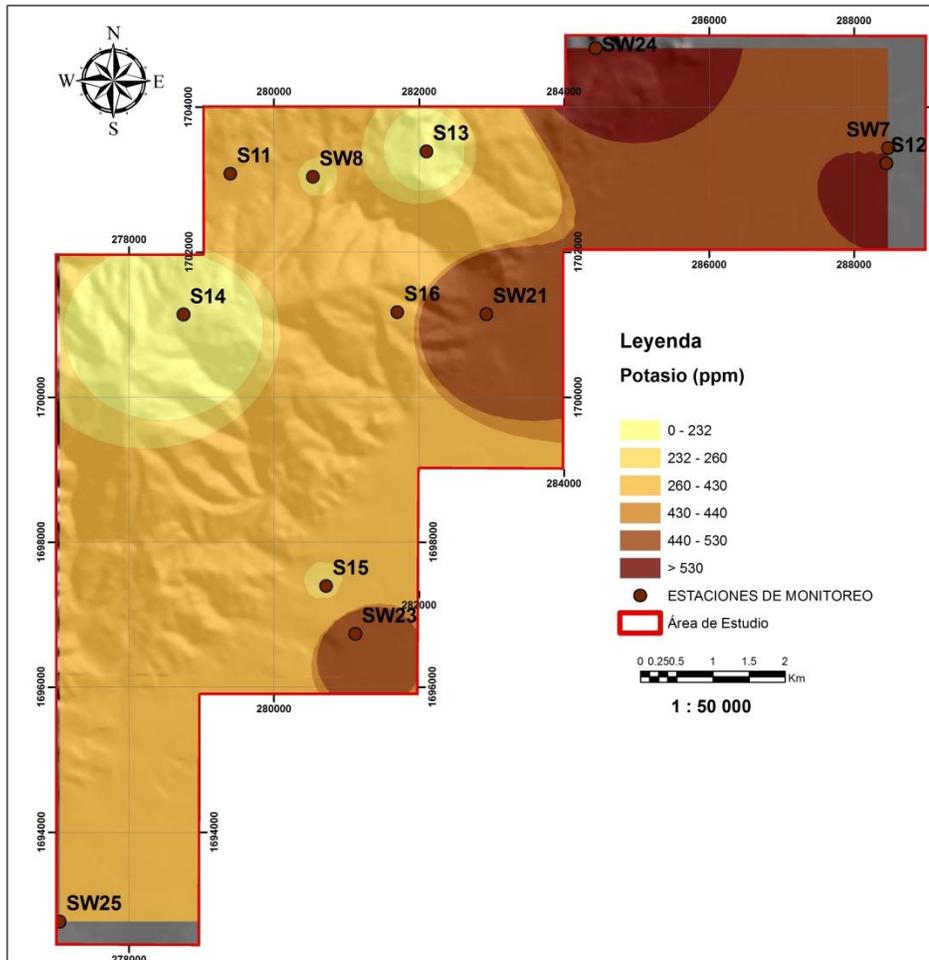
Fuente: Investigación de campo, 2013- 2014.

Los valores más altos de K se dieron en el área que comprende los depósitos aluviales, los cuales pueden estar afectados por el uso de fertilizantes; a excepción de los puntos SW25 y S15 (mapa 12), que se encuentran en un área ganadera. Estos valores altos también pueden estar influenciados por la litología presente en la parte noreste del área (esto fuera del área de estudio); ya que se puede observar caliza marmolizada y mármol pertenecientes al grupo Santa Rosa.

Los valores más bajos se presentan donde aflora el depósito laterítico y las peridotitas serpentinizadas. Como se puede observar en el mapa 12, la diferencia en el rango de los

valores está bien definida según la topografía del área estudiada.

MAPA 12 DISTRIBUCIÓN DE LAS DIFERENTES SUBPOBLACIONES DE POTASIO EN EL ÁREA DE ESTUDIO



Fuente: Investigación de campo, 2013- 2014.

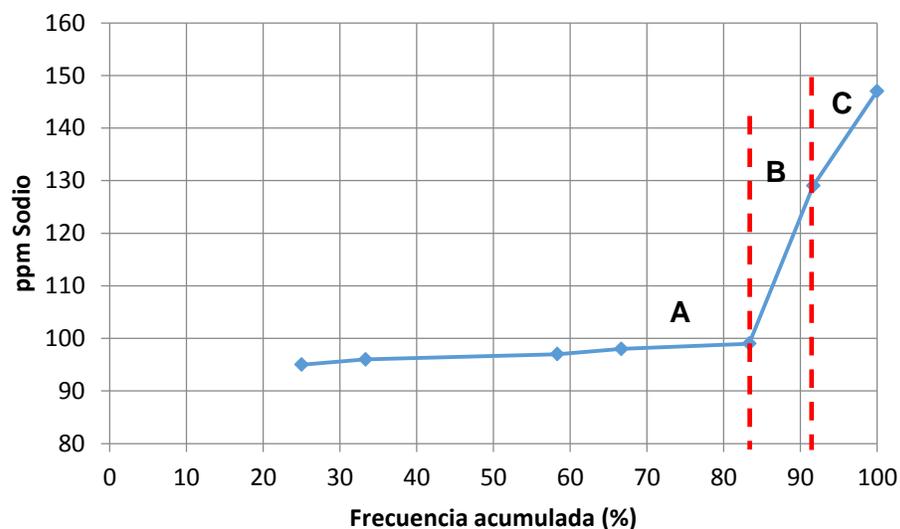
Según los datos obtenidos, información de mapa y gráfica analizada, el K está muy por debajo de su distribución media dentro de la corteza terrestre, según estos el área se encuentra dentro del rango de los suelos libres de contaminación.

e. Sodio (Na)

Es un elemento metálico-alkalino, su número atómico es 11 y el peso atómico es 22,98. Su distribución media dentro de la corteza terrestre es de 25 000 ppm; mientras que en los suelos libres de contaminación es de 12 000 ppm; el contenido medio de las doce muestras analizadas fue de 103,67 ppm, con un rango entre 95 ppm y 147 ppm.

La CFRA refleja el carácter multimodal de la distribución de los datos en el Na, diferenciándose con esto tres subpoblaciones de datos, esto según los cambios en la linealidad o puntos de inflexión de la gráfica, denominadas subpoblaciones A, B y C (gráfica 38). Como se puede observar la mayoría de datos se encuentran localizados en la subpoblación A.

GRÁFICA 38
CURVA DE FRECUENCIAS RELATIVAS ACUMULADAS DEL Na Y
LÍMITES DE CADA SUBPOBLACIÓN EN FUNCIÓN DE LOS PUNTOS DE
INFLEXIÓN DE LA LINEALIDAD



Fuente: Investigación de campo, 2013- 2014.

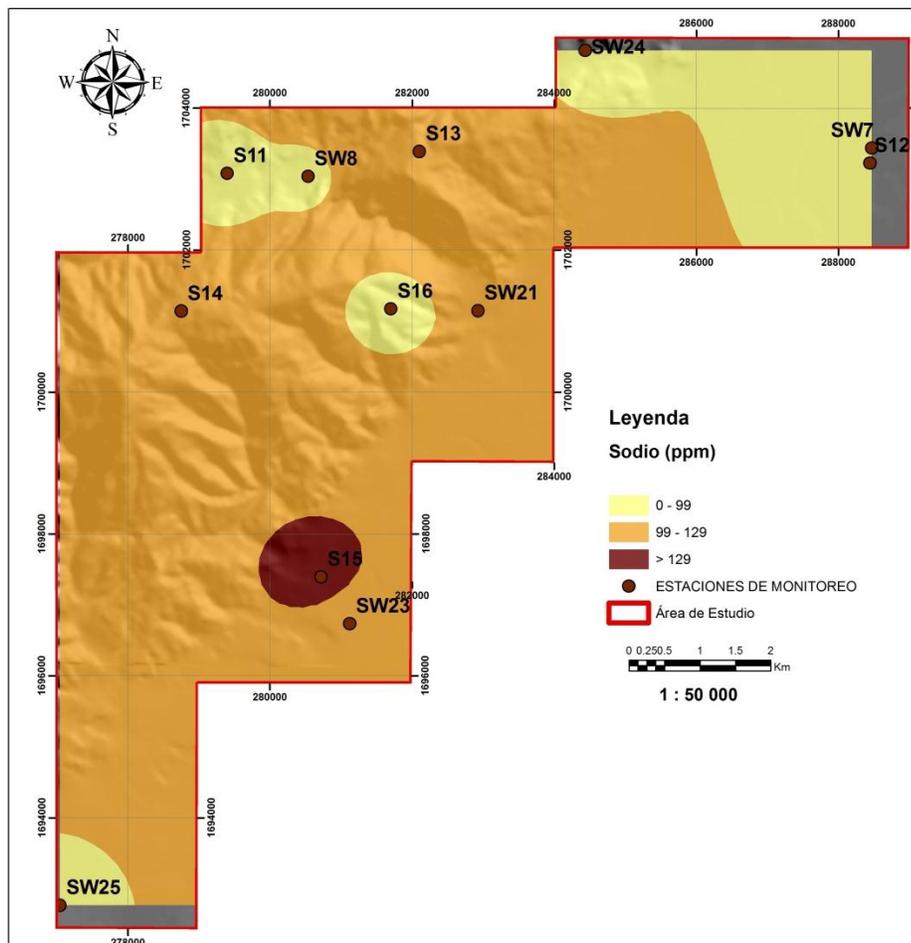
Las subpoblaciones A ($Na < 99$ ppm) y C ($Na > 129$ ppm), situadas en los extremos de la CFRA, representan el conjunto de datos que exceden los límites inferior y superior de la población de fondo. De manera que, los valores de fondo (*Background*, B) del Na en los suelos del área de estudio estarían comprendidos entre 99 ppm y 129 ppm, el valor umbral (*Threshold*, T) es el límite superior de B y la anomalía está comprendida en la subpoblación C.

Los valores más bajos se dan al noreste del área, en los depósitos aluviales, así como también en los suelos derivados de esquistos (mapa 13).

Aproximadamente el 60 % del área presenta valores medios, los cuales están comprendidos en la subpoblación B, lo cual puede estar dado por la meteorización de las peridotitas serpentinizadas y los suelos lateríticos. El valor más alto se dio en el punto S15; este se localiza en el depósito aluvial, el cual puede estar afectado por la acumulación de los suelos y rocas meteorizadas en la parte alta.

Según los datos obtenidos, información de mapa y gráfica analizada, el Na está muy por debajo de su distribución media dentro de la corteza terrestre, además el área se encuentra dentro del rango de los suelos libres de contaminación, por lo que se puede decir que según este elemento no existe riesgo por contaminación.

MAPA 13 DISTRIBUCIÓN DE LAS DIFERENTES SUBPOBLACIONES DE SODIO EN EL ÁREA DE ESTUDIO



Fuente: Investigación de campo, 2013- 2014.

3.2.3. Elementos traza

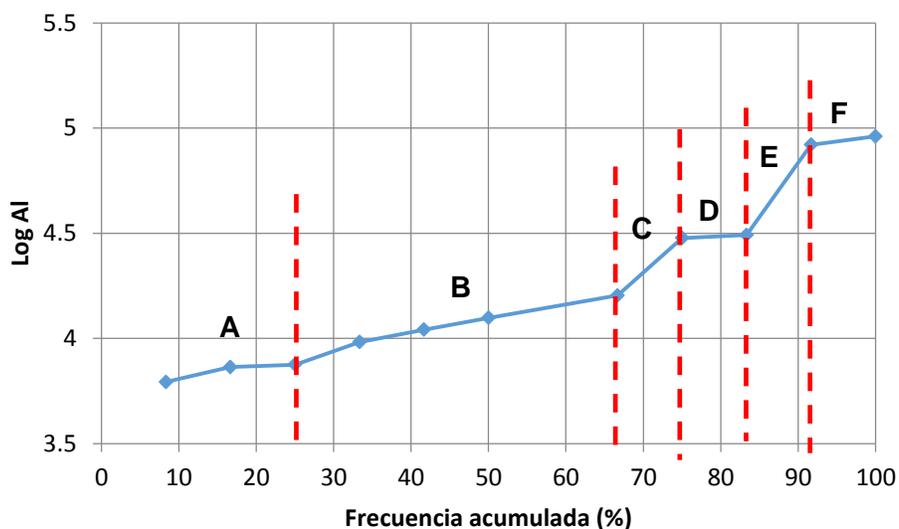
Los elementos traza están presentes en la corteza terrestre de forma natural, por lo que su distribución en el suelos está condicionada por la concentración natural del material original y por aportes antropogénicos actuales o pasados. Estos aportes se suman al contenido basal de los suelos, pueden así cambiar su estado de equilibrio. Los elementos traza son aquellos que son esenciales para diversos sistemas biológicos, que se encuentran en pequeñas cantidades y que pasan a ser tóxicos a partir de un determinado umbral de concentración.

a. Aluminio (Al)

Es un elemento metálico, su número atómico es 13 y el peso atómico es 26,98. Su distribución media dentro de la corteza terrestre es de 81 300 ppm; mientras que en los suelos libres de contaminación es de 1 a 2 ppm; el contenido medio de las doce muestras analizadas fue de 26 802,5 ppm, con un rango entre 6 200 ppm y 91 234 ppm.

La distribución de los datos log-transformados en la CFRA refleja el carácter multimodal del Al, diferenciándose con esto seis subpoblaciones de datos, esto según los cambios en la linealidad o puntos de inflexión de la gráfica 39, denominadas subpoblaciones A, B, C, D, E y F. Como se puede observar, la mayoría de datos se encuentran localizados en las subpoblaciones A y B.

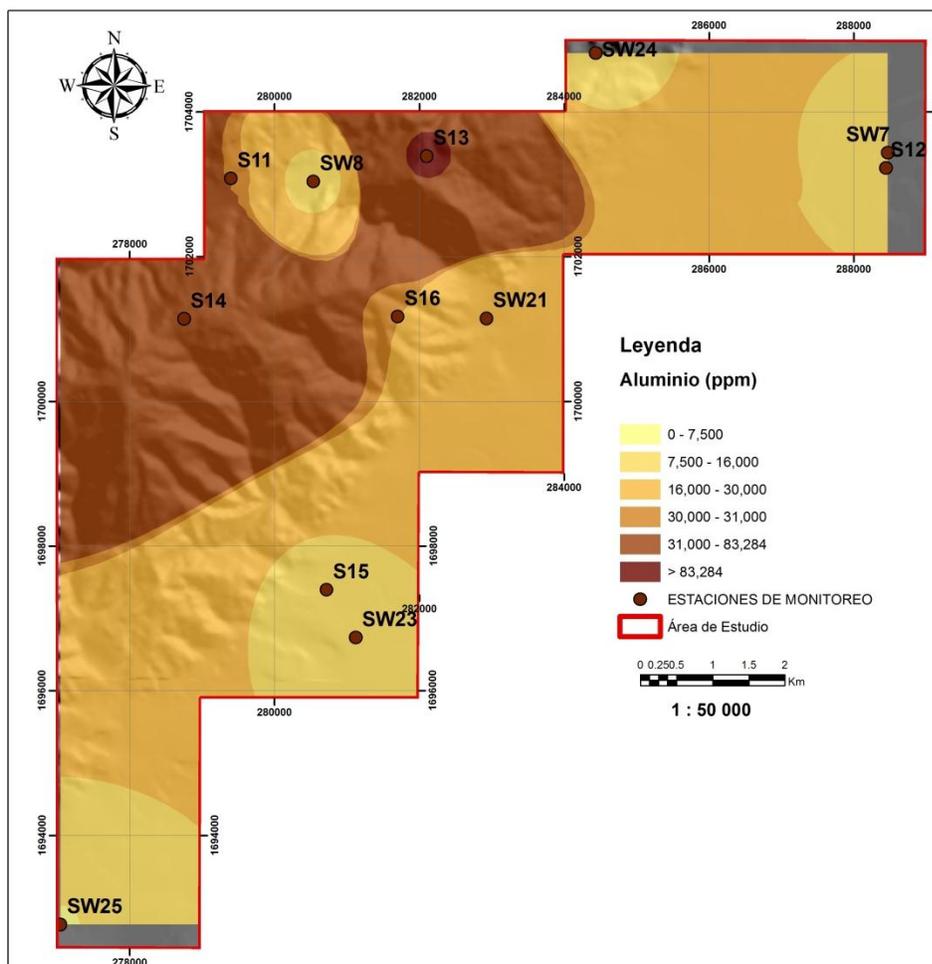
GRÁFICA 39
CURVA DE FRECUENCIAS RELATIVAS ACUMULADAS DEL Al Y
LÍMITES DE CADA SUBPOBLACIÓN EN FUNCIÓN DE LOS PUNTOS DE
INFLEXIÓN DE LA LINEALIDAD



Fuente: Investigación de campo, 2013- 2014.

Las subpoblaciones A ($Al < 7\,500$ ppm) y F ($Al > 83\,284$ ppm), situadas en los extremos de la CFRA, representan el conjunto de datos que exceden los límites inferior y superior de la población de fondo. De manera que, los valores de fondo (*Background*, B) de Al en los suelos del área de estudio estarían comprendidos entre $7\,500$ ppm y $83\,284$ ppm, el valor umbral (*Threshold*, T) es el límite superior de B y la anomalía está comprendida en la subpoblación F.

MAPA 14
DISTRIBUCIÓN DE LAS DIFERENTES SUBPOBLACIONES DE ALUMINIO
EN EL ÁREA DE ESTUDIO



Fuente: Investigación de campo, 2013- 2014.

Los valores más altos de Al se dieron en el área que comprende los depósitos lateríticos, involucrando a las subpoblaciones D, E y F (mapa 14). Estos valores están influenciados por la litología, producto de la meteorización de las peridotitas serpentinizadas.

Los valores más bajos se presentan en los suelos derivados de esquistos y en los depósitos aluviales, esto debido a que el arrastre del Al a estos puntos es casi nulo. En el mapa 14 se observa claramente la gradación de este elemento.

Según los datos obtenidos, información de mapa y gráfica analizada, el Al está por debajo de su distribución media dentro de la corteza terrestre; a excepción de la subpoblación F, la cual fue definida anteriormente como anómala. Según el rango de los suelos libres de contaminación, toda el área se encuentra en riesgo por contaminación de este elemento.

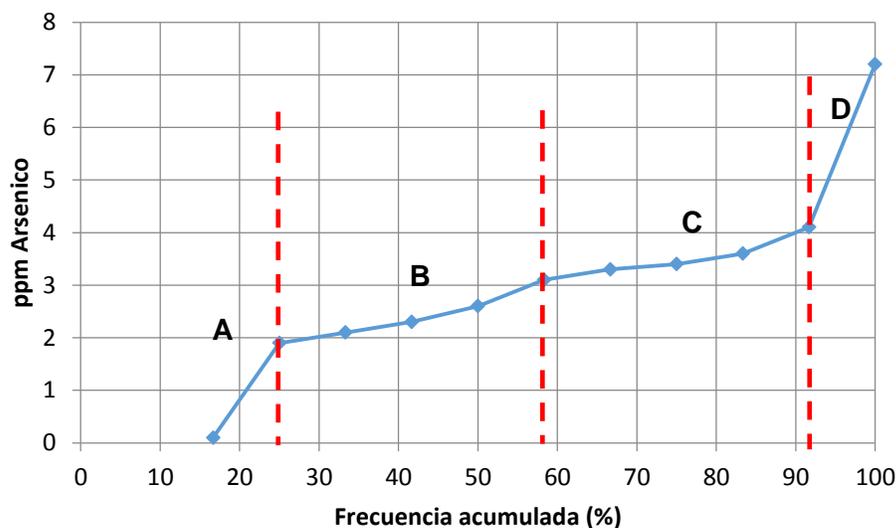
b. Arsénico (As)

Este elemento se considera un metaloide, su número atómico es 33 y el peso atómico es 74,92. Su distribución media dentro de la corteza terrestre es de 2 ppm; mientras que en los suelos libres de contaminación puede variar entre 2 ppm y 5 ppm; el contenido medio de las doce muestras analizadas fue de 2,8 ppm, con un rango entre 0,1 ppm y 7,2 ppm.

La CFRA refleja el carácter multimodal de la distribución de los datos en el As, diferenciándose con esto cuatro subpoblaciones de datos o patrones de distribución, esto según los cambios en la linealidad o puntos de inflexión de la gráfica,

denominadas subpoblaciones A, B, C y D (gráfica 40). Como se puede observar la mayoría de datos se encuentran localizados en las subpoblaciones B y C.

GRÁFICA 40
CURVA DE FRECUENCIAS RELATIVAS ACUMULADAS DEL As Y
LÍMITES DE CADA SUBPOBLACIÓN EN FUNCIÓN DE LOS PUNTOS DE
INFLEXIÓN DE LA LINEALIDAD



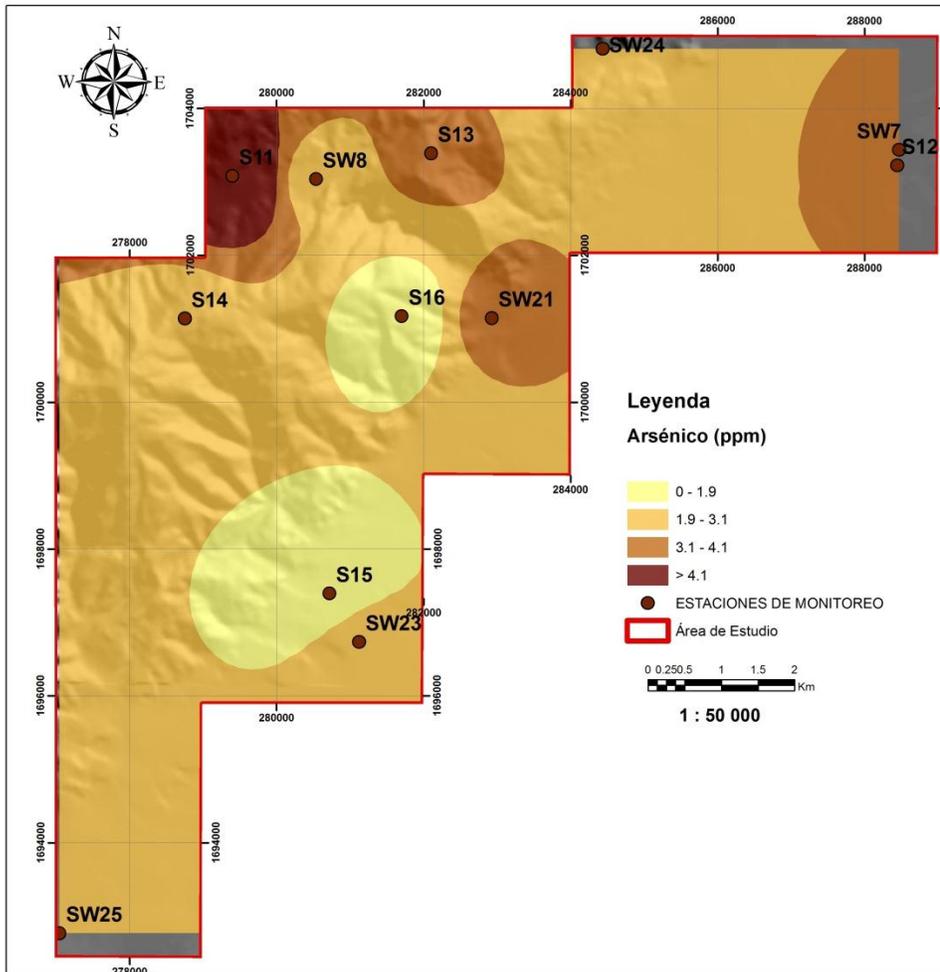
Fuente: Investigación de campo, 2013- 2014.

Las subpoblaciones A ($As < 1,9$ ppm) y D ($As > 4,1$ ppm), situadas en los extremos de la CFRA, representan el conjunto de datos que exceden los límites inferior y superior de la población de fondo. De manera que, los valores de fondo (*Background*, B) del As en los suelos del área de estudio estarían comprendidos entre 1,9 ppm y 4,1 ppm, el valor umbral (*Threshold*, T) es el límite superior de B y la anomalía está comprendida en la subpoblación D.

Los valores más bajos se dan aproximadamente en el 75 % del área de estudio (mapa 15); formando parte de esta los depósitos aluviales (los puntos S12, SW7 y SW21 presentan

valores altos) y depósitos lateríticos (salvo el punto S13). En estos valores se encuentran incluidas las subpoblaciones A y B.

MAPA 15 DISTRIBUCIÓN DE LAS DIFERENTES SUBPOBLACIONES DE ARSÉNICO EN EL ÁREA DE ESTUDIO



Fuente: Investigación de campo, 2013- 2014.

En el noreste y nor-noroeste se presentaron los valores más altos de As, los cuales incluyen a las subpoblaciones C y D. Estos valores pueden estar afectados en la parte norte y noreste fundamentalmente por la acumulación en los hidróxidos

de Al y Fe. En el noroeste pueden estar siendo acumulados en las arcillas y suelos derivados de esquistos.

Según los datos obtenidos, información de mapa y gráfica analizada, el As está por debajo de su distribución media dentro de la corteza terrestre en la subpoblación A. Dentro del rango de los suelos libres de contaminación se encuentran las subpoblaciones A, B y C. Por lo que se puede decir que la subpoblación D representa un riesgo elevado por contaminación debido a su alta toxicidad.

c. Cadmio (Cd)

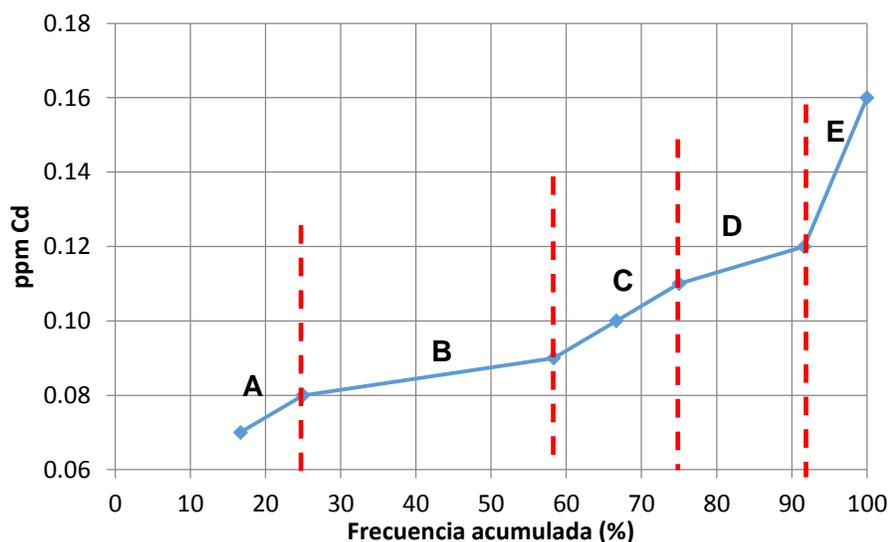
Es un elemento metálico de transición, su número atómico es 48 y el peso atómico es 112,40. Su distribución media dentro de la corteza terrestre es de 0,1 ppm; mientras que en los suelos libres de contaminación es de 0,06 ppm; el contenido medio de las doce muestras analizadas fue de 0,10 ppm, con un rango entre 0,07 ppm y 0,16 ppm.

La distribución de los datos en la CFRA refleja el carácter multimodal del Cd, diferenciándose con esto cinco subpoblaciones de datos, esto según los cambios en la linealidad o puntos de inflexión de la gráfica 41, denominadas subpoblaciones A, B, C, D y E. Como se puede observar la mayoría de datos se encuentran localizados en la subpoblación A.

Las subpoblaciones A ($Cd < 0,08$ ppm) y E ($Cd > 0,12$ ppm), situadas en los extremos de la CFRA, representan el conjunto de datos que exceden los límites inferior y superior de la población de fondo. De manera que, los valores de fondo

(*Background*, B) del Cd en los suelos del área de estudio estarían comprendidos entre 0,08 ppm y 0,12 ppm, el valor umbral (*Threshold*, T) es el límite superior de B y la anomalía está comprendida en la subpoblación E.

GRÁFICA 41
CURVA DE FRECUENCIAS RELATIVAS ACUMULADAS DEL Cd Y
LÍMITES DE CADA SUBPOBLACIÓN EN FUNCIÓN DE LOS PUNTOS DE
INFLEXIÓN DE LA LINEALIDAD

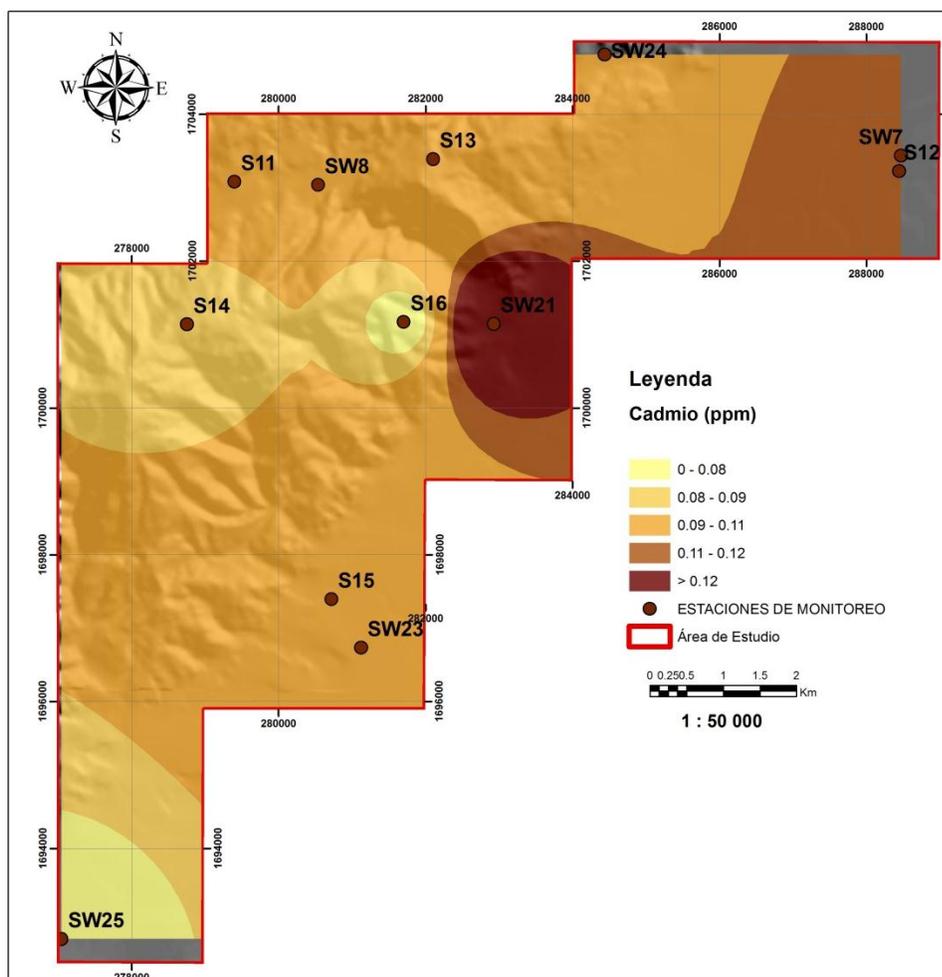


Fuente: Investigación de campo, 2013- 2014.

Los valores más altos de Cd se dieron en el noreste del área de estudio, cubriendo una parte de los depósitos aluviales e involucraron a las subpoblaciones D y E (mapa 16). Estos valores en los suelos aumentan como consecuencia de la continua fertilización en el área.

El resto de los valores se presentan aproximadamente en el 70 % del área, los cuales incluyen los suelos derivados de esquistos, las partes medias de los depósitos lateríticos (los valores más bajos se presentan en las partes altas) y en los depósitos aluviales. En el mapa 16 se observa claramente la distribución de este elemento.

MAPA 16 DISTRIBUCIÓN DE LAS DIFERENTES SUBPOBLACIONES DE CADMIO EN EL ÁREA DE ESTUDIO



Fuente: Investigación de campo, 2013- 2014.

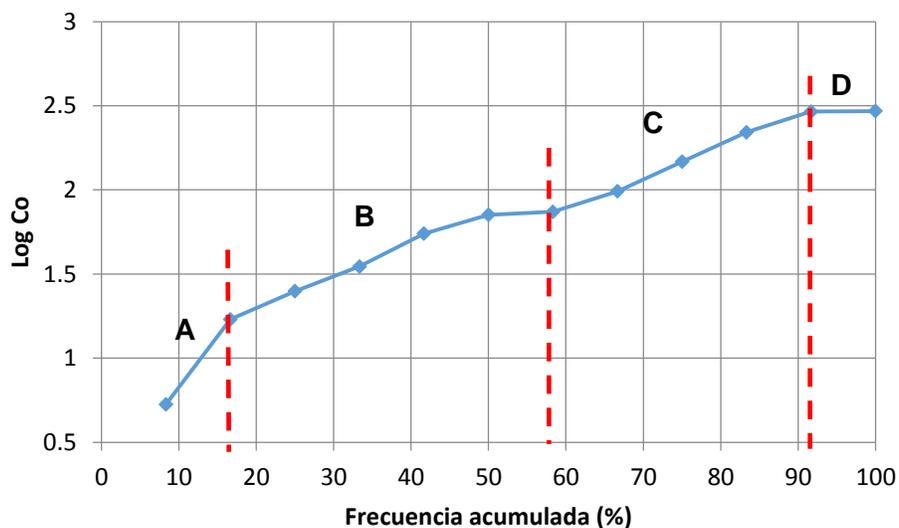
Según los datos obtenidos, información de mapa y gráfica analizada, el Cd está por debajo de su distribución media dentro de la corteza terrestre; a excepción de la subpoblación D y E, de las cuales E fue definida anteriormente como anómala. Según el rango de los suelos libres de contaminación, toda el área se encuentra en riesgo por contaminación de este elemento.

d. Cobalto (Co)

Este elemento metálico de transición, su número atómico es 27 y el peso atómico es 58,93. Su distribución media dentro de la corteza terrestre es de 25 ppm; mientras que en los suelos libres de contaminación es de 8 ppm; el contenido medio de las doce muestras analizadas fue de 111,1 ppm, con un rango entre 5,3 ppm y 294 ppm.

En la gráfica 42 se muestra la CFRA, la cual refleja el carácter multimodal de la distribución de los datos log-transformados del Co, diferenciándose con esto cuatro subpoblaciones de datos o patrones de distribución, esto según los cambios en la linealidad o puntos de inflexión de la gráfica, denominadas subpoblaciones A, B, C y D. Como se puede observar la mayoría de datos se encuentran localizados en la subpoblación B.

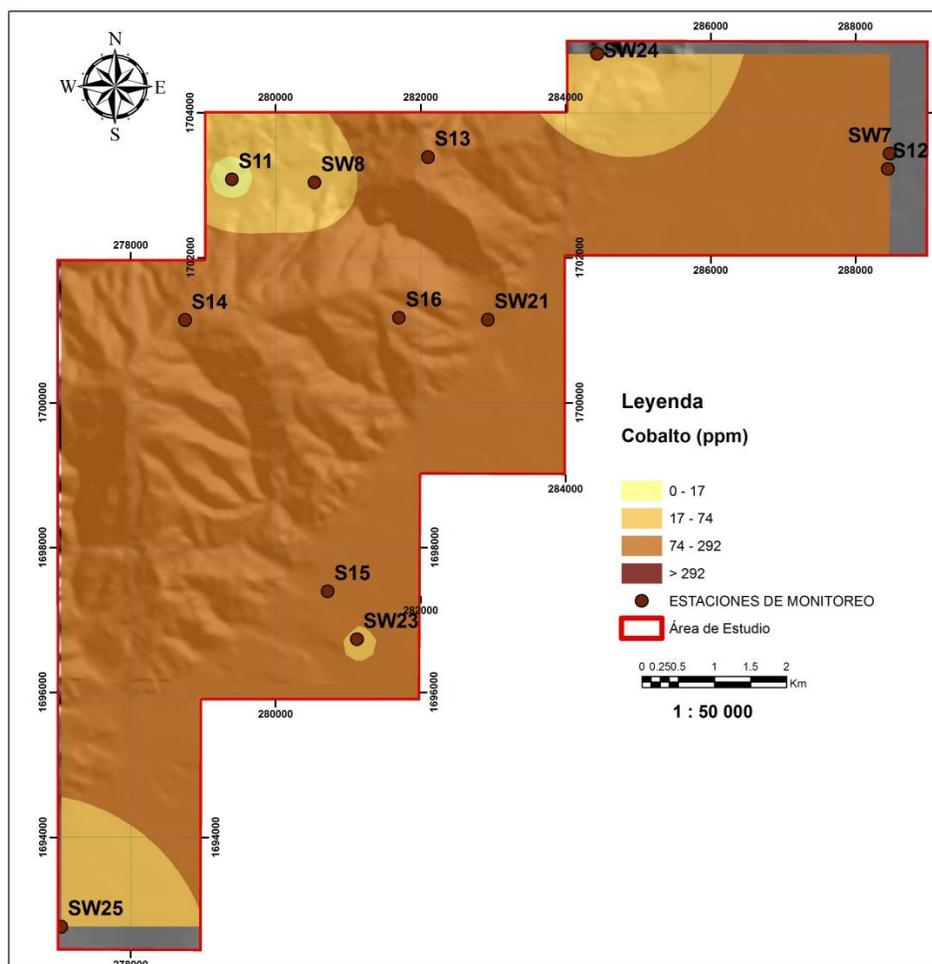
GRÁFICA 42
CURVA DE FRECUENCIAS RELATIVAS ACUMULADAS DEL Co Y
LÍMITES DE CADA SUBPOBLACIÓN EN FUNCIÓN DE LOS PUNTOS DE
INFLEXIÓN DE LA LINEALIDAD



Fuente: Investigación de campo, 2013- 2014.

Las subpoblaciones A ($Co < 17$ ppm) y D ($Co > 292$ ppm), situadas en los extremos de la CFRA, representan el conjunto de datos que exceden los límites inferior y superior de la población de fondo. De manera que, los valores de fondo (*Background*, B) del Co en los suelos del área de estudio estarían comprendidos entre 17 ppm y 292 ppm, el valor umbral (*Threshold*, T) es el límite superior de B y la anomalía está comprendida en la subpoblación D.

MAPA 17 DISTRIBUCIÓN DE LAS DIFERENTES SUBPOBLACIONES DE COBALTO EN EL ÁREA DE ESTUDIO



Fuente: Investigación de campo, 2013- 2014.

En el mapa 17 se observa la distribución del Co, presentando concentraciones altas en el 80 % del área aproximadamente, mientras que los valores más bajos (< 74 ppm) se dan en la parte noreste, noroeste y suroeste.

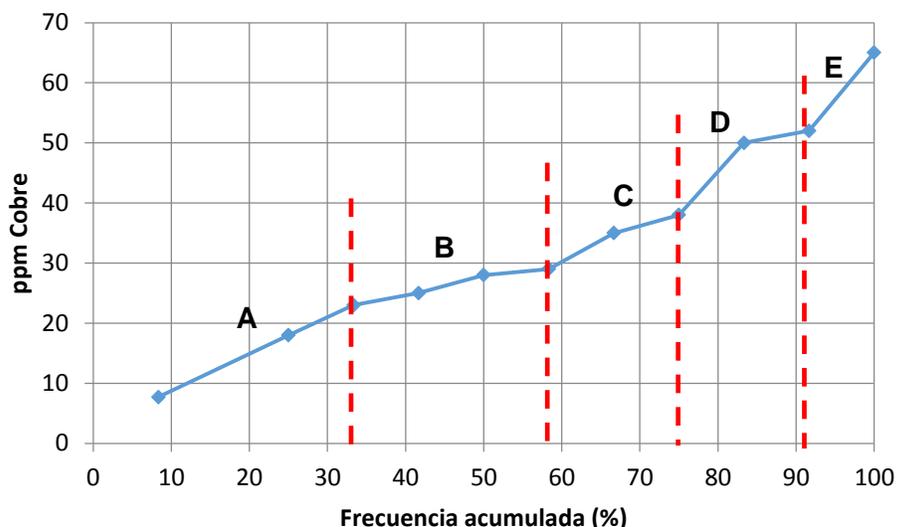
Como se puede ver en el mapa, las mayores concentraciones de Co se encuentran en la zona de peridotitas serpentinizadas y suelos lateríticos; debido a que este elemento se encuentra concentrado en lateritas niquelíferas. Los depósitos aluviales con alto contenido de Co pueden estar relacionados con la meteorización de las partes altas.

Según los datos obtenidos, información de mapa y gráfica analizada, el Co está por encima de su distribución media dentro de la corteza terrestre, a excepción de la subpoblación A. Dentro del rango de los suelos libres de contaminación se encuentra únicamente el punto S11; el cual se encuentra localizado sobre suelos derivados de esquistos. Por lo que se puede decir que la mayor parte del área representa riesgo elevado por contaminación debido a su toxicidad.

e. Cobre (Cu)

Es un elemento metálico de transición, su número atómico es 29 y el peso atómico es 63,54. Su distribución media dentro de la corteza terrestre es de 55 ppm; mientras que en los suelos libres de contaminación es de 20 ppm; el contenido medio de las doce muestras analizadas fue de 32 ppm, con un rango entre 7,7 ppm y 65 ppm.

GRÁFICA 43
CURVA DE FRECUENCIAS RELATIVAS ACUMULADAS DEL Cu Y
LÍMITES DE CADA SUBPOBLACIÓN EN FUNCIÓN DE LOS PUNTOS DE
INFLEXIÓN DE LA LINEALIDAD



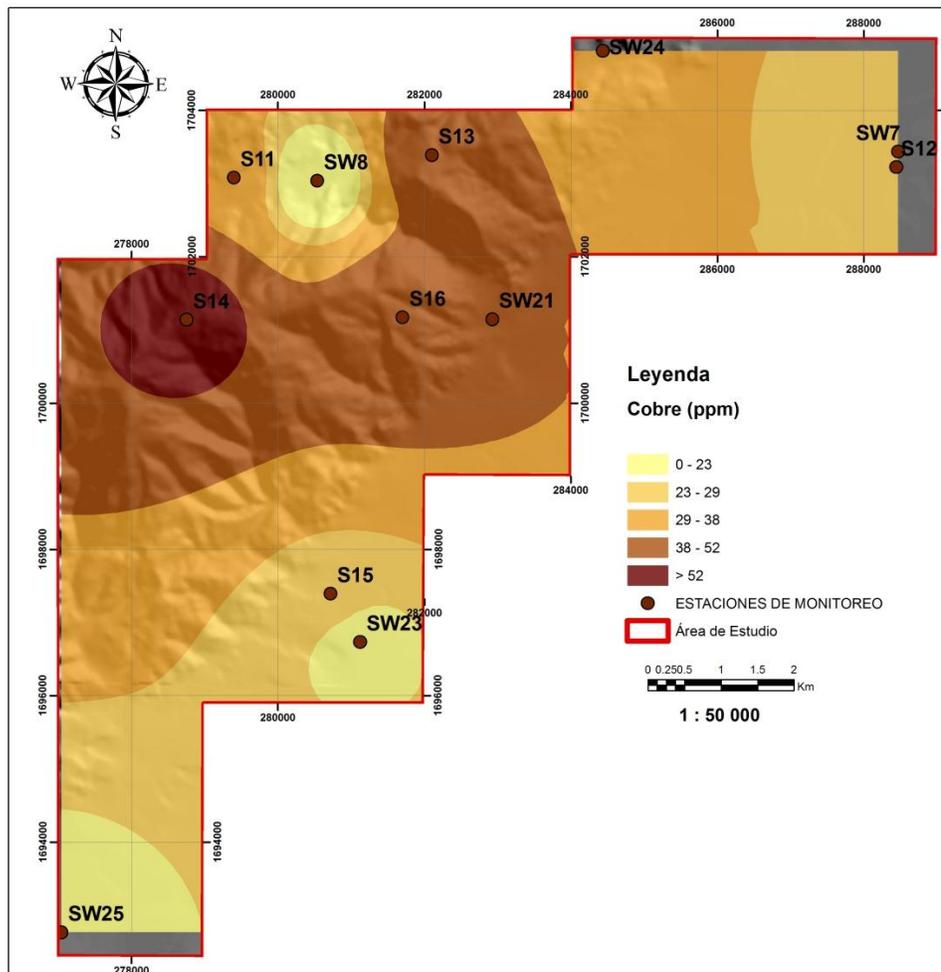
Fuente: Investigación de campo, 2013- 2014.

La distribución de los datos en la CFRA refleja el carácter multimodal del Cu, diferenciándose con esto cinco subpoblaciones de datos, esto según los cambios en la linealidad o puntos de inflexión de la gráfica, denominadas subpoblaciones A, B, C, D y E (gráfica 43). Como se puede observar la mayoría de datos se encuentran localizados en las subpoblaciones A y B.

Las subpoblaciones A ($\text{Cu} < 23 \text{ ppm}$) y E ($\text{Cu} > 52 \text{ ppm}$), situadas en los extremos de la CFRA, representan el conjunto de datos que exceden los límites inferior y superior de la población de fondo. De manera que, los valores de fondo (*Background*, B) del Cu en los suelos del área de estudio están comprendidos entre 23 ppm y 52 ppm, el valor umbral (*Threshold*, T) es el límite superior de B y la anomalía está comprendida en la subpoblación E.

Los valores más altos de Cu se dieron en el área que abarca las peridotitas serpentinizadas y los depósitos lateríticos; esto debido a que normalmente el Cu se encuentra unido a óxidos de Hierro y Manganeseo, involucran las subpoblaciones D y E (mapa 18).

MAPA 18 DISTRIBUCIÓN DE LAS DIFERENTES SUBPOBLACIONES DE COBRE EN EL ÁREA DE ESTUDIO



Fuente: Investigación de campo, 2013- 2014.

El resto de los valores se presentan en los suelos derivados de esquistos y depósitos aluviales. La disminución de los valores de Cu puede estar influenciada por la poca

movilidad de este metal y el fuerte fijado en los suelos, lo cual se hace evidente en el mapa 18.

Según los datos obtenidos, información de mapa y gráfica analizada, el Cu está por debajo de su distribución media dentro de la corteza terrestre; a excepción de la subpoblación E, la cual fue definida anteriormente como anómala. Únicamente la subpoblación A se encuentra dentro del rango de los suelos libres de contaminación, por lo que se puede decir que el resto del área se encuentra en riesgo por contaminación.

f. Cromo (Cr)

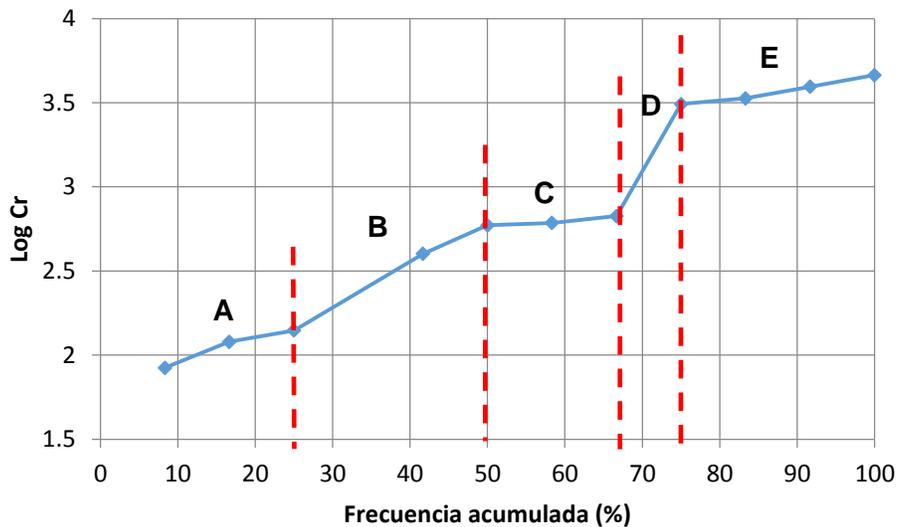
Este elemento metálico de transición, su número atómico es 24 y el peso atómico 51,96. Su distribución media dentro de la corteza terrestre es de 100 ppm; al igual que en los suelos libres de contaminación, el contenido medio de las doce muestras analizadas fue de 1 501 ppm, con un rango entre 84 ppm y 4 610 ppm.

La CFRA refleja el carácter multimodal de la distribución de los datos log-transformados en el Cr, diferenciándose con esto cinco subpoblaciones de datos o patrones de distribución, esto según los cambios en la linealidad o puntos de inflexión de la gráfica 44, denominadas subpoblaciones A, B, C, D y E. Como se puede observar la mayoría de datos se encuentran localizados en las subpoblaciones A y E.

Las subpoblaciones A ($\text{Cr} < 140 \text{ ppm}$) y E ($\text{Cr} > 3\,100 \text{ ppm}$), situadas en los extremos de la CFRA, representan el conjunto de datos que exceden los límites inferior y superior de

la población de fondo. De manera que, los valores de fondo (*Background*, B) del Cr en los suelos del área de estudio estarían comprendidos entre 140 ppm y 3 100 ppm, el valor umbral (*Threshold*, T) es el límite superior de B y la anomalía está comprendida en la subpoblación E.

GRÁFICA 44
CURVA DE FRECUENCIAS RELATIVAS ACUMULADAS DEL Cr Y
LÍMITES DE CADA SUBPOBLACIÓN EN FUNCIÓN DE LOS PUNTOS DE
INFLEXIÓN DE LA LINEALIDAD



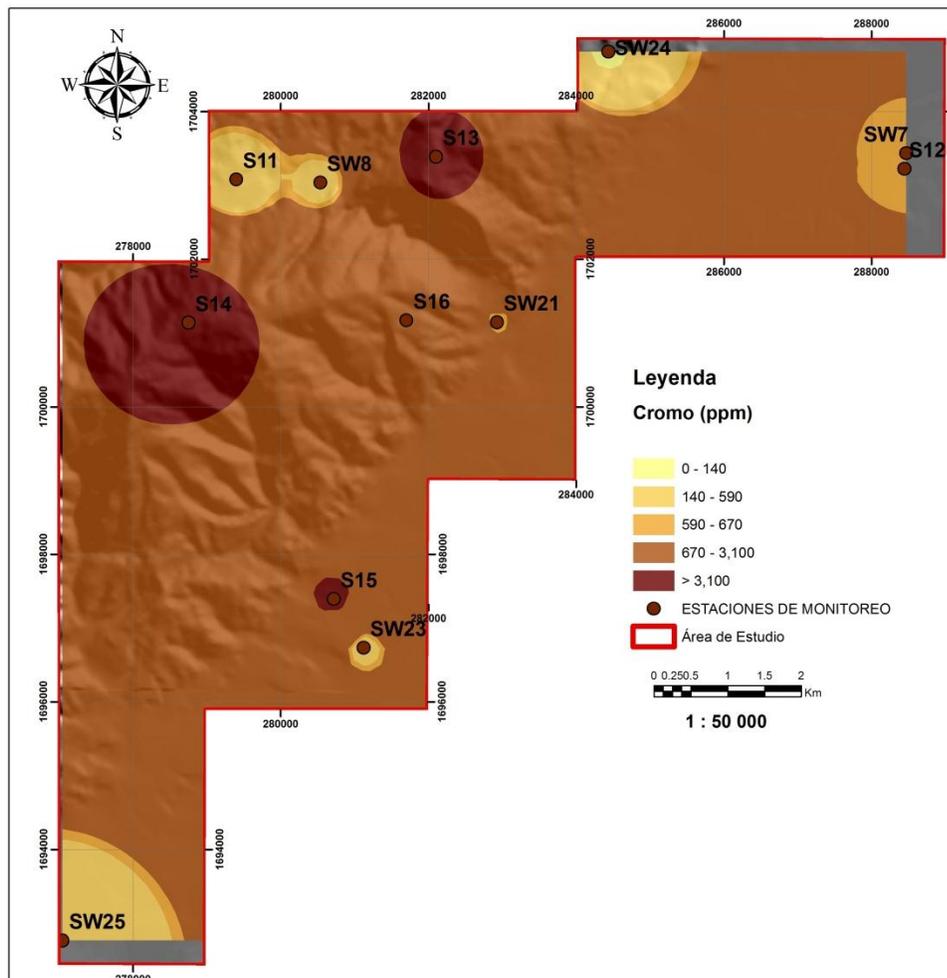
Fuente: Investigación de campo, 2013- 2014.

En el mapa 19 se observa la distribución del Cr, presentando concentraciones altas en el 75 % del área aproximadamente, mientras que los valores más bajos (< 670 ppm) se dan en la parte noreste, noroeste y suroeste, además del punto SW/21 y SW/23, que se encuentran en medio de valores altos.

Como se puede observar, las mayores de concentraciones de Cr se encuentran en la zona de peridotitas serpentinizadas y suelos lateríticos; debido a que este elemento se encuentra concentrado en lateritas níquelíferas.

Los depósitos aluviales con alto contenido de Cr pueden estar relacionados con la meteorización de las partes altas.

MAPA 19 DISTRIBUCIÓN DE LAS DIFERENTES SUBPOBLACIONES DE CROMO EN EL ÁREA DE ESTUDIO



Fuente: Investigación de campo, 2013- 2014.

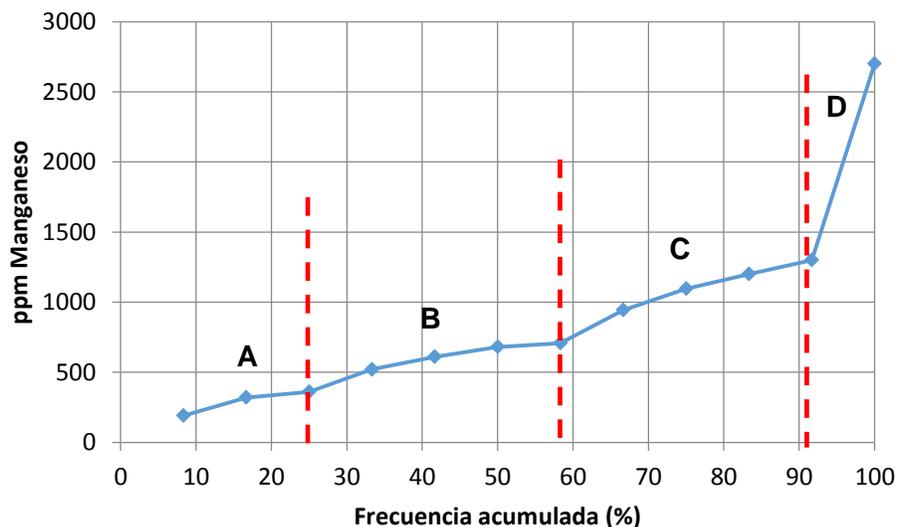
Al considerar los datos obtenidos, información de mapa y gráfica analizada, el Cr está por encima de su distribución media dentro de la corteza terrestre y arriba del rango de los suelos libres de contaminación. Por lo que se puede decir que el área representa riesgo elevado por contaminación debido a su toxicidad.

g. Manganeso (Mn)

Es un elemento metálico de transición, su número atómico es 25 y el peso atómico 54,94. Su distribución media dentro de la corteza terrestre es de 950 ppm; mientras que el contenido medio de las doce muestras analizadas fue de 886 ppm, con un rango entre 190 ppm y 2 700 ppm.

La distribución de los datos en la CFRA refleja el carácter multimodal del Mn, diferenciándose con esto cuatro subpoblaciones de datos, esto según los cambios en la linealidad o puntos de inflexión de la gráfica, denominadas subpoblaciones A, B, C y D (gráfica 45). Como se puede observar la mayoría de datos se encuentran localizados en la subpoblación B.

GRÁFICA 45
CURVA DE FRECUENCIAS RELATIVAS ACUMULADAS DEL Mn Y
LÍMITES DE CADA SUBPOBLACIÓN EN FUNCIÓN DE LOS PUNTOS DE
INFLEXIÓN DE LA LINEALIDAD

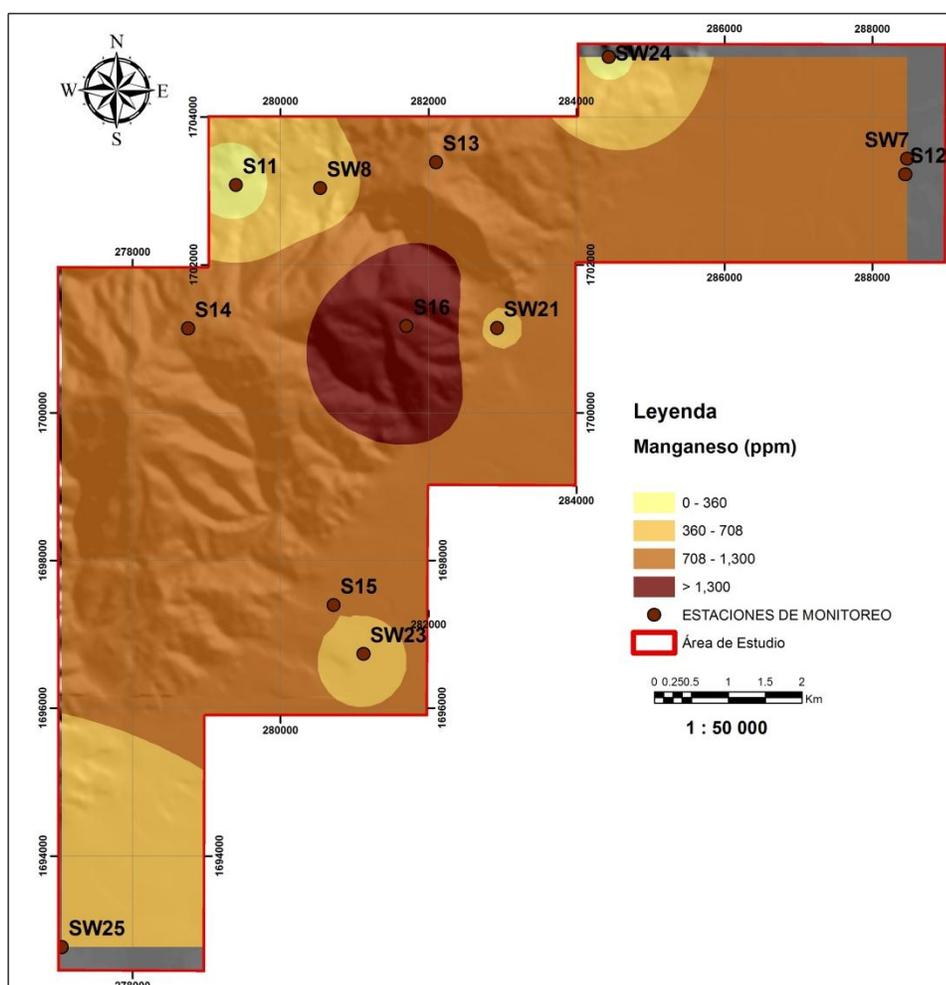


Fuente: Investigación de campo, 2013- 2014.

Las subpoblaciones A (Mn < 360 ppm) y D (Mn > 1 300 ppm), situadas en los extremos de la CFRA, representan el

conjunto de datos que exceden los límites inferior y superior de la población de fondo. De manera que, los valores de fondo (*Background, B*) del Mn en los suelos del área de estudio están comprendidos entre 360 ppm y 1 300 ppm, el valor umbral (*Threshold, T*) es el límite superior de B y la anomalía está comprendida en la subpoblación D.

MAPA 20
DISTRIBUCIÓN DE LAS DIFERENTES SUBPOBLACIONES DE MANGANESO EN EL ÁREA DE ESTUDIO



Fuente: Investigación de campo, 2 013- 2 014.

Los valores más altos de Mn se localizan en el área que abarca las peridotitas serpentinizadas y los depósitos

lateríticos; esto debido a que normalmente el Mn se encuentra unido a óxidos de Hierro, involucrando a las subpoblaciones C y D (mapa 20).

El resto de los valores se presentan en los suelos derivados de esquistos y depósitos aluviales. La disminución de los valores de Mn puede estar influenciada por la poca movilidad de este metal y el fuerte fijado en los suelos, lo cual se hace evidente en el mapa 20.

Según los datos obtenidos, información de mapa y gráfica analizada, el Mn está por debajo de su distribución media dentro de la corteza terrestre en las subpoblaciones A y B.

Las subpoblaciones C y D se encuentran por encima de la distribución media, por lo que se puede decir que estos lugares se encuentran en riesgo por contaminación.

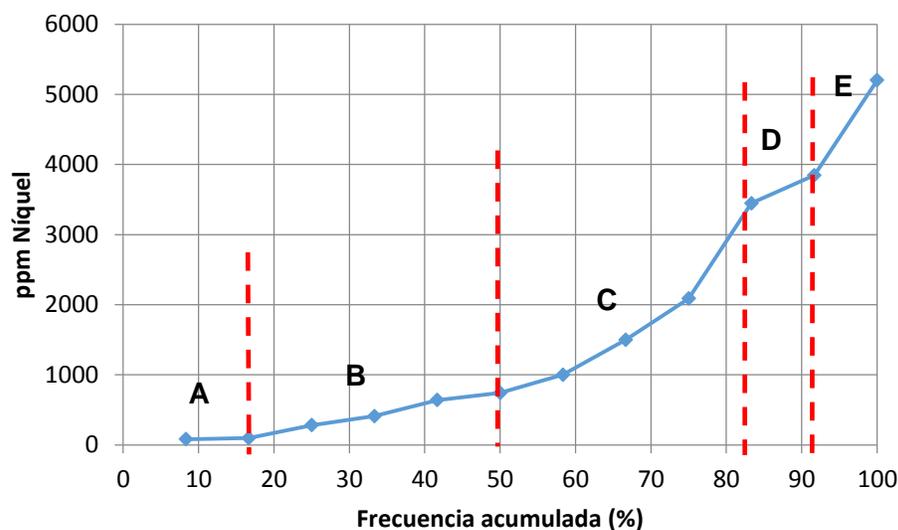
h. Níquel (Ni)

Este elemento metálico de transición, su número atómico es 28 y el peso atómico es 58,71. Su distribución media dentro de la corteza terrestre es de 80 ppm; los suelos libres de contaminación pueden variar entre 10 ppm y 40 ppm, el contenido medio de las doce muestras analizadas fue de 1 610 ppm, con un rango entre 80 ppm y 5 200 ppm.

La gráfica 46 muestra la CFRA, la cual refleja el carácter multimodal de la distribución de los datos en el níquel, diferenciándose con esto cinco subpoblaciones de datos o patrones de distribución, esto según los cambios en la linealidad o puntos de inflexión de la gráfica, denominadas

subpoblaciones A, B, C, D y E. Como se puede observar la mayoría de datos se encuentran localizados en las subpoblaciones B y C.

GRÁFICA 46
CURVA DE FRECUENCIAS RELATIVAS ACUMULADAS DEL Ni Y
LÍMITES DE CADA SUBPOBLACIÓN EN FUNCIÓN DE LOS PUNTOS DE
INFLEXIÓN DE LA LINEALIDAD



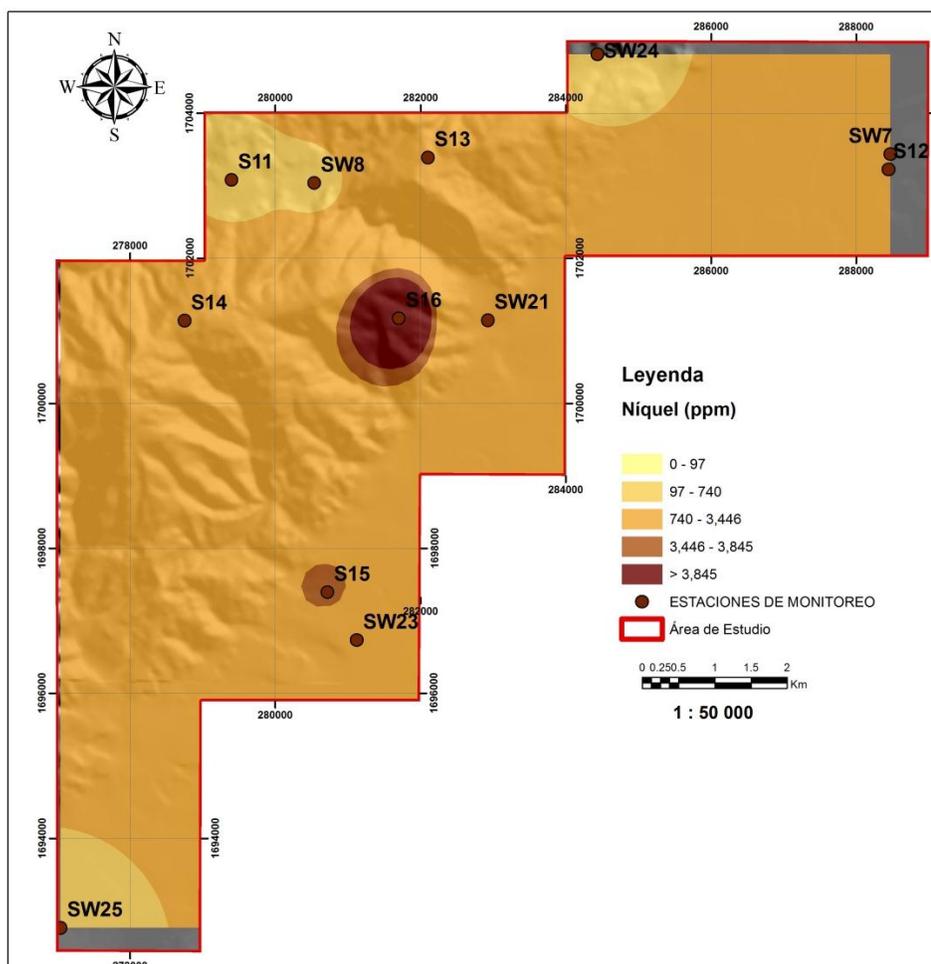
Fuente: Investigación de campo, 2013- 2014.

Las subpoblaciones A ($Ni < 97$ ppm) y E ($Ni > 3\ 845$ ppm), situadas en los extremos de la CFRA, representan el conjunto de datos que exceden los límites inferior y superior de la población de fondo. De manera que, los valores de fondo (*Background*, B) del Ni en los suelos del área de estudio estarían comprendidos entre 97 ppm y 3 845 ppm, el valor umbral (*Threshold*, T) es el límite superior de B y la anomalía está comprendida en la subpoblación E.

En el mapa 21 se observa la distribución del Ni, presentando concentraciones altas en la parte central del área (punto S16), teniendo relación con las subpoblaciones D y E.

Mientras que los valores intermedios (subpoblación C, entre 740 ppm y 3 446 ppm) ocupan aproximadamente el 70 % del área de estudio. Los valores más bajos se dan en la parte noreste, noroeste y suroeste.

MAPA 21 DISTRIBUCIÓN DE LAS DIFERENTES SUBPOBLACIONES DE NÍQUEL EN EL ÁREA DE ESTUDIO



Fuente: Investigación de campo, 2013- 2014.

Como se puede observar, las concentraciones mayores e intermedias de Ni se localizan en la zona de peridotitas serpentinizadas y suelos lateríticos; debido a que este elemento se encuentra concentrado en lateritas níquelíferas.

Los depósitos aluviales con alto contenido de Ni pueden estar relacionados con la meteorización de las partes altas.

Según los datos obtenidos, información de mapa y gráfica analizada, el Ni está por encima de su distribución media dentro de la corteza terrestre y arriba del rango de los suelos libres de contaminación. Por lo que se puede decir que el área representa riesgo elevado por contaminación, según este parámetro.

i. Plomo (Pb)

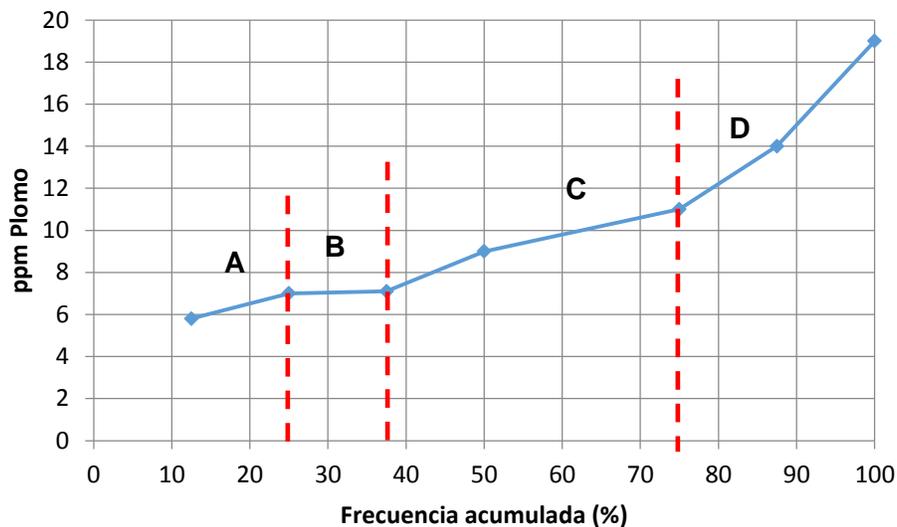
Es un elemento metálico, caracterizado como metal pesado por ser carente de acciones benéficas para los organismos, su número atómico es 82 y el peso atómico es 207,19. Su distribución media dentro de la corteza terrestre es de 13 ppm, en los suelos libres de contaminación y de interés en temas ambientales es de 10 ppm; mientras que el contenido medio de las doce muestras analizadas fue de 10,5 ppm, con un rango entre 5,8 ppm y 19 ppm.

La distribución de los datos en la CFRA refleja el carácter multimodal del plomo, diferenciándose con esto cuatro subpoblaciones de datos, esto según los cambios en la linealidad o puntos de inflexión de la gráfica 47, denominadas subpoblaciones A, B, C y D. Como se puede observar la mayoría de datos se encuentran localizados en la subpoblación C.

Las subpoblaciones A ($Pb < 7$ ppm) y D ($Pb > 11$ ppm), situadas en los extremos de la CFRA, representan el conjunto de datos que exceden los límites inferior y superior de la

población de fondo. De manera que, los valores de fondo (*Background*, B) del Pb en los suelos del área de estudio están comprendidos entre 7 ppm y 11 ppm, el valor umbral (*Threshold*, T) es el límite superior de B y la anomalía está comprendida en la subpoblación D.

GRÁFICA 47
CURVA DE FRECUENCIAS RELATIVAS ACUMULADAS DEL Pb Y
LÍMITES DE CADA SUBPOBLACIÓN EN FUNCIÓN DE LOS PUNTOS DE
INFLEXIÓN DE LA LINEALIDAD



Fuente: Investigación de campo, 2013- 2014.

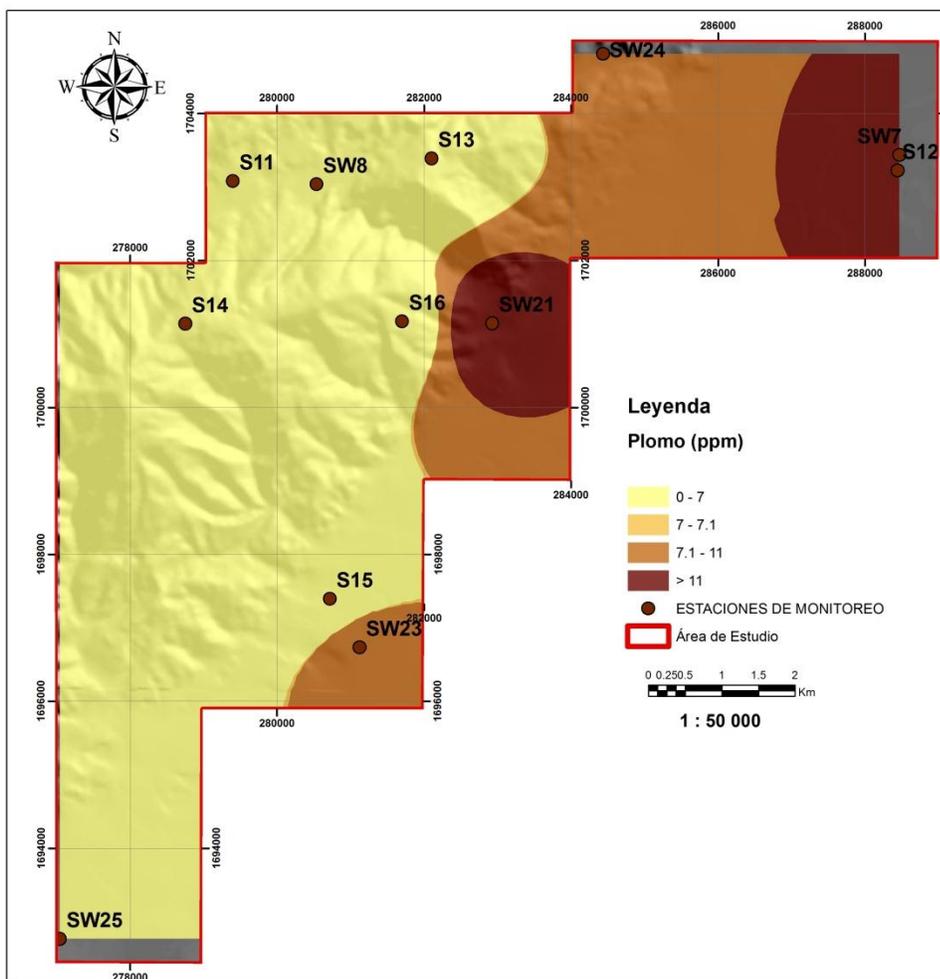
Los valores más altos de Pb se dieron en el área que abarca los depósitos aluviales en la región noreste; esto debido a que normalmente los compuestos de Fe, Mn y Al presentan una fuerte capacidad de absorber Pb. Aunque estos contenidos pueden estar relacionados con acción antrópica. Los valores altos involucran a las subpoblaciones C y D (mapa 22).

Como se puede observar en el mapa, el resto de los valores se presentan en los suelos derivados de esquistos,

peridotitas serpentinizadas y depósitos aluviales; de la parte sur.

Según los datos obtenidos, información de mapa y gráfica analizada, el plomo está por debajo de su distribución media dentro de la corteza terrestre en las subpoblaciones A y B.

MAPA 22 DISTRIBUCIÓN DE LAS DIFERENTES SUBPOBLACIONES DE PLOMO EN EL ÁREA DE ESTUDIO



Fuente: Investigación de campo, 2013- 2014.

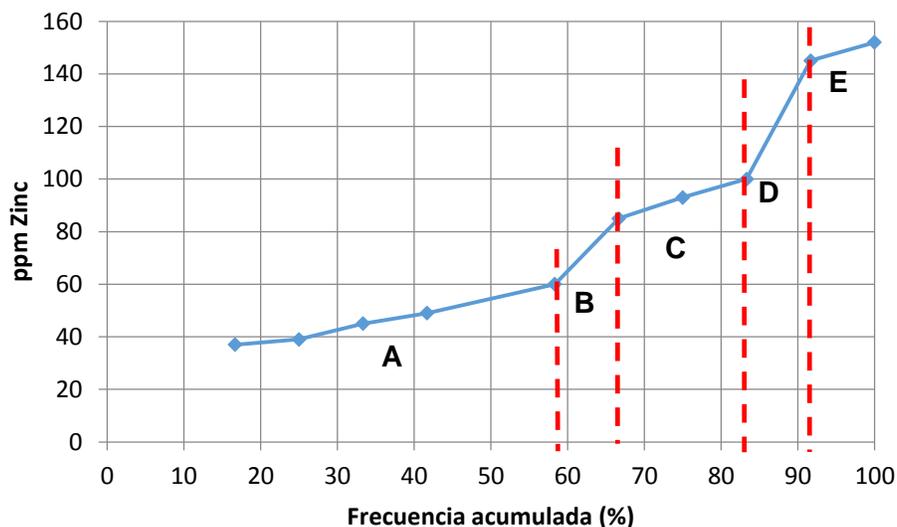
Las subpoblaciones C y D se encuentran por encima del rango de los suelos libres de contaminación, por lo que se

puede decir que la región noreste se encuentra en riesgo por contaminación producto de la toxicidad de este elemento.

j. Zinc (Zn)

Este elemento metálico de transición, su número atómico es 30 y el peso atómico es 65,37. Su distribución media dentro de la corteza terrestre es de 70 ppm; en los suelos libres de contaminación es de 50 ppm, el contenido medio de las doce muestras analizadas fue de 75 ppm, con un rango entre 37 ppm y 152 ppm.

GRÁFICA 48
CURVA DE FRECUENCIAS RELATIVAS ACUMULADAS DEL Zn Y
LÍMITES DE CADA SUBPOBLACIÓN EN FUNCIÓN DE LOS PUNTOS DE
INFLEXIÓN DE LA LINEALIDAD



Fuente: Investigación de campo, 2013- 2014.

La CFRA refleja el carácter multimodal de la distribución de los datos en el Zn, diferenciándose con esto cinco subpoblaciones de datos o patrones de distribución, esto según los cambios en la linealidad o puntos de inflexión de la gráfica, denominadas subpoblaciones A, B, C, D y E (gráfica 48). Como

se puede observar la mayoría de datos se encuentran localizados en la subpoblación A.

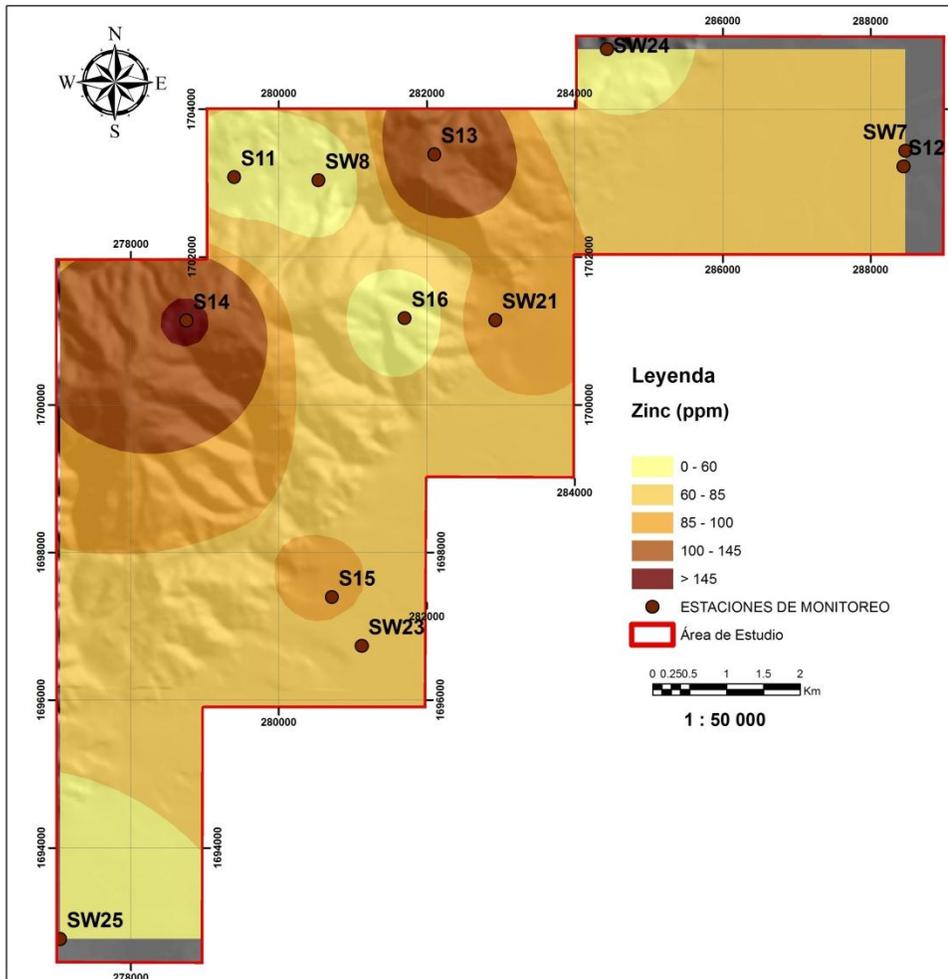
Las subpoblaciones A ($Zn < 60$ ppm) y E ($Zn > 145$ ppm), situadas en los extremos de la CFRA, representan el conjunto de datos que exceden los límites inferior y superior de la población de fondo. De manera que, los valores de fondo (*Background*, B) del Zn en los suelos del área de estudio estarían comprendidos entre 60 ppm y 145 ppm, el valor umbral (*Threshold*, T) es el límite superior de B y la anomalía está comprendida en la subpoblación E.

En el mapa 23 se observa la distribución del Zn, presenta concentraciones altas en los depósitos lateríticos que muestran un perfil desarrollado; en el norte y oeste del área; tiene relación con las subpoblaciones C, D y E. Los valores más bajos se dan en la parte noreste, noroeste y sur, abarcan las peridotitas serpentinizadas, suelos derivados de esquistos y los depósitos aluviales.

Parte del Zn pudo ser absorbido por las arcillas (*cover* y limonita), la materia orgánica y los hidróxidos de Fe y Al.

Según los datos obtenidos, información de mapa y gráfica analizada, el Zn está por debajo de su distribución media dentro de la corteza terrestre únicamente en la subpoblación A. La mayor parte del área se encuentra arriba del rango de los suelos libres de contaminación. Por lo que se puede decir que el área representa riesgo por contaminación.

MAPA 23 DISTRIBUCIÓN DE LAS DIFERENTES SUBPOBLACIONES DE ZINC EN EL ÁREA DE ESTUDIO



Fuente: Investigación de campo, 2013- 2014.

3.3.4. Calidad de suelos

Las implicaciones ambientales de la calidad del suelo en el área de estudio están dadas por los siguientes índices:

a. Índice de geoacumulación

La clasificación ambiental del suelo en el área de estudio se puede observar en el cuadro 35; en el cual se muestra el elemento analizado, la concentración media, el *Background*, el

índice de geoacumulación (I-geo) y el grado de contaminación que representa.

CUADRO 35
CLASIFICACIÓN AMBIENTAL DEL ÁREA DE ESTUDIO, EN BASE AL
ÍNDICE DE GEOACUMULACIÓN (I-geo)

Elemento	Concentración media (ppm)	Background	I-geo	Grado de contaminación
Aluminio	26 802,50	19 111,17	-0,097	Sin contaminar
Arsénico	3,36	3,10	-0,469	Sin contaminar
Cadmio	0,13	0,09	-0,082	Sin contaminar
Calcio	2 103,17	2 132,36	-0,605	Sin contaminar
Cobalto	111,11	66,59	0,154	Sin contaminar a moderadamente contaminado
Cobre	32,39	29,00	-0,425	Sin contaminar
Cromo	1 500,83	325,50	1,620	Moderadamente contaminado
Hierro	81 539,83	67 288,00	-0,308	Sin contaminar
Magnesio	28 440,17	15 000,00	0,338	Sin contaminar a moderadamente contaminado
Manganeso	885,50	708,00	-0,262	Sin contaminar
Níquel	1 610,33	292,89	1,874	Moderadamente contaminado
Plomo	10,49	9,00	-0,364	Sin contaminar
Potasio	386,73	440,00	-0,771	Sin contaminar
Sodio	125,00	115,68	-0,473	Sin contaminar
Zinc	75,17	129,01	-1,364	Sin contaminar

Fuente: Investigación de campo, 2013- 2014.

Según el índice de geoacumulación (I-geo), los elementos Al, As, Cd, Ca, Cu, Fe, Mn, Pb, K, Na y Zn, no implican contaminación alguna en el área de estudio; mientras que para el Co y Mg, se da una clasificación de no contaminado a moderadamente contaminado. Por último, el elemento Ni presenta una clasificación de moderadamente contaminada.

La clasificación del I-geo indica que en los elementos Co, Mg y Ni, existe alteración significativa; esto por procesos

naturales, a la vez indica que no hay contaminación severa o alarmante dentro del área de estudio.

b. Factor de enriquecimiento

El factor de enriquecimiento (FE) informa de la dinámica de un elemento químico de la corteza terrestre, para lo cual es necesario considerar la concentración media del elemento en el área de estudio así como la abundancia en la corteza terrestre, con el fin de obtener la clasificación del suelo (cuadro 36).

Los elementos Al, Ca, Cu, Pb, K y Na, presentan deficiencia significativa, indicando que el suelo en general carece de estos elementos, ya que presentan bajas concentraciones y no sobrepasan la media de los suelos libres de contaminación.

El As, Cd, Fe, Mg, Mn y Zn, presentan un enriquecimiento no significativo, indicando un leve incremento en sus concentraciones, pero sin afectar en términos de contaminación.

Los elementos Co y Cr, presentan un enriquecimiento moderado, lo cual indica un incremento importante en sus concentraciones, pero que no afectan considerablemente al medio ambiente. El Ni por su parte, presenta un enriquecimiento fuerte, lo cual indica que este elemento puede afectar el ambiente por su alta concentración.

Estos últimos tres elementos presentan concentraciones abundantes en los suelos originados de rocas ultramáficas, en

este caso el depósito laterítico ubicado en la parte alta del área de estudio, por lo que es común su enriquecimiento.

CUADRO 36
ABUNDANCIA NORMAL DE LOS ELEMENTOS QUÍMICOS EN LA CORTEZA TERRESTRE Y EL FACTOR DE ENRIQUECIMIENTO (FE)

Elemento	Concentración media (ppm)	Abundancia corteza terrestre (ppm)	FE	Clasificación del suelo
Aluminio	26 802,50	81 300	0,20	DS
Arsénico	3,36	2	1,03	ENS
Cadmio	0,13	0,1	0,78	ENS
Calcio	2 103,17	33 000	0,04	DS
Cobalto	111,11	25	2,72	EM
Cobre	32,39	55	0,36	DS
Cromo	1 500,83	100	9,20	EM
Hierro	81 539,83	50 000	1,00	ENS
Magnesio	28 440,17	17 000	1,02	ENS
Manganeso	885,50	950	0,57	ENS
Níquel	1 610,33	75	13,17	EF
Plomo	10,49	13	0,49	DS
Potasio	386,73	25 000	0,01	DS
Sodio	125,00	25 000	0,003	DS
Zinc	75,17	70	0,66	ENS

DS = Deficiencia significativa. **ENS** = Enriquecimiento no significativo. **EM** = Enriquecimiento moderado. **EF** = Enriquecimiento fuerte

Fuente: Investigación de campo, 2013- 2014.

Se puede decir que la hipótesis de trabajo se cumple, ya que algunos valores obtenidos en las muestras de agua no cumplen con lo establecido por COGUANOR e ICA; son estos: fósforo, grasas y aceites, Hierro, Aluminio, Cromo y *E. coli*. Mientras que según la clasificación y el grado de contaminación de los suelos el Cobalto, Cromo, Hierro y Níquel se encuentran en un alto contenido, con lo cual pueden afectar el ambiente.

CONCLUSIONES

- a) Según la evaluación de la contaminación del agua y suelo al noreste de Los Amates por medio de análisis hidrogeoquímicos y de geoquímica de suelos, se puede decir que existe contaminación tanto natural como antrópica. La contaminación natural es producto principalmente de la erosión y meteorización de cada una de las unidades litoestratigráficas cercanas a los puntos de monitoreo. Mientras que la contaminación es antrópica directa (procede de servicio doméstico, rellenos sanitarios y de algunos usos agrícolas) e indirecta (agricultura o escurrimientos naturales).
- b) En base a la hidroquímica superficial se clasificaron las aguas según su dureza como medias, según el pH como débilmente básicas y según los iones dominantes como magnésica-bicarbonatada.
- c) Se definió la calidad del agua de los ríos que se localizan en el área de investigación; en base al ICA se obtuvo un promedio de aguas levemente contaminadas (70,83) en invierno y aguas contaminadas (69,95) en verano. En invierno únicamente la estación SW21 presenta aguas contaminadas; producto del alto contenido de Hierro, el cual ha sido erosionado de los depósitos lateríticos.
- d) En base a la norma COGUANOR se puede decir que los parámetros o elementos que se encuentran por debajo del LMA son: Conductividad eléctrica, Oxígeno disuelto, Alcalinidad, Cloruro, Sulfato, Sólidos totales,

Calcio, Magnesio, Sodio, Boro, Zinc, Demanda química de Oxígeno, Potasio, Arsénico, Cadmio, Cobalto, Cobre, Níquel y Plomo. Mientras los que se encuentran por debajo del LMP son: Temperatura, pH, Dureza y Manganeso. Los que sobrepasan el LMP son: Fosfato, grasas y aceites, Hierro, Aluminio, Cromo y *E. coli*. Con esto último se clasifican las aguas como malas, ya que ciertos parámetros como *E. coli* sobrepasan el LMP establecido.

- e) Por medio de algunos índices de contaminación se pudo establecer la contaminación hídrica; el índice de contaminación bacteriana evidenció un riesgo alto en invierno y verano en todas las estaciones, a excepción de la estación SW23 que presenta un riesgo muy alto en invierno.
- f) Con el índice de contaminación por sólidos suspendidos existió una calidad muy buena en todas las estaciones de monitoreo, tanto en verano como en invierno. El índice de contaminación trófico presenta, tanto en verano como en invierno, una calidad trófica, por lo que se puede decir que es un agua mala y estas aguas están sujetas a restricciones en su uso, principalmente para el consumo humano.
- g) El índice de contaminación mineral presentó en la estación SW8, tanto en verano como invierno, concentraciones muy bajas; lo cual indica que son aguas muy buenas, mientras que la estación SW25 presentó en verano e invierno una concentración alta, lo cual indica que estas aguas son malas. El resto de las estaciones de monitoreo presentan concentraciones medias (verano e invierno), lo cual indica que las aguas tienen una clasificación media.
- h) De acuerdo con el índice de geoacumulación, los suelos del área de estudio se clasifican como: sin contaminar y moderadamente contaminado. El primero no implica contaminación alguna en el área de estudio; mientras

que el segundo indica alteración o contaminación significativa; esto por procesos naturales.

- i) Según el factor de enriquecimiento, los suelos del área de estudio se clasifican como: Deficiencia significativa, enriquecimiento no significativo, enriquecimiento moderado y enriquecimiento fuerte. Estas dos últimas clasificaciones indican concentraciones abundantes en los suelos, los cuales son originados de rocas ultramáficas, en este caso el depósito laterítico ubicado en la parte alta del área de estudio, por lo que es común su enriquecimiento.
- j) Se estableció, según el factor de enriquecimiento y el índice de geoacumulación; que existe una contaminación natural en la parte alta del área de estudio y sus afluentes aledaños (estación S13, S14, S16 Y SW21), esto producto de la erosión del depósito laterítico; ya que existe un alto contenido de Cobalto, Cromo, Hierro y Níquel. Lo cual indica un incremento importante en sus concentraciones, pero que los primeros tres elementos no afectan considerablemente al medio ambiente; a excepción del Níquel, que por su fuerte enriquecimiento puede afectar el medio natural.
- k) El alto contenido de algunos elementos y parámetros en las aguas corresponden a la actividad antrópica del área, ya que los fosfatos, grasas y aceites y *E. coli*, pueden provenir de las aguas negras vertidas en los ríos, el basurero municipal y la agricultura.

RECOMENDACIONES

- a) Realizar un estudio hidrogeológico para determinar las áreas de recarga hídrica; con el fin de reforestarlas y declararlas áreas de protección y así incrementar la cantidad de afluentes que proveen del vital líquido.
- b) Efectuar estudios de monitoreo de la calidad del agua de los distintos puntos de abastecimiento de las poblaciones aledañas al área de estudio, con la finalidad de completar la evaluación de la calidad del agua.
- c) Realizar campañas de educación y concientización sobre el uso e importancia del recurso hídrico.
- d) Efectuar estudios de calidad de suelos a una menor escala, con el uso de una cuadrícula de muestreo, para así poder establecer fuentes más puntuales de contaminación.
- e) Ejecutar estudios edafológicos que permitan establecer cuáles son los niveles de contaminantes orgánicos e inorgánicos, provenientes de los pesticidas usados en agricultura y que llegan a los suelos y causes de los ríos vía superficial o subterránea.
- f) Elaborar estudios de capacidad del uso del suelo y fomentar su potencialidad.

BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo Sandoval, Otilio, Et. Al. *El papel de óxidos de hierro en suelos*. 2 004. <http://www.redalyc.org/pdf/573/57311096013.pdf> (24 de enero de 2 015).
- Acumulación de *arsénico*. http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs2.html (24 de enero de 2 015).
- Aguas con el agua*. 2 006. http://www.infoiarna.org.gt/guateagua/subtemas/3/3_Calidad_del_agua.pdf (25 de octubre de 2 014).
- Aldana Aguilar, Monica Lisett y Elvis Edison Zacarias Laynes. *Determinación de los índices de calidad de agua del río Cucabaj y la influencia de los costos de tratamientos de potabilización*. 2 012. http://sitios.usac.edu.gt/wp_cusacq/wp-content/uploads/2013/08/Articulo-agua-rio-Cucabaj-2013-11.pdf (17 de enero de 2 015).
- Aluminio y salud: Compuestos de aluminio en tratamientos de aguas*. 2 008. <http://www.asoc-aluminio.es/support/pdf/aluminio-agua-potable.pdf> (27 de diciembre de 2 014).
- Aznar Jiménez, Antonio. *Determinación de los parámetros físico-químicos de calidad de las aguas*. 2 000. <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-quimica/ingenieria-ambiental/otros-recursos-1/OR-F-001.pdf> (25 de octubre de 2 014).
- Beita Sandí, Wilson. *Caracterización fisicoquímica de las aguas superficiales de la cuenca del río Rincón en la Península de Osa, Puntarenas, Costa Rica*. 2 008. <http://kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/334/TFG%20> (26 de diciembre de 2 014).
- Bohnenberger, Otto. *Revisión del sistema de fallas en la región metropolitana de Guatemala*. Guatemala: snt., 1 996.
- Cabrera, A., Et. Al. *Cromo en aguas subterráneas y superficiales en el entorno de una curtiembre, relación con valores de fondo natural*. Elena, Córdoba, Argentina. 2 009. http://www.igme.es/Boletin/2009/120_4_2009/11-ARTICULO%209.pdf (29 de diciembre de 2 014).

Camacho, A., Et. Al. *Método para la determinación de bacterias coliformes, coliformes fecales y Escherichia coli por la técnica de diluciones en tubo multiples (número más probable o NMP)*. http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/TecnicBasicas-Colif-tot-fecales-Ecoli-NMP_6529.pdf (02 de enero de 2 015).

Chiquín Yoj, Mauricio (Comp.). *Léxico estratigráfico preliminar norte y centro*. Centro Universitario del Norte – Universidad de San Carlos de Guatemala. Cobán, Alta Verapaz, Guatemala: Carrera de Geología, 1 998.

Comisión Guatemalteca de Normas –COGUANOR-. *NTG 29 001; Límites máximos admisibles y permisibles*. Guatemala: COGUANOR., 2 013.

Concepto de Cadmio. <http://cdam.minam.gob.pe:8080/bitstream/123456789/109/2/CDAM0000012-2.pdf> (27 de diciembre de 2 014).

Concepto de Calcio. <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/ca.htm#Nombre> (26 de diciembre de 2 014).

Concepto de Exploración geoquímica de suelos. <http://www.unalmed.edu.co/rrodriguez/Geoquimica/suelos.htm> (08 de enero de 2 014).

Concepto de Geoquímica de suelos. http://www.uclm.es/users/higueras/mga/Tema04/Prospeccion_geoquimica_1_1.htm (20 de enero de 2 015).

Concepto de Mineralización. http://www.fcca.es/static_media/file_uploads/dureza.pdf (20 de enero de 2 015).

Concepto de parámetros. <http://filtrosyequipos.com/GUEST/sanitaria/parametros1.pdf> (22 de diciembre de 2 014).

Concepto de parámetros físico-químicos: solidos disueltos totales. <http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p2-tds.pdf> (26 de diciembre de 2 014).

Concepto de Potasio. http://www.fagro.edu.uy/~fertilidad/curso/docs/Potasio_impr.pdf (24 de enero de 2 015).

Concepto de Sulfatos. <http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/13682/sulfatos%20revisado%20definitivo.pdf?sequence=3> (23 de diciembre de 2 014).

Criterios de calidad de suelos y aguas o afluentes tratados para usos en riego. http://bibliotecadigital.sag.gob.cl/documentos/medio_ambiente/criterios_calidad_suelos_aguas_agricolas/pdf_aguas/anexo_A/aluminio.pdf (27 de diciembre de 2 014).

- Cruz, Jorge René de la. *Clasificación de las zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento*. Guatemala, Instituto Nacional Forestal, 1 982.
- C. Galvao, Luiz A. y Germán Corey. *Definición y daños causados por Cromo*. 1 987. <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsea/e/fulltext/cromo/cromo.pdf> (24 de enero de 2 015).
- Determinación de cloruros* <http://alojamientos.us.es/grupotar/tar/formatec/laboratorio/determinaciones/cloruros.pdf> (23 de diciembre de 2 014).
- El agua en Navarra. *Características Microbiológicas*. https://www.navarra.es/home_es/Temas/Medio+Ambiente/Agua/Documentacion/Parametros/CaracteristicasMicrobiologicas.htm (02 de enero de 2 015).
- Garrido Peláez, Víctor Hugo. *Consideraciones Generales Sobre la Explotación de los yacimientos de níquel de la compañía EXMIBAL*, Centro Universitario del Norte– Universidad de San Carlos de Guatemala. Técnico en exploración de recursos minerales. Cobán, Alta Verapaz, Guatemala: Carrera de Geología, 1 981.
- Gómez Rave, Juan Camilo. *Geología, Geofísica, Hidrogeoquímica e Isótopos, como herramientas para definir un modelo conceptual hidrogeológico, caso de aplicación: Acuífero costero de municipio de Turbo*. 2 009. http://www.bdigital.unal.edu.co/2407/1/71787208.2009_1.pdf (27 de octubre de 2 014).
- Hierro y Manganeso en aguas superficiales y subterránea de la provincia de Misiones*. <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/caliagua/peru/argcca011.pdf> (29 de diciembre de 2 014).
- Higueras, Pablo y Roberto Oyarzun. *Curso de minería y medio ambiente*. <http://www.uclm.es/users/higueras/mam/index.htm> (09 de agosto de 2 013).
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología – INSIVUMEH-. *Temperatura y precipitación al norte de Los Amates, Izabal*. <http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/ESTACIONES/IZABAL/Las%20Vegas/lluvia%20en%20mm.%20LAS%20VEGAS.htm> (14 de diciembre de 2 014).
- León Vizcaíno, Luis F. *Índices de calidad de agua ICA: forma de estimarlos y aplicación en la cuenca Lerma-Chapala*. <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6147/1/ICA%20Forma%20de%20estimarlos.pdf> (15 de marzo de 2 014).

Lillo, Javier. *Peligros geoquímicos: arsénico de origen natural en las aguas*. <https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag15564/Peligros%20geoqu%C3%ADmicos%20del%20ars%C3%A9nico%20-%20Javier%20Lillo.pdf> (27 de diciembre de 2 014).

Los diagramas más usados para la interpretación de análisis hidrogeoquímicos. 2 009. <http://www.aguaysig.com/2011/01/los-diagramas-mas-usados-para-la.html> (25 de octubre de 2 013).

Marrugo Negrete, José Luis. *Evaluación de la contaminación por metales pesados en la Ciénaga la Soledad y Bahía Cispatá*. Universidad de Córdoba, Colombia: Facultad de Ciencias Básicas. 2 011.

Mikkelsen, Robert. *Fuentes de Magnesio*. [https://ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/\\$webindex/0FF40EBB414EF2B10525777D0075087B/\\$file/3.+Fuentes+de+Magnesio.pdf](https://ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/$webindex/0FF40EBB414EF2B10525777D0075087B/$file/3.+Fuentes+de+Magnesio.pdf) (24 de enero de 2 015).

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación –MAGA-. *Mapa fisográfico-geomorfológico de la república de Guatemala, a escala 1:250 000*. Guatemala: Unidad de Políticas e Información Estratégica; Programa de Emergencia por Desastres Naturales, 2 001.

Perez Bol, Edgar Rolando. *Léxico estratigráfico del bloque Chorti en Guatemala*. Tesis de Licenciatura en Geología, Centro Universitario del Norte–Universidad de San Carlos de Guatemala. Cobán, Alta Verapaz, Guatemala: Carrera de Geología, 2 000.

¿Por qué es importante el Oxígeno Disuelto? <http://www.cimcool.ca/uploads/downloads/Porqueesimportanteeloxigenodisuelto.pdf> (23 de diciembre de 2 014).

¿Qué es la geoquímica? 2 005. http://www.sgm.gob.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=83&Itemid=84 (08 de enero de 2 014).

Química de las aguas superficiales. <http://www.ugr.es/~mota/parte2-tema06.pdf> (25 de octubre de 2 013).

Sabroso González, María del Carmen y Ana Pastor Eixarch. *Guía sobre suelos contaminados*. 2 004. http://www.conectapyme.com/files/medio/guia_suelos_contaminados.pdf (22 de enero de 2 015).

Shell Exploradora y Productora de Guatemala B.V. *Informe final de geología del lago de Izabal*. Guatemala, Shell Exploradora y Productora: snt., s/f.

- Simmons, Charles. Et. Al. *Clasificación de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala*. Guatemala: Editorial José Pineda de Ibarra, 1959.
- Suarez B. Gustavo A. *Cuencas hidrográficas de Guatemala*. 2011. <http://www.sia.marn.gob.gt/Documentos/Cuencashidrograficas.pdf> (21 de agosto de 2014).
- Torres, Patricia, Et. Al. *Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica*. 2009. <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v8n15s1/v8n15s1a09.pdf> (02 de enero de 2015).
- Vaca Paulín, Rocio, Et. Al. *Determinación de factores de enriquecimiento y geoacumulación de Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, y Zn, en suelos de la cuenca del río Lerma*. 2005. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10412207> (25 de octubre de 2013).
- Vázquez Garranzo, Iciar. *Estudio geoquímico de suelos y aguas como base para evaluar la contaminación: relación roca-suelo-agua*. 2009. <http://eprints.ucm.es/8376/1/T30421.pdf> (09 de agosto de 2013).
- Winter Catalan, Erick Guillermo. *Las lateritas en Izabal, Guatemala: Análisis Geoestadístico utilizando el método Kriging para los depósitos ubicados al norte de Los Amates*. Tesis de Licenciatura en Geología, Centro Universitario del Norte– Universidad de San Carlos de Guatemala. Cobán, Alta Verapaz, Guatemala: Carrera de Geología, 2008.



Vo.Bo.

Adán García VélizLicenciado en Pedagogía e Investigación Educativa
Bibliotecario

ANEXO 1: Evaluación de la calidad del agua en base al ICA

A continuación se presentan cada uno de los cuadros que fueron utilizados para realizar la evaluación de la calidad del agua en base al ICA para cada uno de los puntos de monitoreo; tanto en verano como invierno. Para determinar el ICA fue necesario tomar en cuenta cada uno de los datos de muestreo promedio de los parámetros, para así establecer el peso relativo y su factor de normalización.

CUADRO 37
ICA PARA EL RÍO SAN FRANCISCO EN INVIERNO

Parámetro	Dato de muestreo	Peso relativo (Pi)	Factor de normalización (Ci)	$W_i = P_i / \sum P_i$	$ICA = \sum (C_i * W_i)$
Temperatura	25,655	1	40	0,02941176	1,17647059
Conductividad	181,4071	3	40	0,08823529	3,52941176
pH	7,8307	1	90	0,02941176	2,64705882
Oxígeno Disuelto	10,4633	4	100	0,11764706	11,7647059
Alcalinidad	93,2857	1	90	0,02941176	2,64705882
Cloruro	2,8571	1	100	0,02941176	2,94117647
Sulfato	< 25	2	100	0,05882353	5,88235294
Fósforo	0,0589	2	90	0,05882353	5,29411765
Dureza	95,2143	1	40	0,02941176	1,17647059
Sol totales	169,1429	4	100	0,11764706	11,7647059
Calcio	6,1071	1	100	0,02941176	2,94117647
Magnesio	19,0429	1	90	0,02941176	2,64705882
Sodio	3,3929	1	100	0,02941176	2,94117647
Boro	0,0132	3	100	0,08823529	8,82352941
Hierro	4,2907	3	0	0,08823529	0
Zinc	0,0176	1	90	0,02941176	2,64705882
E. Coli	964,9917	4	20	0,11764706	2,3529412
$\sum P_i$		34	$ICA = \sum (C_i * W_i)$		71,17647061

Fuente: Investigación de campo, 2008 a 2014.

CUADRO 38
ICA PARA EL RÍO SAN FRANCISCO EN VERANO

Parámetro	Dato de muestreo	Peso relativo (Pi)	Factor de normalización (Ci)	Wi = Pi / \sumPi	ICA = \sum(Ci * Wi)
Temperatura	27,2529	1	30	0,02941176	0,8823528
Conductividad	210,7857	3	40	0,08823529	3,5294116
pH	8,0236	1	80	0,02941176	2,3529408
Oxígeno Disuelto	6,5655	4	80	0,11764706	9,4117648
Alcalinidad	102,3314	1	90	0,02941176	2,6470584
Cloruro	3,275	1	100	0,02941176	2,941176
Sulfato	<25	2	100	0,05882353	5,882353
Fósforo	0,0717	2	90	0,05882353	5,2941177
Dureza	105,6429	1	30	0,02941176	0,8823528
Sol totales	186,7857	4	100	0,11764706	11,764706
Calcio	7,9407	1	100	0,02941176	2,941176
Magnesio	19,5929	1	90	0,02941176	2,6470584
Sodio	3,7221	1	100	0,02941176	2,941176
Boro	0,0192	3	100	0,08823529	8,823529
Hierro	2,6408	3	0	0,08823529	0
Zinc	0,0113	1	90	0,02941176	2,6470584
E. Coli	478,4111	4	20	0,11764706	2,3529412
\sumPi		34	ICA = \sum(Ci * Wi)		67,9411729

Fuente: Investigación de campo, 2008 a 2014.

CUADRO 39
ICA PARA EL RÍO TRINCHERAS EN INVIERNO

Parámetro	Dato de muestreo	(Pi)	(Ci)	$W_i = P_i / \sum P_i$	$ICA = \sum (C_i * W_i)$
Temperatura	24,605	1	50	0,02941176	1,470588
Conductividad	118,3857	3	50	0,08823529	4,4117645
Ph	7,9307	1	90	0,02941176	2,6470584
Oxígeno Disuelto	13,9727	4	100	0,11764706	11,764706
Alcalinidad	66	1	90	0,02941176	2,6470584
Cloruro	< 2,5	1	100	0,02941176	2,941176
Sulfato	< 25	2	100	0,05882353	5,882353
Fósforo	0,0378	2	90	0,05882353	5,2941177
Dureza	59,2857	1	60	0,02941176	1,7647056
Sol totales	87,1429	4	100	0,11764706	11,764706
Calcio	4,145	1	100	0,02941176	2,941176
Magnesio	11,1929	1	90	0,02941176	2,6470584
Sodio	2,4643	1	100	0,02941176	2,941176
Boro	<0,01	3	100	0,08823529	8,823529
Hierro	3,3364	3	0	0,08823529	0
Zinc	0,0848	1	90	0,02941176	2,6470584
E. Coli	756,6154	4	20	0,11764706	2,3529412
$\sum P_i$		34	$ICA = \sum (C_i * W_i)$		72,9411726

Fuente: Investigación de campo, 2008 a 2014.

CUADRO 40
ICA PARA EL RÍO TRINCHERAS EN VERANO

Parámetro	Dato de muestreo	Peso relativo (Pi)	Factor de normalización (Ci)	$W_i = P_i / \sum P_i$	$ICA = \sum (C_i * W_i)$
Temperatura	25,8971	1	40	0,02941176	1,1764704
Conductividad	138,3857	3	50	0,08823529	4,4117645
pH	7,9793	1	90	0,02941176	2,6470584
Oxígeno Disuelto	7,1718	4	100	0,11764706	11,764706
Alcalinidad	64,1714	1	90	0,02941176	2,3529408
Cloruro	2,68	1	100	0,02941176	2,941176
Sulfato	<25	2	100	0,05882353	5,882353
Fósforo	0,0538	2	90	0,05882353	5,2941177
Dureza	67,2857	1	50	0,02941176	1,470588
Sol totales	95,0714	4	100	0,11764706	11,764706
Calcio	5,0893	1	100	0,02941176	2,941176
Magnesio	11,0764	1	90	0,02941176	2,6470584
Sodio	2,7271	1	100	0,02941176	2,941176
Boro	<0,01	3	100	0,08823529	8,823529
Hierro	0,4739	3	0	0,08823529	0
Zinc	0,0178	1	90	0,02941176	2,6470584
E. Coli	885,6250	4	20	0,11764706	2,3529412
$\sum P_i$		34	$ICA = \sum (C_i * W_i)$		72,0588198

Fuente: Investigación de campo, 2008 a 2014.

CUADRO 41
ICA PARA EL RÍO TRINCHERAS BAJO EL PUENTE EN INVIERNO

Parámetro	Dato de muestreo	Peso relativo (Pi)	Factor de normalización (Ci)	$W_i = P_i / \sum P_i$	$ICA = \sum (C_i * W_i)$
Temperatura	25,4700	1	40	0,02941176	1,1764704
Conductividad	185,7643	3	40	0,08823529	3,5294116
pH	8,1871	1	80	0,02941176	2,3529408
Oxígeno Disuelto	7,0875	4	90	0,11764706	10,5882354
Alcalinidad	99,1429	1	90	0,02941176	2,6470584
Cloruro	2,7500	1	100	0,02941176	2,941176
Sulfato	< 25	2	100	0,05882353	5,882353
Fósforo	0,0789	2	90	0,05882353	5,2941177
Dureza	98,2857	1	30	0,02941176	0,8823528
Sol totales	130,6429	4	100	0,11764706	11,764706
Calcio	6,8214	1	100	0,02941176	2,941176
Magnesio	19,3571	1	90	0,02941176	2,6470584
Sodio	2,2714	1	100	0,02941176	2,941176
Boro	<0,01	3	100	0,08823529	8,823529
Hierro	5,5858	3	0	0,08823529	0
Zinc	0,224	1	90	0,02941176	2,6470584
E. Coli	490,8154	4	20	0,11764706	2,3529412
$\sum P_i$		34	$ICA = \sum (C_i * W_i)$		69,4117611

Fuente: Investigación de campo, 2008 a 2014.

CUADRO 42
ICA PARA EL RÍO TRINCHERAS BAJO EL PUENTE EN VERANO

Parámetro	Dato de muestreo	Peso relativo (Pi)	Factor de normalización (Ci)	$W_i = P_i / \sum P_i$	$ICA = \sum (C_i * W_i)$
Temperatura	26,9564	1	40	0,02941176	1,1764704
Conductividad	196,0714	3	40	0,08823529	3,5294116
pH	8,1336	1	80	0,02941176	2,3529408
Oxígeno Disuelto	7,1045	4	90	0,11764706	10,5882354
Alcalinidad	112,6143	1	90	0,02941176	2,6470584
Cloruro	2,54	1	100	0,02941176	2,941176
Sulfato	<25	2	100	0,05882353	5,882353
Fósforo	0,0655	2	90	0,05882353	5,2941177
Dureza	100,2143	1	30	0,02941176	0,8823528
Sol totales	165,7143	4	100	0,11764706	11,764706
Calcio	8,7814	1	100	0,02941176	2,941176
Magnesio	18,7193	1	90	0,02941176	2,6470584
Sodio	2,5107	1	100	0,02941176	2,941176
Boro	<0,01	3	100	0,08823529	8,823529
Hierro	0,3028	3	0	0,08823529	0
Zinc	0,0095	1	100	0,02941176	2,941176
E. Coli	116,7778	4	40	0,11764706	4,7058824
$\sum P_i$		34	$ICA = \sum (C_i * W_i)$		72,0588199

Fuente: Investigación de campo, 2008 a 2014.

CUADRO 43
ICA PARA EL RÍO SAN FRANCISCO EN INVIERNO

Parámetro	Dato de muestreo	Peso relativo (Pi)	Factor de normalización (Ci)	$W_i = P_i / \sum P_i$	$ICA = \sum (C_i * W_i)$
Temperatura	25,6464	1	40	0,02941176	1,1764704
Conductividad	215,0286	3	40	0,08823529	3,5294116
pH	8,0343	1	80	0,02941176	2,3529408
Oxígeno Disuelto	12,845	4	100	0,11764706	11,764706
Alcalinidad	108,7143	1	90	0,02941176	2,6470584
Cloruro	2,9	1	100	0,02941176	2,941176
Sulfato	< 25	2	100	0,05882353	5,882353
Fósforo	0,0711	2	90	0,05882353	5,2941177
Dureza	108	1	30	0,02941176	0,8823528
Sol totales	160,2308	4	100	0,11764706	11,764706
Calcio	7,9214	1	100	0,02941176	2,941176
Magnesio	20,8571	1	90	0,02941176	2,6470584
Sodio	3,2286	1	100	0,02941176	2,941176
Boro	0,012	3	100	0,08823529	8,823529
Hierro	3,4843	3	0	0,08823529	0
Zinc	0,0139	1	90	0,02941176	2,6470584
E. Coli	1297,6833	4	20	0,11764706	2,3529412
$\sum P_i$		34		$ICA = \sum (C_i * W_i)$	70,5882317

Fuente: Investigación de campo, 2008 a 2014.

CUADRO 44
ICA PARA EL RÍO SAN FRANCISCO EN VERANO

Parámetro	Dato de muestreo	Peso relativo (Pi)	Factor de normalización (Ci)	$W_i = P_i / \sum P_i$	$ICA = \sum (C_i * W_i)$
Temperatura	27,65	1	30	0,02941176	0,8823528
Conductividad	207,0769	3	40	0,08823529	3,5294116
pH	8,0954	1	80	0,02941176	2,3529408
Oxígeno Disuelto	7,9382	4	100	0,11764706	11,764706
Alcalinidad	100,4492	1	90	0,02941176	2,6470584
Cloruro	2,9667	1	100	0,02941176	2,941176
Sulfato	<25	2	100	0,05882353	5,882353
Fósforo	0,076	2	90	0,05882353	5,2941177
Dureza	105,8462	1	30	0,02941176	0,8823528
Sol totales	173,0769	4	100	0,11764706	11,764706
Calcio	8,1415	1	100	0,02941176	2,941176
Magnesio	19,5846	1	90	0,02941176	2,6470584
Sodio	3,4546	1	100	0,02941176	2,941176
Boro	0,0110	3	100	0,08823529	8,823529
Hierro	2,1085	3	0	0,08823529	0
Zinc	0,0326	1	90	0,02941176	2,6470584
E. Coli	222,675	4	30	0,11764706	3,5294118
$\sum P_i$		34	$ICA = \sum (C_i * W_i)$		71,4705847

Fuente: Investigación de campo, 2008 a 2014.

CUADRO 45
ICA PARA EL RÍO BLANCO EN INVIERNO

Parámetro	Dato de muestreo	Peso relativo (Pi)	Factor de normalización (Ci)	$W_i = P_i / \sum P_i$	$ICA = \sum (C_i * W_i)$
Temperatura	25,85	1	40	0,02941176	1,1764704
Conductividad	187,2357	3	40	0,08823529	3,5294116
pH	8,00	1	90	0,02941176	2,6470584
Oxígeno Disuelto	13,9191	4	100	0,11764706	11,764706
Alcalinidad	95,4286	1	90	0,02941176	2,6470584
Cloruro	2,65	1	100	0,02941176	2,941176
Sulfato	< 25	2	100	0,05882353	5,882353
Fósforo	0,0767	2	90	0,05882353	5,2941177
Dureza	94	1	40	0,02941176	1,1764704
Sol totales	151,6429	4	100	0,11764706	11,764706
Calcio	15,7	1	90	0,02941176	2,6470584
Magnesio	12,1714	1	90	0,02941176	2,6470584
Sodio	4,1214	1	100	0,02941176	2,941176
Boro	<0,01	3	100	0,08823529	8,823529
Hierro	3,1520	3	0	0,08823529	0
Zinc	0,0163	1	90	0,02941176	2,6470584
E. Coli	673,4083	4	20	0,11764706	2,3529412
$\sum P_i$		34	$ICA = \sum (C_i * W_i)$		70,8823493

Fuente: Investigación de campo, 2008 a 2014.

CUADRO 46
ICA PARA EL RÍO BLANCO EN VERANO

Parámetro	Dato de muestreo	Peso relativo (Pi)	Factor de normalización (Ci)	$W_i = P_i / \sum P_i$	$ICA = \sum (C_i * W_i)$
Temperatura	27,2929	1	30	0,02941176	0,8823528
Conductividad	209,5	3	40	0,08823529	3,5294116
pH	8,0393	1	80	0,02941176	2,3529408
Oxígeno Disuelto	6,8418	4	80	0,11764706	9,4117648
Alcalinidad	102,8714	1	90	0,02941176	2,6470584
Cloruro	3,8	1	100	0,02941176	2,941176
Sulfato	<25	2	100	0,05882353	5,882353
Fósforo	0,0708	2	90	0,05882353	5,2941177
Dureza	103,0714	1	30	0,02941176	0,8823528
Sol totales	150,4286	4	100	0,11764706	11,764706
Calcio	17,7379	1	90	0,02941176	2,6470584
Magnesio	12,7464	1	90	0,02941176	2,6470584
Sodio	4,3714	1	100	0,02941176	2,941176
Boro	<0,01	3	100	0,08823529	8,823529
Hierro	0,6089	3	0	0,08823529	0
Zinc	0,016	1	90	0,02941176	2,6470584
E. Coli	635,2111	4	20	0,11764706	2,3529412
$\sum P_i$		34	$ICA = \sum (C_i * W_i)$		67,6470553

Fuente: Investigación de campo, 2008 a 2014.

CUADRO 47
ICA PARA EL RÍO AL OESTE DE SANTA RITA PIEDRA PARADA
EN INVIERNO

Parámetro	Dato de muestreo	Peso relativo (Pi)	Factor de normalización (Ci)	$W_i = P_i / \sum P_i$	$ICA = \sum (C_i * W_i)$
Temperatura	25,92	1	40	0,02941176	1,1764704
Conductividad	235,9021	3	40	0,08823529	3,5294116
pH	8,19	1	80	0,02941176	2,3529408
Oxígeno Disuelto	12,2533	4	100	0,11764706	11,764706
Alcalinidad	130,8571	1	90	0,02941176	2,6470584
Cloruro	2,8833	1	100	0,02941176	2,941176
Sulfato	< 25	2	100	0,05882353	5,882353
Fósforo	0,0511	2	90	0,05882353	5,2941177
Dureza	130,7143	1	10	0,02941176	0,2941176
Sól totales	165,7143	4	100	0,11764706	11,764706
Calcio	13,75	1	90	0,02941176	2,6470584
Magnesio	23,0714	1	90	0,02941176	2,6470584
Sodio	4,4714	1	100	0,02941176	2,941176
Boro	0,0112	3	100	0,08823529	8,823529
Hierro	2,6292	3	0	0,08823529	0
Zinc	0,014	1	100	0,02941176	2,941176
E. Coli	424,6364	4	20	0,11764706	2,3529412
$\sum P_i$		34		$ICA = \sum (C_i * W_i)$	69,9999965

Fuente: Investigación de campo, 2008 a 2014.

CUADRO 48
ICA PARA EL RÍO AL OESTE DE SANTA RITA PIEDRA PARADA
EN VERANO

Parámetro	Dato de muestreo	Peso relativo (Pi)	Factor de normalización (Ci)	$W_i = P_i / \sum P_i$	$ICA = \sum (C_i * W_i)$
Temperatura	27,39	1	30	0,02941176	0,8823528
Conductividad	211,0769	3	40	0,08823529	3,5294116
pH	8,13	1	80	0,02941176	2,3529408
Oxígeno Disuelto	6,7264	4	80	0,11764706	9,4117648
Alcalinidad	116,9943	1	90	0,02941176	2,6470584
Cloruro	2,87	1	100	0,02941176	2,941176
Sulfato	<25	2	100	0,05882353	5,882353
Fósforo	0,065	2	90	0,05882353	5,2941177
Dureza	118,6429	1	20	0,02941176	0,5882352
Sol totales	164,5	4	100	0,11764706	11,764706
Calcio	13,8936	1	90	0,02941176	2,6470584
Magnesio	18,6807	1	90	0,02941176	2,6470584
Sodio	4,5536	1	100	0,02941176	2,941176
Boro	0,0104	3	100	0,08823529	8,823529
Hierro	0,8263	3	0	0,08823529	0
Zinc	0,0177	1	90	0,02941176	2,6470584
E. Coli	377,9222	4	30	0,11764706	3,5294118
$\sum P_i$		34		$ICA = \sum (C_i * W_i)$	68,5294083

Fuente: Investigación de campo, 2008 a 2014.



CUNOR

CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE

Universidad de San Carlos de Guatemala



15253

El Director del Centro Universitario del Norte de la Universidad de San Carlos, luego de conocer el dictamen de la Comisión de Trabajos de Graduación de la carrera de:

Geología

Al trabajo titulado:

"Análisis Hidrogeoquímico y Geoquímica de suelos al noreste de Los Amates, Izabal"

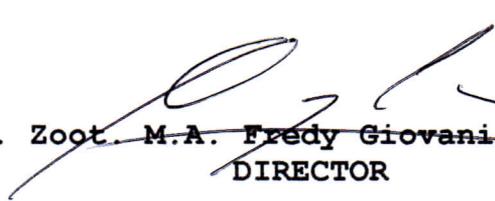
Presentado por el (la) estudiante:

Edin Dany Renaldo Tello Sucup

Autoriza el

IMPRIMASE

"Id y enseñad a todos"


Lic. Zoot. M.A. Fredy Giovanni Macz Choc
DIRECTOR



Cobán, Alta Verapaz noviembre del 2015