



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y
VINCULACIÓN CON LA COLECTIVIDAD**

**MAESTRÍA EN SISTEMAS DE GESTIÓN AMBIENTAL
XI PROMOCIÓN**

**TESIS DE GRADO DE MAESTRÍA EN SISTEMAS DE GESTIÓN
AMBIENTAL**

**TEMA: "ÍNDICES DE SALINIDAD DE LAS AGUAS DE RIEGO
DEL CANTÓN MILAGRO, GUAYAS, ECUADOR"**

AUTOR: PÉREZ MOLINA SONIA ALEXANDRA

DIRECTOR: Ing. CARRERA VILACRÉS DAVID PhD

SANGOLQUÍ

2015

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y
TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA

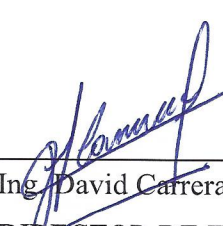
CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR

Ing. David Carrera PhD

CERTIFICA:

Que el trabajo titulado "ÍNDICES DE SALINIDAD DE LAS AGUAS DE RIEGO DEL CANTÓN MILAGRO, GUAYAS, ECUADOR", realizado por la maestrante Sonia Alexandra Pérez Molina, ha sido guiado y revisado periódicamente, cumpliendo con las normas establecidas por el Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, por tanto, se autoriza su presentación para los fines legales pertinentes.

Sangolquí, abril 2015



Ing. David Carrera PhD
DIRECTOR DE TESIS

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y
TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

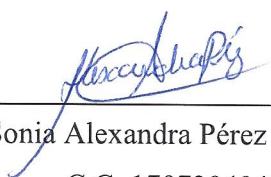
Yo: Ing. Sonia Alexandra Pérez Molina

DECLARO QUE:

La tesis de grado titulada "ÍNDICES DE SALINIDAD DE LAS AGUAS DE RIEGO DEL CANTÓN MILAGRO, GUAYAS, ECUADOR", ha sido desarrollada con base a una profunda investigación, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme a las citas correspondientes, cuyas fuentes constan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico de la tesis de grado en mención.

Sangolquí, abril 2015



Sonia Alexandra Pérez Molina
C.C: 1707304042

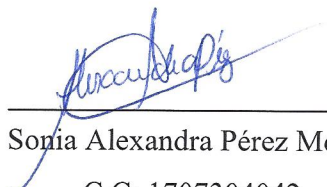
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y
TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA

AUTORIZACIÓN

Yo: Sonia Alexandra Pérez Molina

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, la publicación en la biblioteca virtual de la institución, de mi trabajo denominado: "ÍNDICES DE SALINIDAD DE LAS AGUAS DE RIEGO DEL CANTÓN MILAGRO, GUAYAS, ECUADOR", cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, abril 2015



Sonia Alexandra Pérez Molina
C.C: 1707304042

DEDICATORIA

El presente trabajo logré culminarlo gracias al apoyo incondicional de mi esposo, que siempre estuvo a mi lado impulsándome, primero a continuar mis estudios y luego durante todo el camino recorrido, sin su apoyo no hubiera sido posible llegar a culminar mi carrera de cuarto nivel.

A Mauricio le dedico, éste que creo será mi último esfuerzo como estudiante, a mis hijos Daniela y Ricardo, que tuvieron que pasar sin su mamá por períodos de tiempo prolongados, y supieron entender que el estudio permite la superación de las personas.

A mis padres quienes fueron los que sembraron en mi la semilla de la inquietud y la investigación.

A Dios quien guía e inspira todo el quehacer de nuestras vidas.

AGRADECIMIENTO

Al Doctor David Vinicio Carrera Villacrés, por haberme dado la oportunidad de desarrollar el presente trabajo, para la culminación de mis estudios de Maestría y dirigirme en el proceso, logrando aplicar los conocimientos adquiridos durante mi formación de pregrado y postgrado.

Al Ingeniero Pedro Romero, docente del Departamento de Ciencias de la Vida, al Ingeniero Eduardo Kirbi, docente de Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción, al Ingeniero Nelson Jaramillo, docente del Departamento de Ciencias Exactas, al Doctor Walter Arcos, a la Ingeniera Paulina Guevara y la Licenciada Silvana Granda, docentes de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por su valioso tiempo y el apoyo proporcionado en el desarrollo del presente trabajo.

A todas las personas que de una u otra forma me dieron las facilidades para terminar con éxitos este trabajo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR	ii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE CUADROS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
RESUMEN	xvii
ABSTRACT	xviii
1 CAPITULO I	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	2
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	4
1.5 HIPÓTESIS	5
1.6 OBJETIVO GENERAL	5
1.7 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
2 CAPÍTULO II	7
2.1 MARCO TEÓRICO	7
2.1.1 ANTECEDENTES	7
2.1.2 MARCO TEÓRICO	8
2.1.2.1 Cuenca Hidrográfica	8
2.1.2.2 Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas	13
2.1.2.3 Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas	15
2.1.2.4 Riego	16
2.1.2.5 Objetivos del Riego	17
2.1.2.6 Programación del Riego	17
2.1.3 MARCO CONCEPTUAL	18

2.1.3.1	Uso del agua en la agricultura	18
2.1.3.2	Fuentes contaminantes de las aguas superficiales	18
2.1.3.3	Contaminación del agua por las actividades agropecuarias	19
2.1.3.4	Calidad del agua para uso agrícola	20
2.1.3.4.1	Normas de calidad del agua	21
2.1.3.5	Indicadores de calidad del agua	25
2.1.3.5.1	Sólidos Disueltos Totales (SDT)	27
2.1.3.5.2	Potencial Hidrógeno pH	28
2.1.3.5.3	Fosfato	28
2.1.3.5.4	Nitratos	28
2.1.3.5.5	Temperatura	29
2.1.3.5.6	Conductividad Eléctrica	29
2.1.3.6	Origen de las sales	30
2.1.3.7	Peligro de salinidad sódica	31
2.1.3.8	Causas de la aparición de sodio intercambiable	34
2.1.3.9	Peligro de salinidad	35
2.1.3.10	Clasificación de las aguas de riego con base a la salinidad efectiva	38
2.1.3.11	Clasificación de las aguas de riego con base salinidad potencial	38
2.1.3.12	Relación de adsorción de sodio RAS	39
2.1.3.13	Índice de saturación y la precipitación de carbonato de calcio en función del RAS	41
2.1.3.14	Problemas de infiltración	42
2.1.3.15	Toxicidad de iones específicos	44
2.1.3.15.1	Efecto del cloro	44
2.1.3.15.2	Efecto de las concentraciones de sulfatos	46
2.1.3.15.3	Efecto de las concentraciones de carbonatos y bicarbonatos	46
2.1.3.15.4	Efecto de las concentraciones de nitratos	47
2.1.3.15.5	Efecto de la concentración de fosfatos	48

2.1.3.16	Clasificación hidrogeoquímica	49
3	CAPÍTULO III	53
3.1	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	53
3.1.1	Ubicación geográfica del proyecto de investigación.	53
3.1.2	Identificación de variables/categorías a utilizar en el proceso investigativo	56
3.1.3	Método de investigación, técnicas e instrumentos de recolección y procesamiento de datos e información.	58
3.1.4	Evaluación de resultados y discusión	59
3.1.4.1	Características Biofísicas	59
3.1.4.2	Geología y Suelos	64
3.1.4.3	Hidrología	70
3.1.4.4	Actividades productivas en la parte media y baja de la microcuenca del río Milagro.	71
3.1.4.5	Localización geográfica de los puntos de muestreo	72
3.1.4.6	Análisis estadístico	74
3.1.4.7	Comprobación de la exactitud de los resultados	82
3.1.4.8	Composición y distribución iónica de las aguas	98
3.1.4.9	Clasificación de las aguas en base a la salinidad	102
3.1.4.10	Índices de salinidad efectiva	103
3.1.4.11	Índices de salinidad potencial	108
3.1.4.12	Clasificación de las aguas en base a la sodicidad	112
3.1.4.13	Efecto de las concentraciones CO_3^{2-} y HCO_3^-	128
3.1.4.14	Porcentaje de sodio encontrado	128
3.1.4.15	Porcentaje de sodio posible	131
3.1.4.16	Carbonato de sodio residual	131
3.1.4.17	Clasificación de las aguas por su efecto sobre la infiltración	137
3.1.4.18	Clasificación de las aguas por toxicidad de iones específicos	149
3.1.4.19	Clasificación de las aguas por su dureza	164
3.1.4.20	Clasificación hidrogeoquímica	170

4	CAPÍTULO IV	177
4.1	PLAN DE MANEJO DE LA MICROCUENCA DEL RÍO MILAGRO	177
4.2	GENERALIDADES	177
4.3	MARCO LEGAL	179
4.4	PROBLEMÁTICA POR EL USO DE LAS AGUAS	182
4.5	ESTRATEGIAS AMBIENTALES	183
4.6	ACTIVIDADES	184
5	CAPÍTULO V	185
5.1	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	185
5.1.1	CONCLUSIONES	185
5.1.2	RECOMENDACIONES	189
	BIBLIOGRAFÍA	191
	ABREVIATURAS	198
	ANEXO 1	199
	ANEXO 2	200
	ANEXO 3	201
	ANEXO 4	201
	ANEXO 5	204

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1	Contaminantes comunes del agua y algunas fuentes de contaminación asociadas	20
Cuadro 2	Directrices para interpretar la calidad del agua de riego	27
Cuadro 3	Rangos de salinidad	36
Cuadro 4	Clasificación de las aguas a la salinidad efectiva	38
Cuadro 5	Clasificación de las aguas de riego de acuerdo a salinidad potencial	39
Cuadro 6	Procedimiento para calcular el pH _c teórico de las aguas	42
Cuadro 7	Determinaciones físico químicas del agua	57
Cuadro 8	Datos meteorológicos de la estación milagro	60
Cuadro 9	Geomorfología del cantón Milagro	69
Cuadro 10	Localización geográfica de los puntos de muestreo de la cuenca del Río Milagro	73
Cuadro 11	Autovectores de componentes principales de muestreo en época de lluvia	79
Cuadro 12	Incidencia de los CP en los sistemas hidrográficos de la microcuenca del río Milagro en época de precipitación	79
Cuadro 13	Autovectores de componentes principales de muestreo en época de precipitaciones	80
Cuadro 14	Incidencia de los CP en los sistemas hidrográficos de la microcuenca del río Milagro en época de precipitación	80
Cuadro 15	Porcentaje permisible de diferencia en los resultados analíticos	83
Cuadro 16	Factores de conductividad eléctrica para los iones más comunes encontrados en aguas naturales.	88
Cuadro 17	Clasificación de las aguas del primer muestreo, época de precipitaciones, de las aguas del cantón Milagro en base a la salinidad efectiva.	104
Cuadro 18	Clasificación de las aguas del segundo muestreo, época de estiaje, de las aguas del cantón Milagro en base a la salinidad efectiva	105
Cuadro 19	Clasificación de las aguas del muestreo en época de lluvias de las aguas del cantón Milagro en base a la salinidad potencial	108

Cuadro 20	Clasificación de las aguas del muestreo en época de estiaje de las aguas del cantón Milagro en base a la salinidad efectiva	109
Cuadro 21	Clasificación de las aguas del muestreo en época de precipitación del río Milagro	113
Cuadro 22	Clasificación de las aguas del muestreo en época de estiaje del río Milagro	122
Cuadro 23	Posible efecto del sodio encontrado de las aguas del muestreo en época de lluvias del río Milagro.	129
Cuadro 24	Posible efecto del sodio encontrado de las aguas del muestreo en época de estiaje de la microcuenca del río Milagro.	130
Cuadro 25	Porcentaje de sodio posible de las aguas del muestreo en época de precipitaciones de la microcuenca del río Milagro.	132
Cuadro 26	Porcentaje de sodio posible de las aguas del muestreo en época de estiaje del río Milagro.	133
Cuadro 27	Carbonato de sodio residual del muestreo en época de precipitaciones de la microcuenca del río Milagro.	134
Cuadro 28	Carbonato de sodio residual de las aguas del muestreo en época de estiaje de la microcuenca del río Milagro.	136
Cuadro 29	Clasificación de las aguas en base al efecto sobre la infiltración del muestreo en época de precipitaciones del río Milagro.	142
Cuadro 30	Clasificación de las aguas en base al efecto sobre la infiltración del muestreo en época de estiaje en la microcuenca del río Milagro.	148
Cuadro 31	Clasificación de las aguas del río Milagro en época de precipitaciones según el contenido de cloruros	150
Cuadro 32	Clasificación de las aguas del río Milagro del segundo muestreo según el contenido de cloruros.	151
Cuadro 33	Clasificación de las aguas del cantón Milagro primer muestreo, época de precipitaciones, de acuerdo al contenido de sodio	153
Cuadro 34	Clasificación de las aguas del cantón Milagro segundo muestreo, época de estiaje, de acuerdo al contenido de sodio	154
Cuadro 35	Clasificación de las aguas del muestreo en época de precipitaciones de las aguas del cantón Milagro de acuerdo a la concentración de fosfatos	156
Cuadro 36	Clasificación de las aguas del segundo muestreo, época de estiaje, de las aguas del cantón Milagro de acuerdo a la concentración de fosfatos	158
Cuadro 37	Clasificación de las aguas del muestreo en época de precipitaciones de las aguas del cantón Milagro de acuerdo a la concentración de nitratos	161
Cuadro 38	Clasificación de las aguas del segundo muestreo, época de estiaje de las aguas del cantón Milagro de acuerdo a la concentración de nitratos	164
Cuadro 39	Clasificación de las aguas por su dureza y la posibilidad de precipitación de CaCO_3 en época de lluvias de las aguas del cantón Milagro	166

Cuadro 40	Clasificación de las aguas por su dureza y a la posibilidad de precipitación del CaCO_3 del muestreo en época de estiaje de las aguas del cantón Milagro	167
Cuadro 41	Clasificación hidrogeoquímica de las aguas del primer muestreo, época de precipitaciones, de la microcuenca del río Milagro	172
Cuadro 42	Clasificación hidrogeoquímica de las aguas en época de estiaje del cantón Milagro	175

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Partes de una cuenca	10
Figura 2	División de una cuenca hidrográfica	11
Figura 3	Mapa de la Cuenca Hidrográfica del río Milagro	12
Figura 4	Reducción relativa de la infiltración, provocada por la salinidad y la relación de absorción de sodio. FAO (1976).	44
Figura 5	Diagrama de Piper	51
Figura 6	Ubicación geográfica del cantón Milagro	54
Figura 7	Temperatura media del aire (°C)	61
Figura 8	Precipitación total (mm)	62
Figura 9	Evaporación potencial media (mm)	63
Figura 10	Tipos de suelos del cantón Milagro.	68
Figura 11	Localización geográfica de los puntos de muestreo del río Milagro.	75
Figura 12	Relación componente principal 1 y componente principal 2 para el muestreo de aguas de la microcuenca del río Milagro en época de lluvia	81
Figura 13	Relación componente principal 1 y componente principal 2 para el muestreo de aguas de la microcuenca del río Milagro en época de estiaje	82
Figura 14	Relación entre la concentración de cationes y la conductividad eléctrica en época de precipitaciones de la microcuenca del río Milagro.	84
Figura 15	Relación entre la concentración de aniones y la conductividad eléctrica en época de precipitaciones de la microcuenca del río Milagro.	85
Figura 16	Relación entre la concentración de cationes y la conductividad eléctrica en época de estiaje de la microcuenca del río Milagro	86
Figura 17	Relación entre la concentración de aniones y la conductividad eléctrica en época de estiaje de la microcuenca del río Milagro	86
Figura 18	Relación entre los sólidos totales disueltos y la concentración eléctrica en época de estiaje de la microcuenca del río Milagro	87
Figura 19	Relación entre los sólidos totales disueltos y la concentración eléctrica en época de estiaje de la microcuenca del río Milagro	87
Figura 20	Relación entre la conductividad eléctrica experimental y la conductividad eléctrica teórica en época de precipitaciones en la microcuenca del río Milagro	89
Figura 21	Relación entre la conductividad eléctrica experimental y la conductividad eléctrica teórica del muestreo en época de estiaje de la microcuenca del río Milagro	89

Figura 22	Distribución de frecuencias de la conductividad eléctrica del muestreo en época de precipitación de la subcuenca del río Milagro	90
Figura 23	Distribución de frecuencias de la conductividad eléctrica en época de estiaje de la microcuenca del río Milagro.	91
Figura 24	Distribución de frecuencias de sólidos totales disueltos en época de precipitaciones de la microcuenca del río Milagro	91
Figura 25	Distribución de frecuencias de sólidos totales disueltos en época de estiaje de la microcuenca del río Milagro	92
Figura 26	Distribución espacial de la calidad del agua de riego en base de la conductividad eléctrica época de precipitaciones de la microcuenca del río Milagro	94
Figura 27	Mapa de distribución de frecuencias de la conductividad eléctrica (mS cm^{-1}) de la subcuenca del río Milagro.	95
Figura 28	Mapa de distribución de frecuencias de sólidos totales disueltos (mg L^{-1}) de la subcuenca del río Milagro.	96
Figura 29	Mapa de distribución de frecuencias de sólidos totales disueltos (mg L^{-1}) del muestreo en época de estiaje de la microcuenca del río Milagro	97
Figura 30	Composición iónica de las aguas en época de precipitaciones de la red hidrográfica del río Milagro	100
Figura 31	Composición iónica de las aguas en época de baja precipitación de la red hidrográfica del río Milagro	101
Figura 32	Distribución espacial de la calidad del agua de la microcuenca del río Milagro en base a la Salinidad efectiva, en época de lluvias.	106
Figura 33	Distribución espacial de la calidad del agua de la microcuenca del río Milagro en base a la Salinidad efectiva, en época de estiaje.	107
Figura 34	Distribución espacial de la calidad del agua de la microcuenca del río Milagro en base a la Salinidad potencial, en época de lluvia.	110
Figura 35	Distribución espacial de la calidad del agua de la microcuenca del río Milagro en base a la Salinidad potencial, en época de estiaje.	111
Figura 36	Diagrama de clasificación de las aguas para riego citada por Richards et al. (1954), época de precipitaciones de la microcuenca del río Milagro (RAS original)	115
Figura 37	Diagrama de clasificación de las aguas para riego citada por Richards et al. (1954), época de precipitaciones de la microcuenca del río Milagro (RASaj)	116
Figura 38	Diagrama de clasificación de las aguas para riego citada por Richards et al. (1959), época de precipitaciones de la microcuenca del río Milagro (RAS)	117
Figura 39	Diagrama de clasificación de las aguas para riego citada por Richards et al. (1954), del segundo muestreo, época de estiaje, del río Milagro (RASoriginal)	119
Figura 40	Diagrama de clasificación de las aguas para riego citada por Richards et al. (1959), del muestreo en época de estiaje del río Milagro (RASaj).	120
Figura 41	Diagrama de clasificación de las aguas para riego citada por Richards et al. (1959), del segundo muestreo, época de estiaje, del río Milagro (RAS°).	121

Figura 42	Distribución espacial de la salinidad del agua de la microcuenca del río Milagro en base al RAS_{aj} , en época de estiaje.	124
Figura 43	Distribución espacial de la salinidad del agua de la microcuenca del río Milagro en base al RAS_{aj} , en época de estiaje.	125
Figura 44	Relaciones PSI-RAS del muestreo en época de lluvias, para las expresiones a) $PSI-RAS_{orig}$ b) $PSI-RAS_{aj}$ c) $PSI-RAS^{\circ}$.	126
Figura 45	Relaciones PSI-RAS del muestreo en época de estiaje, para las expresiones a) $PSI-RAS_{orig}$ b) $PSI-RAS_{aj}$ c) $PSI-RAS^{\circ}$.	127
Figura 46	Reducción relativa de la infiltración de las aguas del primer muestreo, época de precipitaciones de la microcuenca del río Milagro provocada por la salinidad y la adsorción de sodio original	139
Figura 47	Reducción relativa de la infiltración de las aguas del primer muestreo, época de precipitaciones de la microcuenca del río Milagro provocada por la salinidad y la adsorción de sodio ajustado	140
Figura 48	Reducción relativa de la infiltración de las aguas del primer muestreo, época de precipitaciones en la microcuenca del río Milagro provocada por la salinidad y la adsorción de sodio corregido	141
Figura 49	Reducción relativa de la infiltración de las aguas del muestreo en época de estiaje del río Milagro provocada por la salinidad y la adsorción de sodio original	145
Figura 50	Reducción relativa de la infiltración de las aguas en época de estiaje del río Milagro provocada por la salinidad y la adsorción de sodio ajustado	146
Figura 51	Reducción relativa de la infiltración de las aguas en época de estiaje del río Milagro provocada por la salinidad y la adsorción de sodio corregido	147
Figura 52	Concentración de fosfatos ($mg\ L^{-1}$) del muestreo en época de precipitaciones de las aguas del cantón Milagro	157
Figura 53	Concentración de fosfatos ($mg\ L^{-1}$) del segundo muestreo, época de estiaje, de las aguas del cantón Milagro	159
Figura 54	Concentración de nitratos ($mg\ L^{-1}$) del muestreo en época de precipitaciones en las aguas del cantón Milagro.	162
Figura 55	Concentración de nitratos ($mg\ L^{-1}$) del muestreo época de estiaje en las aguas del cantón Milagro.	163
Figura 56	Mapa de distribución espacial en base a la dureza del muestreo en época de lluvia de la microcuenca del río Milagro	168
Figura 57	Mapa de distribución espacial en base a la dureza del muestreo en época de estiaje de la microcuenca del río Milagro	169
Figura 58	Clasificación hidrogeoquímica de las aguas del muestreo en época de precipitaciones de las aguas del cantón Milagro.	173
Figura 59	Clasificación hidrogeoquímica de las aguas del segundo muestreo en época de estiaje del cantón Milagro	176

RESUMEN

La agricultura ocupa el 94% del suelo en el cantón Milagro lo que hace relevante estudiar sus aguas de irrigación y los efectos adversos que puede provocar en los terrenos donde se utilizan. En el presente trabajo se plantearon como objetivos conocer la salinidad, fosfatos, nitratos y su efecto en los suelos, a través de la infiltración hacia la zona radical y medir las concentraciones de P-PO_4^{3-} y N-NO_3^- y establecer índices para conocer los efectos sobre los suelos, de las aguas de riego. La investigación fue de tipo no experimental, transversal, descriptiva, con muestreo a juicio del experto en 40 estaciones, durante dos estaciones del año, en estiaje y en precipitaciones, la primera en Diciembre de 2012 y la segunda en Junio de 2013. En cada muestra de agua se determinó: cationes, aniones, pH, conductividad eléctrica, residuo seco evaporado y calcinado, fosfatos y nitratos. Se calculó el Índice de Saturación y las modificaciones de la relación de adsorción de sodio (RAS). La mayoría de las concentraciones fueron menores a $100 \mu\text{S cm}^{-1}$ en precipitación, hecho que perjudica la infiltración del suelo; en el poblado Banco de Arena existieron concentraciones mayores a $290 \mu\text{S cm}^{-1}$, sin embargo en estiaje, las concentraciones tuvieron un incremento importante, tratándose de aguas de salinidad media y alta. Las concentraciones de P-PO_4^{3-} en los orígenes de los ríos fueron bajas, de 0.023 mg L^{-1} a 1.37 mg L^{-1} , pero cuando se ingresa a los poblados varía de 9.0 mg L^{-1} a 49.65 mg L^{-1} acelerando la eutrofización, el comportamiento es similar en las dos épocas de muestreo. Las concentraciones de N-NO_3^- estuvieron bajo el límite máximo permisible. Así, los suelos y ríos están afectados.

PALABRAS CLAVE:

- **CALIDAD DEL AGUA**
- **RIEGO**
- **EUTROFIZACIÓN**
- **ÍNDICE DE SATURACIÓN**
- **SODICIDAD**
- **RELACIÓN DE ADSORCIÓN DE SODIO, RAS.**

ABSTRACT

Agriculture occupies 94% of the land in the Canton Milagro making relevant to study irrigation waters and the adverse effects caused in the land where they are used. The objectives of this study were to determine the salinity, phosphate, nitrate and its effect on soil through infiltration into the root zone. Also, measure the concentrations of P-PO_4^{3-} and N-NO_3^- and established rates for the effects on soils. The study was not experimental, transversal, descriptive trial with 40 sampling stations from October to December 2012. Of each water sample was determined: cations, anions, pH, electrical conductivity, evaporated and calcined dry residue, phosphates and nitrates. We calculated the saturation index and changes in the sodium adsorption ratio (SAR). Most concentrations were below $100 \mu\text{S cm}^{-1}$ in precipitation, a fact that jeopardizes soil infiltration; in populated Banco de Arena existed concentrations greater than $290 \mu\text{S cm}^{-1}$. However in low water concentrations had a significant increase in the case of water of medium and high salinity. The concentrations of P-PO_4 in the origins of the rivers were low, 0.023 mg L^{-1} to 1.37 mg L^{-1} , but when entering the villages varies from 9.0 mg L^{-1} to 49.65 mg L^{-1} accelerating eutrophication, the behaviour is similar in the two sampling periods. The $\text{NO}_3\text{-N}$ concentrations were below the maximum permissible limit. Thus, soils and rivers are affected.

KEY WORDS:

- **QUALITY OF THE WATER**
- **IRRIGATION**
- **EUTROPHICATION**
- **SATURATION INDEX**
- **GLOBAL WARMING**
- **SODICITY AND SODIUM ADSORPTION RATIO, SAR.**

CAPÍTULO I

1.1 INTRODUCCIÓN

El agua es el recurso más importante para el desarrollo agrícola sostenible, su aprovechamiento, utilización y conservación constituye uno de los elementos fundamentales en cualquier estrategia de desarrollo.

El consumo total de agua para la actividad agrícola se estima es del 80% del total, pero no solo el volumen es importante sino también se debe asegurar la calidad del agua que se destina para riego. El agua de riego debe cumplir con propiedades físicas, químicas y biológicas adecuadas para que no afecten las propiedades de los productos de consumo humano, ni la calidad del suelo (Menares, 2008).

La contaminación de los productos agrícolas por el uso de aguas contaminadas por residuos químicos, metalúrgicos, escurrimiento de pesticidas u otros, es cada vez mayor, la demanda de agua impulsada por un mejor nivel de vida y la producción de alimentos, crece al doble que la de la población, el crecimiento de la población es exponencial (Menares, 2008).

En la mayoría de zonas agrícolas del Ecuador se usa aguas contaminadas para regar diversos tipos de cultivos, sin conciencia del potencial tóxico de este recurso, por lo tanto es primordial el análisis del agua que se va a utilizar para este propósito. Este es el caso del cantón Milagro, que utiliza aguas residuales que son vertidas a la cuenca del río Milagro proveniente de las diversas poblaciones del cantón y de otras descargas que pese a la normativa existente sobre descargas a los cuerpos de agua, su cumplimiento no es del todo estricto. Sin embargo, utilizar aguas limpias para regar hoy en día, resulta un escenario incierto para la mayoría de productores, por ello el uso de agua reciclada es cada vez mayor (Menares, 2008).

La calidad del agua, el uso que se le da y su disponibilidad es de vital importancia desde todo punto de vista, tanto económico como ecológico y político. El agua sigue siendo uno de los grandes retos mundiales; tan sólo, su insalubridad

cuesta la vida a más de 3 millones de personas al año. Un problema que, redoblado por su escasez, provoca 3 350 millones de casos anuales de enfermedades y más aún cuando es usada para producir alimentos (PNUMA, 2002).

La implementación de un sistema de gestión ambiental para el uso de las aguas de riego en el cantón Milagro, se hace indispensable proponer para elevar la productividad, promover un acceso equitativo al agua y conservar los recursos, mejorar y optimizar el recurso, revisar las posibles fuentes de obtención y asegurarse de que la calidad del agua sea la adecuada, evitando complicaciones a futuro difíciles de remediar y que pueden ser prevenidas con una buena gestión del agua (UNESCO, 2003).

La gestión del agua en la agricultura de regadío, es decisiva para lograr el incremento de la productividad, juega un papel esencial en la producción y seguridad de los alimentos. Desde los años 50 a nivel mundial, la gestión del agua, ha sido uno de los principales elementos de las técnicas de la revolución verde basadas en la aplicación de fertilizantes y la utilización de variedades de gran rendimiento, y ha contribuido a incrementar la productividad alrededor del 100 por ciento desde 1960 (UNESCO, 2003).

El agua para regadío proviene de diversas fuentes entre las que se puede mencionar, y el que ahora es uno de los más importantes en el cantón, es precisamente la de reuso del agua municipal y agua de drenaje, aguas que pueden tener efectos adversos en la salud pública y en el medio ambiente, por lo tanto, es imprescindible que todos estos factores sean tomados en cuenta en la gestión del agua reciclada (UNESCO, 2003).

1.2 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

La zona de investigación del proyecto es una de las zonas de mayor productividad del país, pues su baja altura, cota máxima 65 msnm, con un desnivel relativo de 15 a 30 m, permite un cultivo semipermanente de banano, cacao y caña de azúcar, productos de exportación generadores de grandes divisas para el Ecuador. El

conocer la calidad del agua de riego, así como también el manejo adecuado del riego son esenciales para la producción exitosa de cultivos. La calidad del agua utilizada para irrigación es determinante para la producción y calidad en la agricultura, mantenimiento de la productividad del suelo de manera sostenible y protección del medio ambiente. Por ejemplo, las propiedades físico- químicas del suelo, (estructura del suelo, estabilidad de los agregados) y permeabilidad son características del suelo muy susceptibles al tipo de iones intercambiables que provengan del agua de riego.

Dados estos antecedentes se hace prioritario establecer una línea base sobre la composición fisicoquímica de las aguas que se utiliza para regar las basta plantaciones del lugar, que permita conocer si las aguas de riego son o no adecuadas para el óptimo desarrollo agrícola de la región y si están provocando algún detrimento en los suelos y cultivos. Además, con el estudio que se desarrolló, se podrá proponer recomendaciones para utilizar de mejor manera los recursos hídricos existentes en la región.

Hasta la fecha la prioridad de las investigaciones fueron orientadas a la composición orgánica de las aguas, dejando de lado otros factores como aniones y cationes inorgánicos, desconociendo que concentraciones fuera de los límites permitidos, podrían causar problemas de disminución en el crecimiento de las plantaciones, por la dificultad de absorción del agua o desgastes inadecuados de los suelos. Por otro lado, la deficiencia de sales en las aguas de riego puede ser perjudicial para los suelos en especial si se trata de suelos de baja permeabilidad (Blasco y Rubidia, 1973). Las sales aportadas por el agua son a menudo la causa principal de la salinidad del suelo.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La zona del cantón Milagro provincia del Guayas, es una de las regiones de mayor producción agrícola del país, entre las principales actividades económicas sobresalen las plantaciones de caña de azúcar, cacao, banano, entre otras. Gran cantidad de viveros en donde se cultivan una variedad de plantas ornamentales. Destacan la Industria Azucarera Valdez, Ecoelectric que es una compañía dedicada a

la producción de energía eléctrica a partir del bagazo (residuos) de la caña de azúcar, intensa actividad comercial formal e informal con un consumo elevado de agua para irrigación alrededor de un 80% del consumo total de agua. Esto hace necesario conocer las condiciones del agua que se usa para regar esta zona, para el cultivo.

El objetivo de este trabajo fue analizar las agua de riego del cantón milagro, pH, conductividad eléctrica, cationes, aniones, fosfatos y nitratos. Su presencia en elevadas concentraciones, pone en riesgo cultivos sensibles no solo a corto plazo sino cuando se alcance niveles de toxicidad importantes. También altas concentraciones de estos iones puede provocar taponamiento en las tuberías de riego, lo que provocaría que el agua llegue de manera desigual a todo el cultivo (Valdés, 2004). El agua de riego debe mantener características físicas y químicas que no alteren el desarrollo y la calidad de los productos de consumo humano, ni que se vean afectadas por productos químicos fruto del uso de pesticidas, producción industrial y metalurgia.

La contaminación de los cuerpos hídricos crece significativamente debida a la actividad antrópica, utilizar este tipo de aguas para regadío de diversos tipos de cultivos, expone a un potencial tóxico de este recurso.

La existencia de una empresa productora de ácido sulfúrico en la región, preocupa por las descargas que puede realizar al entorno y los problemas que éstas causarían en el agua y en el suelo de la región.

1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El conocimiento de la dinámica del suelo a escala de tiempo humano, es una necesidad crucial en el manejo de los recursos naturales en el siglo XXI, muchas propiedades del suelo pueden cambiar como resultado del manejo del suelo o incluso factores naturales como la sequía y las inundaciones, lo que afectaría el rendimiento del suelo.

Por otro lado, CLIRSEN (2009) indica en su estudio que la geomorfología del cantón ha sufrido muchos cambios, en especial los bancos y diques aluviales, se

identificó que alrededor de 1200 ha dejaron de serlo, principalmente por el descenso en el costo del cacao y el café y el ascenso en productos como la caña de azúcar y el arroz, por lo que los campesinos arrasaban con los horizontes mólicos en busca de capas arcillosas que aguantaran los nuevos cultivos.

1.5 HIPÓTESIS

La zona donde se localiza el cantón tiene una velocidad de evaporación superior a la de precipitación, lo que lleva a pensar que el agua de riego del cantón Milagro tendrá un índice de salinidad elevado superior a 1gL^{-1} , que podrían provocar graves problemas medioambientales. Con este estudio se podría comprender mejor los procesos geoquímicos que ocurren entre aguas, suelo y cultivos.

Existe un inadecuado manejo de los recursos naturales en la microcuenca y la alta probabilidad de inundaciones en la zona, podrían causar problemas de infiltración, de salinidad y sodificación de las aguas.

1.6 OBJETIVO GENERAL

Determinar los índices de salinidad del agua para riego del cantón Milagro en la provincia del Guayas y determinar su influencia en los cultivos de la región, conociendo que es una zona altamente agrícola.

1.7 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la concentración de iones Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} y NO_3^- , en las aguas de riego del cantón Milagro.
- Calcular los índices de salinidad de las aguas de riego en el cantón Milagro y su relación con los suelos.
- Determinar la calidad de agua, desde el punto de vista de riego, en la microcuenca media y baja del río Milagro, con base en información secundaria.

- Aplicar la técnica estadística de Análisis Multivariado de Componentes Principales, para reducir al menor número posible las variables, con el objeto de dimensionar la contaminación ambiental.
- Establecer las bases técnicas mínimas que se requiere conocer para estar en posibilidades de solucionar las causas y efectos del ensalitramiento de los suelos, así como para combatirlos cuando éstos ya se presentaron.
- Diseñar un sistema de gestión basado en los resultados del análisis de las aguas de riego del cantón, que darían solución a los posibles problemas causados por los índices de salinidad de las aguas.

CAPÍTULO II

2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1 ANTECEDENTES

El agua, ya sea que provenga directamente de la lluvia o de fuentes naturales, es vida para los seres humanos, los animales y sustento para la agricultura. Ningún otro elemento es considerado tan vital como ella y su escasez causa problemas de salud, migración y hasta conflictos sociales, por la competencia por este recurso, por ser tan importante. Existe un amplio consenso acerca de que los conflictos futuros serán a causa de la carencia del agua, en varias partes del mundo (PASOLAC, 2006).

En la actualidad, la gran cantidad de agua que se requiere para regadío proviene de aguas residuales, que conllevan un tratamiento previo antes de ser utilizadas como aguas de riego agrícola. Se entiende por uso agrícola, el uso de aguas para regar cultivos agrícolas destinados al consumo directo alimenticio humano y animal, y consumo indirecto industrial (alimentos procesados como conservas y azúcar y productos textiles de origen vegetal) (CEDEX, 2013).

El crecimiento exponencial de la población, obliga a todos los países a satisfacer la gran demanda de alimentos, destinando más del 50% de su territorio a la producción de alimentos y utilizando grandes cantidades del recurso agua para el efecto (USDA, 2013). La relación agua-suelo-planta ha sido siempre de gran importancia en los estudios de riego y drenaje, sin embargo, en el campo de los recursos hídricos y ambientales, siempre ha sido relegado a un segundo plano y por lo general se ha recurrido a generalizaciones simplistas. En general la referencia a este tema se ha limitado a su inclusión en el ciclo hidrológico y en los balances hídricos. En éstos se mencionan variables y parámetros como: humedad del suelo, infiltración, evapotranspiración, percolación y otros, sin embargo no se enfatiza la importancia de los mismos. Aún en áreas de mucha lluvia la escasez de agua puede limitar el desarrollo de las plantas. Esto puede atribuirse a una errática distribución

de lluvia, a una alta escorrentía o a una infiltración profunda en suelos con baja capacidad de retención de agua (López L. M., 1978).

Para la producción vegetal es necesario conocer las relaciones suelo-agua-planta y a nivel de medio ambiente este conocimiento es muy importante, puesto que es necesario considerar la conservación del ambiente y en ese sentido se debe incluir los aspectos de fauna y calidad de vida para los seres humanos (López L. M., 1978).

2.1.2 MARCO TEÓRICO

2.1.2.1 Cuenca Hidrográfica

Según Ramakrishna (1997), cuenca hidrográfica se define como un área natural en la que el agua proveniente de la precipitación forma un curso principal de agua; además es aquella unidad fisiográfica conformada por el conjunto de sistemas de cursos de agua definidos por el relieve. La cuenca está conformada por componentes biofísicos (agua, suelo), biológicos (flora y fauna) y humanos (socioeconómicos, culturales, institucionales), que guardan interrelación y equilibrio entre sí, de manera que si se afecta alguno de estos componentes, se produce un desbalance que pone en peligro la cuenca como un sistema.

Indica además que en la cuenca hidrográfica se encuentran los recursos naturales, la infraestructura que el hombre ha creado, allí el hombre desarrolla sus actividades económicas y sociales generando diferentes efectos favorables y no favorables para el bienestar humano. No existe ningún punto de la tierra que no pertenezca a una cuenca hidrográfica (Ramakrishna, 1997).

El autor, Ramakrishna (1997), clasifica las cuencas tomando en cuenta los siguientes criterios:

Por su tamaño geográfico: Las cuencas hidrográficas pueden ser grandes, medianas o pequeñas, por ejemplo para Centroamérica la cuenca del río Lempa (El Salvador), Chixoy (Guatemala), Reventazón (Costa Rica) pueden considerarse cuencas grandes, en el contexto de Centroamérica, sin embargo, éstas en tamaño son

pequeñas si se comparan con la cuenca del río Amazonas o la cuenca del Plata en Sudamérica. De allí que en cuanto a tamaño y complejidad, los conceptos de pequeñas cuencas o microcuencas, pueden ser muy relativos cuando se desarrollen acciones, se recomienda entonces utilizar criterios conjuntos de comunidades o unidades territoriales manejables desde el punto de vista hidrográfico.

Por su Ecosistema: También existen otras consideraciones acerca de las cuencas hidrográficas, el medio o el ecosistema en la que se encuentran, establecen una condición natural, así tenemos, las cuencas áridas, cuencas tropicales, cuencas húmedas y cuencas frías.

Por su Objetivo: Por su vocación, capacidad natural de sus recursos, objetivos y características, las cuencas pueden denominarse, hidroenergéticas, para agua poblacional, agua para riego, agua para navegación, ganaderas, hortícolas y municipales.

Considerando el relieve y accidentes del terreno, las cuencas pueden denominarse planas, cuencas de alta montaña, cuencas accidentadas o quebradas.

La cuenca es la unidad territorial más adecuada para la gestión de los recursos naturales en general y de los recursos hídricos en particular. La Secretaría General de la Comunidad Andina SGCAN y la oficina sudamericana de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza UICN Sur, vienen elaborando en conjunto con las autoridades nacionales de aguas de los países comunitarios el Mapa de Delimitación y Codificación de Unidades Hidrográficas de la Comunidad Andina a la escala 1: 250 000 y hasta el nivel 5 según la metodología de Pfafstetter (Ruiz, 2008).

Una cuenca hidrográfica se puede decir que está compuesta por determinadas partes, según el criterio que se utilice, por ejemplo:

- a) Criterio 1 Altitud: Si el criterio utilizado es la altura, se podrían distinguir la parte alta, media y baja, sucesivamente, en función de los rangos de altura que tenga la cuenca. Si la diferencia de altura es significativa y varía

de 0 a 2 500 msnm, es factible diferenciar las tres partes, si esta diferencia es menor, por ejemplo de 0 a 1000 msnm, posiblemente sólo se distingan dos partes, y si la cuenca es casi plana será menos probable establecer partes. Generalmente este criterio de la altura, se relaciona con el clima y puede ser una forma de establecer las partes de una cuenca. (Figura 1)

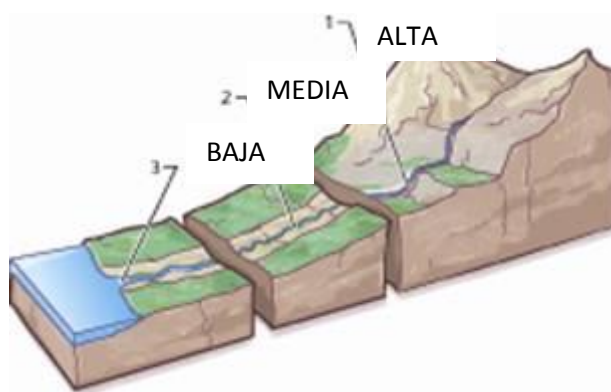


Figura 1. Partes de una cuenca

Fuente: Manual de Decodificación de cuencas

- b) Criterio 2 Topografía: Otro criterio muy similar al anterior es la relación con el relieve y la forma del terreno, las partes accidentadas forman las montañas y laderas, las partes onduladas, casi planas y planas, forman los valles; y finalmente otra parte es la zona por donde discurre el río principal y sus afluentes, a esta se le denomina cauce.

La cuenca hidrográfica puede dividirse en espacios definidos por la relación entre el drenaje superficial y la importancia que tiene con el curso principal. El trazo de la red hídrica es fundamental para delimitar los espacios en que se puede dividir la cuenca. A un curso principal llega un afluente secundario, este comprende una subcuenca. Luego al curso principal de una subcuenca, llega un afluente terciario, este comprende una microcuenca, además están las quebradas que son cauces menores (WORD, 2014) (Figura 2).



Figura 2. División de una cuenca hidrográfica

Fuente: Word Vision

La cuenca del Río Milagro trazada en función de Nivel 4, método Pfafstetter, SENAAGUA, 1:200000, está en la Figura 3. La metodología para asignar identificadores a unidades de drenaje, consiste en asignar a cada unidad hidrográfica un código numérico, basado en su ubicación dentro del sistema de drenaje, de tal forma que éste código es único en todo el continente. Para iniciar el proceso de codificación se debe en principio determinar el curso del río principal de la unidad que se va a codificar, se determinan las cuatro unidades hidrográficas de tipo cuenca, que son las cuatro unidades de mayor área que confluyen al río principal. Las cuatro unidades tipo cuenca se codifican con los dígitos pares 2, 4, 6 y 8, desde aguas abajo hacia aguas arriba. Las otras áreas de drenaje se agrupan en unidades hidrográficas de tipo intercuenca y se codifican también, desde aguas abajo, con los dígitos impares 1, 3, 5, 7 y 9.

Por la metodología de delimitación y codificación de las unidades hidrográficas, el código 9 siempre resulta o se reserva para la unidad de drenaje de mayor tamaño de la parte superior de la cuenca. Cada una de las unidades de drenaje de tipo cuenca o intercuenca, delimitadas y codificadas en un determinado nivel, se pueden a su vez subdividir y codificar siguiendo exactamente el proceso antes descrito.

ESCALA: 1:200.000

MAPA DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO MILAGRO

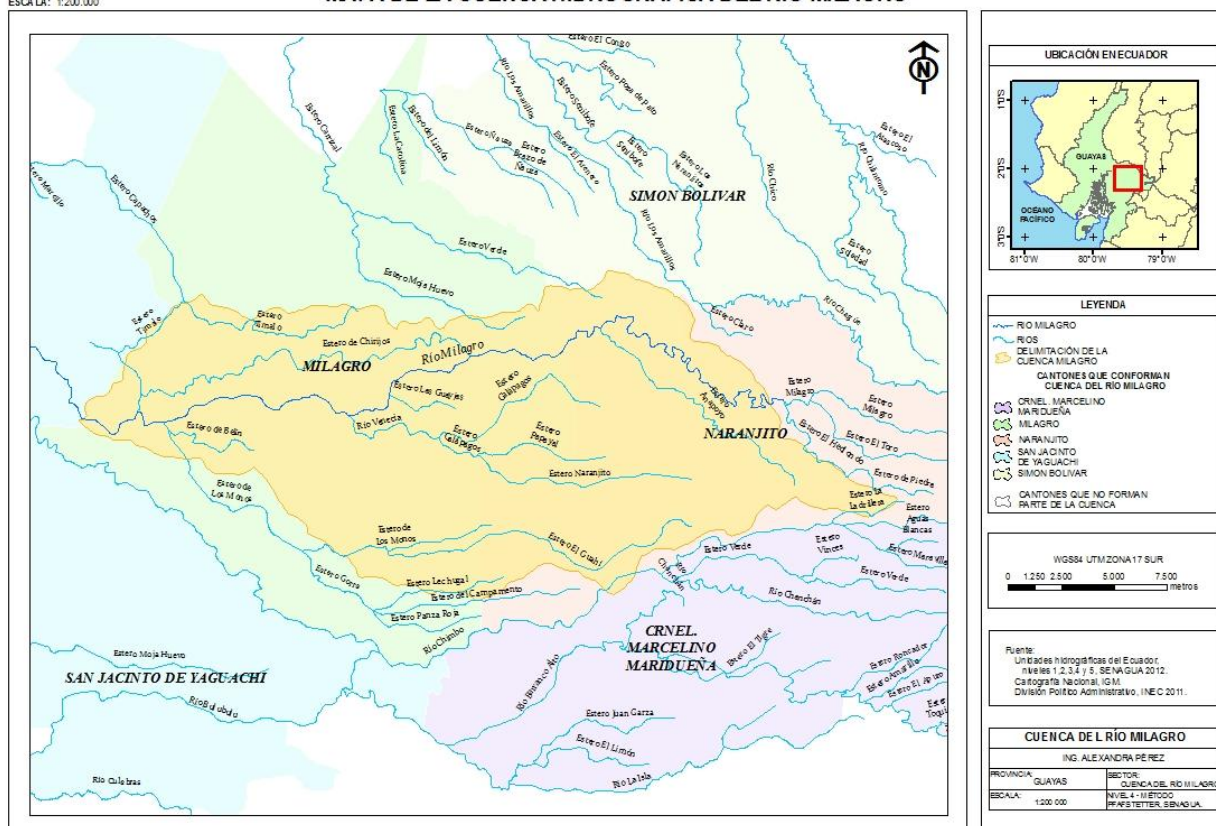


Figura 3. Mapa de la Cuenca Hidrográfica del río Milagro

2.1.2.2 Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas

El manejo y conservación del agua es de especial importancia. En años recientes una amplia investigación confirma la creciente carencia de agua para propósitos de consumo humano e irrigación. La razón principal es la deforestación continua y la contaminación de las cuencas hidrográficas que almacenan y producen agua en las tierras altas en América Latina (WORD, 2014).

Montico (2002), considera el valor de la cuenca como una unidad lógica de planificación, que obliga explícitamente a reconocer que el desarrollo basado sobre la tierra o recurso, depende de la interacción de las actividades que en ella tienen lugar, implica su ordenamiento, la definición de objetivos y finalidades, el relevamiento de los factores y elementos que interactúan en la cuenca, el diagnóstico de situación, la planificación de acciones, el control y verificación de procedimientos, y la evaluación económica.

El reconocimiento y planificación de la cuenca es un trabajo preliminar que permite, si su concepción y ejecución son apropiadas, la realización con éxito de una verdadera ordenación de la cuenca. Es una tarea permanente, donde nuevos elementos, tanto artificiales como naturales, pueden constituir un factor de cambio en cualquier momento, debe concebirse como un proceso continuo y flexible. Los componentes de los cursos de acción para la implementación de un proyecto de cuencas, se jerarquizan a continuación:

- 1- Recuperación destinada a la corrección de errores heredados del uso de la tierra.
- 2- Prácticas de protección.
- 3- Integración de prácticas orientadas al desarrollo de los recursos agropecuarios, hídricos, silvícolas, y faunísticos, para la sustentabilidad de los sistemas productivos.

Más allá de la concepción hídrica que se plantea cuando se considera una cuenca, debe interpretarse a la misma como un campo operacional de interacciones humanas y naturales.

Los límites políticos y de las propiedades terrenas, raramente coinciden con los de la cuenca, y a menudo entorpecen todo intento de planificación del desarrollo en la misma. Una de las necesidades básicas para el abordaje de soluciones a nivel de cuenca, es la definición de sus problemas, así será posible iniciar un análisis preliminar. Su finalidad principal es la de conocer los principales condicionantes para el desarrollo de la cuenca, siendo posible contemplar las siguientes actividades:

- El relevamiento de la información a pequeña escala sobre la dimensión de los problemas físicos de la cuenca, a fin de extremar la búsqueda futura de relaciones directas o indirectas con aspectos tecnológicos.
- La disposición de documentos cartográficos de apoyo, como mapas, fotos, imágenes satelitales, etc.
- La caracterización de los esquemas productivos más representativos.
- El reconocimiento y categorización de los actores sociales e institucionales, que están involucrados con la cuenca: familia rural, técnicos, mano de obra asalariada, empresas privadas proveedoras de insumos y servicios, cooperativas, acopiadores, etc.

Las posibilidades de ordenamiento de una cuenca pueden verse afectadas por obstáculos, que dificulten, o hasta impidan alcanzar los objetivos propuestos:

- Los intereses políticos (y personales) que sean susceptibles de ser alterados por acciones en la cuenca, podrían establecer modificaciones en cuanto a los tipos, prioridades y desarrollo en el tiempo de las tareas necesarias a emprender.
- Los objetivos públicos pueden no coincidir siempre con los intereses particulares.
- La planificación de uso de la tierra en la cuenca, puede no ser aceptada por quienes deban ejecutarla, por razones económicas, costumbres, disponibilidad de mano de obra, etc.

- La planificación integral del uso de los recursos, principalmente los naturales, quizás no sea atractiva para los destinatarios, por tener beneficios (al momento) intangibles.
- La densidad de habitantes (opiniones/decisión) presentes en una cuenca, conspira contra la unificación de criterios, cuando se pretenda modificar hábitos y tradiciones productivas.
- La presión de la velocidad de generación de las innovaciones tecnológicas, tiende a aislar al destinatario, transformándolo en un referente individual, en desmedro de la conciencia colectiva.
- La disparidad en la capacidad capital de las empresas rurales ubicadas en la cuenca, puede obstaculizar los emprendimientos de conjunto.

2.1.2.3 Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas

En el manejo integral de cuencas, es fundamental tomar en cuenta además de los atributos de la tierra y de los recursos hídricos, el factor socioeconómico.

La consideración de la gestión del agua por cuenca es el más apropiado, sin embargo, este espacio puede revelarse como “restringido” cuando existen, por ejemplo, transvases de agua de una cuenca a otra o cuando pequeños grupos con poderes influyen sobre el conjunto de sectores en la gestión del agua o cuando existen cruces importantes o superposición de competencias o funciones relativas a la gestión del agua entre organismos estatales. Por ello, es importante no omitir estos elementos cuando se define una unidad de planificación del agua. Las cuencas inicialmente fueron asimiladas como áreas de grandes inversiones en obras hidráulicas dirigidas a aumentar la oferta de agua para los distintos usos. En los últimos años, a la noción de gestión de cuencas se ha incorporado la noción de Gestión Integrada de Recursos Hídricos GIRH (PNDR, 2011).

La GIRH implica una reorientación de la gestión del agua hacia un enfoque más integral, con varios ajustes en la forma en que el agua fue manejada históricamente, por lo que es importante considerar:

- El ciclo hidrológico y el hecho de que el agua está vinculada con todos los elementos que se encuentran al interior de la cuenca, esto es poblaciones, ecosistemas, recursos naturales.
- A todos los usos y todos los usuarios en el espacio y en el tiempo.
- A la cuenca como la unidad lógica de gestión y planificación
- La necesidad de evitar sesgos sectoriales y promover la participación en la toma de decisiones.
- La necesidad de generar relaciones de “hidro-solidaridad”.

En 2008, el Ecuador decidió posicionar el tema de la gestión de los recursos hídricos con un enfoque integral (Artículo 411 de la Constitución). La gestión del agua por cuenca fue plasmada en las propuestas de Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Uso y Aprovechamiento del Agua de la Asamblea Nacional luego de la aprobación de la Constitución que aún está pendiente de aprobación. Institucionalmente, bajo la rectoría de la Secretaría Nacional del Agua, se han estructurado nueve demarcaciones hidrográficas, que basadas en el enfoque de cuencas, serán los espacios de planificación y gestión del agua a nivel nacional (PNDR, 2011).

2.1.2.4 Riego

El riego se hace necesario para compensar en algunas etapas la insuficiencia de la precipitación, sin embargo es necesario conocer las etapas de desarrollo de los cultivos, a humedad del suelo y las condiciones climáticas. y del requerimiento de la aplicación complementaria de agua, al menos durante los períodos secos (Mago, 1986).

La demanda de agua del cultivo varía mucho, según su edad y su estado o fase del ciclo de desarrollo. El suministro de agua de riego, por lo tanto debe ajustarse a los requerimientos de la planta ya los objetivos perseguidos con el cultivo (Mago, 1986).

2.1.2.5 Objetivos del Riego

La disponibilidad y distribución del agua de riego es el principal factor que limita la producción agrícola, pues la escasez del agua reduce la solubilidad de los nutrientes afectando negativamente la productividad y la calidad de la producción. Por lo tanto la gestión del riego es fundamental para maximizar la productividad de las cosechas y minimizar las pérdidas de agua (OMM, 1994).

El objetivo básico del riego es satisfacer las pérdidas de agua provocadas básicamente por la transpiración de los cultivos, evaporación proveniente de superficies húmedas, drenaje del agua del suelo, escorrentía del agua superficial (OMM, 1994).

2.1.2.6 Programación del Riego

Para definir cuándo y cuánto regar un cultivo, se debe conocer las condiciones meteorológicas de la zona y la precipitación efectiva, con la capacidad de almacenamiento del suelo, con el fin de llegar al cálculo de requerimiento de riego y además se debe conocer a fondo las características del tipo de cultivo (Tijerina Chávez L., 2003).

La programación del riego debe considerar la capacidad de retención del terreno, la fuerza de absorción de las raíces y la demanda atmosférica, para que el agua existente en el suelo sea aprovechada por la planta. Se debe considerar que el suelo es un reservorio de agua, que está disponible para el consumo de los cultivos. A esta reserva se le suma las aportaciones atmosféricas por lluvias y se restan los consumos por evapotranspiración y posibles pérdidas por escorrentía superficial (SMART, 2013).

Los intervalos de riego también son importantes de considerar, no solo dependen de la demanda de agua de los cultivos, sino también de los umbrales de tolerancia de los cultivos a la salinidad y a la capacidad de agua que puede retener el suelo (SMART, 2013).

Para la programación de riego se ha establecido una metodología en la que mediante la utilización de la olla de Richards se determina la curva de retención de humedad que en conjunto con los tensiómetros nos proporciona de una manera cuantitativa la lámina de riego que debemos aplicar al cultivo (Valencia y Proaño, 2006).

2.1.3 MARCO CONCEPTUAL

2.1.3.1 Uso del agua en la agricultura

Actualmente la agricultura utiliza el 70% de todas las extracciones de agua dulce a escala mundial, y hasta el 95% en varios países en desarrollo, con el fin de satisfacer la actual demanda de alimentos. Para poder responder a la creciente demanda de alimentos y la evolución de los regímenes alimenticios en los próximos 30 años, la FAO estima que la superficie de regadío efectiva deberá aumentar en un 34% en los países en desarrollo y que deberá extraerse un 14% más de agua con fines agrícolas. Cabe recordar asimismo que la agricultura de regadío suministra alrededor del 40% de la oferta mundial de alimentos en el 20% de las tierras cultivadas (FAO, 1993).

Según la CEPAL (2005), la relación de la agricultura con el agua está enmarcada por la competencia establecida entre los diferentes usuarios del recurso. Además de grandes beneficios, como el incremento de la producción agrícola y el mejoramiento económico y social de la población rural, los impactos negativos, sobre todo en el ambiente se deben al desarrollo de la agricultura intensiva de riego..

2.1.3.2 Fuentes contaminantes de las aguas superficiales

Foster *et al.* (2002) definen la contaminación como la generación de residuos en un medio, que se introducen por encima de la capacidad de este. La proliferación de estos residuos supone un desequilibrio grave en el biosistema, hasta el punto de llegar a imposibilitar la vida de las especies existentes. El agua, el aire y el suelo, son los principales medios contaminados. De igual manera, el agua es considerada como

contaminada cuando sus características naturales están alteradas de tal modo que la hace total o inadecuada para el uso que se destina.

La mala calidad del agua puede deberse a causas naturales o a la actividad humana. En general, al hablar de contaminación se refiere a esta última, por ejemplo, un vertido industrial. En muchas ocasiones, la distinción no es fácil, pues puede que una actividad humana no contaminante (en general, los bombeos), o bien una actividad de origen agropecuario, alteren un equilibrio previo, provocando el deterioro de la calidad del agua (Sánchez, 2004).

Es preciso considerar de manera diferenciada los contaminantes orgánicos e inorgánicos en aguas, así como también la contaminación bacteriológica. Otros tipos de contaminantes pueden llegar al medio acuático de fuentes puntuales, como pueden ser la de un vertido fortuito u ocasional, y fuentes permanentes. Unas y otras tienen un impacto diferente en el medio acuático, como se muestra en el Cuadro 1, donde se relacionan las principales fuentes de contaminación de aguas, así como los componentes contaminantes encontrados más frecuentemente. Es importante señalar que estos difieren poco de los que generalmente contaminan las aguas subterráneas, a consecuencia principalmente de los diferentes controles que gobiernan la movilidad y persistencia de los contaminantes en los respectivos sistemas hídricos (Foster et al., 2002).

2.1.3.3 Contaminación del agua por las actividades agropecuarias

Monge (1996) indica que en materia de contaminación del recurso hídrico por actividades productivas, se dice que la agricultura es la actividad que más contaminación produce, aún por encima de la industria. En este sentido: “En prácticamente todos los países en los que se aplican fertilizantes agrícolas y plaguicidas, se han contaminado acuíferos subterráneos y el agua de superficie. El agua que vuelve a los ríos y arroyos después de haberse utilizado para el riego está a menudo seriamente degradada por el exceso de nutrientes, salinidad, agentes patógenos y sedimentos que suelen dejarla inservible para cualquier otro uso

posterior, a menos de tratarla, habitualmente a gran costo, en instalaciones depuradoras de agua”.

Cuadro 1. Contaminantes comunes del agua y algunas fuentes de contaminación asociadas

FUENTES DE CONTAMINANTES	TIPOS DE CONTAMINANTES
Actividades agrícolas	Nitratos, amonio, pesticidas, organismos fecales.
Gasolineras y garajes	Hidrocarburos, bencenos, fenoles, hidrocarburos halogenados.
Aglomeración de ganaderas y concentraciones de residuo de su actividad	
Disposición de residuos sólidos	Amonio, salinidad, hidrocarburos halogenados, metales pesados
Los ríos previamente contaminados	Residuos urbanos e industriales
Escapes de productos industriales almacenados	Pesticidas, depósitos de combustibles, etc
Industrias metalúrgicas	Tricloroetileno, tetracloroetileno, hidrocarburos halogenados, fenoles, metales pesados, cianuros.
Pinturas y esmaltes	Alcalobenceno, hidrocarburos halogenados, metales, hidrocarburos aromáticos, tetracloroetileno.
Industria maderera	Pentaclorofenol, hidrocarburos aromáticos y halogenados.
Tintorerías	Tricloroetileno, tetracloroetileno
Manufactura de pesticidas	Hidrocarburos halogenados, fenoles, arsénicos.
Disposición de lodos residuales domésticos	Nitrato, hidrocarburos halogenados, plomo, cinc.
Curtidoras	Cromo, hidrocarburos halogenados, fenoles
Explosión/extracción de gas y petróleo	Salinidad (cloruro de sodio), hidrocarburos aromáticos
Minas de carbón y de metales	Acidez, metales pesados, hierro, sulfatos.

Fuente: (Foster et al., 2002)

2.1.3.4 Calidad del agua para uso agrícola

La calidad del agua para diversos usos está condicionada por las contaminaciones de origen urbano, periurbano y rural, aunque a menudo la fuente de contaminación más importante y difícil de controlar es la agropecuaria. Según la FAO (1993), el sedimento proveniente de erosión hídrica, suele ser el principal contaminante del agua superficial, ya que además de provocar acciones físicas, posee capacidad de adsorber y transportar al agua diversos elementos tóxicos que poseen acciones químicas y biológicas.

Según Klohnet *al.* (1999), es necesario tener presente que el agua puede tomar formas diversas en cuanto a sus funciones y aplicaciones. Si bien es cierto que al regar una parcela, reparar los alimentos o situarse a salvo de una inundación, es de

poca importancia; las dificultades se sitúan en otro ámbito. Al agricultor le importa, por ejemplo: la cantidad de agua con la que puede contar, si está lejos o cerca de la parcela, a una presión suficiente para facilitar su aplicación o a gran profundidad bajo el suelo; si está disponible durante el período vegetativo o, por el contrario, cuando no hay siembras; y si es adecuada o bien está contaminada con gérmenes, sales o compuestos tóxicos. Todos estos factores, que inciden en la capacidad de producción y en el valor de cosecha, no necesariamente se reflejan en las estadísticas, las cuales (para evitar errores) deben utilizarse con la debida reflexión.

Más del 60% de la producción agrícola mundial corresponde a una agricultura que depende exclusivamente del régimen de lluvias y utiliza el agua precipitada antes de que ésta se concentre en zonas superficiales o subterráneas.

Existen varias clasificaciones reconocidas de calidad de agua para riego desarrolladas a nivel internacional, sin embargo éstas fueron realizadas para climas áridos y semiáridos donde el agua de riego es el único aporte para los cultivos. La calidad del agua para riego se relaciona con dos aspectos principales en el suelo: salinidad y sodicidad (Paz et al., 2005).

2.1.3.4.1 Normas de calidad del agua

La calidad del agua con destino al consumo humano y para el uso agrícola, tiene implicaciones importantes sobre los aspectos sociales y económicos que actúan indirectamente sobre el desarrollo de un país. Caracterizar la calidad a través de los límites permisibles de los parámetros físicos-químicos y microbiológicos es fundamental para la salud pública.

La SENAGUA ejerce la rectoría nacional en la gestión y administración del recurso agua (D.E. 1088, R.O. 346, 27-5-2008). SENAGUA cooperará y coordinará con MAE para garantizar el manejo del agua con un enfoque ecosistémico (CRE, 1998).

La ley orgánica de recursos hídricos, uso y aprovechamiento del agua en Ecuador, contempla los siguientes artículos:

Artículo 144. *Criterios de Valoración del Agua.- “El agua, en tanto patrimonio nacional estratégico de uso público no susceptible de apropiación, no tiene valor monetario ni se encuentra en el mercado. Sin embargo, para efectos de administración, protección y conservación, la Autoridad Única del Agua establecerá, en consulta con la Autoridad de Cuenca hidrográfica y los usuarios, a través de organizaciones de cuenca o consejos de cuenca, los criterios, índices y parámetros necesarios para establecer una valoración de los usos y aprovechamientos del agua, a partir de criterios de equidad, técnicos, de orden social, cultural, ambiental y económico, a considerarse en la fijación y cálculo de tasas y tarifas. De manera especial se considerará la capacidad de pago de los usuarios y para los fines de valoración de pasivos ambientales y servicios ambientales”.*

Artículo. 19.” Áreas de Seguridad Hídrica”.- “Una mancomunidad de usuarios públicos del agua, el gobierno autónomo descentralizado, el consejo u organización de cuenca, con el auspicio de la Autoridad Única del Agua, podrán solicitar a la Autoridad Ambiental Nacional que establezca y delimite áreas de seguridad hídrica para la protección y conservación de las fuentes de agua de las cuales se abastece para consumo humano o garantía de la soberanía alimentaria. “En las áreas de seguridad hídrica así establecidas para la conservación y protección de fuentes de agua no se permitirán usos tradicionales no consuntivos, de recreación o esparcimiento, así como tampoco se podrá autorizar ningún tipo de actividad productiva, extractiva o de riesgo ambiental que pueda contaminar el agua y sus fuentes. En el reglamento a esta ley se determinará el procedimiento para establecer estas áreas de seguridad hídrica”.

Artículo 52. *“Calidad del Agua”.- “La protección y conservación de los recursos hídricos para prevenir y controlar su deterioro, se orienta por los siguientes objetivos:*

1. *Garantizar el derecho humano al agua;*

2. *Garantizar el derecho a vivir en un medio ambiente sano, ecológicamente equilibrado, libre de contaminación;*
3. *Conservar y mejorar la calidad del agua;*
4. *Evitar y prevenir la acumulación en suelo y subsuelo, de compuestos tóxicos, peligrosos, desechos y otros elementos capaces de contaminar las aguas superficiales o subterráneas;*
5. *Evitar las actividades que puedan causar la degradación de la calidad del agua;*
y,
6. *Garantizar los derechos reconocidos a la naturaleza y por tanto, la permanencia de las formas de vida.*

Quienes utilicen el agua en cualquiera de los destinos previstos en esta ley y ocasionen contaminación/o la saquen de su cauce, deberán tratarla antes de descargarla y devolverla a su cauce original. La autoridad competente no permitirá la descarga de agua que no haya sido previamente tratada”.

Artículo 191. *“Infracciones Administrativas Contra los Recursos Hídricos”.-*

Las infracciones en materia de recursos hídricos son las siguientes:

1. *Obstruir el natural flujo de las aguas o modificar su curso, sin contar con autorización de autoridad competente;*
2. *Realizar obras de captación, conducción, distribución o cobro de tarifas por uso de agua para consumo humano o aprovechamiento, sin contar con la autorización respectiva;*
3. *Modificar el entorno de las fuentes de agua de las que se abastece agua para consumo humano o riego, sin autorización legal;*
4. *Alterar o modificar la morfología de las micro cuencas hidrográficas sin contar con la autorización correspondiente;*

5. *Acceder y tomar sin autorización legal, agua para cualquier uso o aprovechamiento de cursos y cuerpos de agua;*
6. *Realizar actividades que puedan afectar el uso sostenible de acuíferos y agua subterránea;*
7. *Realizar actos de apropiación individual o colectiva del agua, impidiendo el uso común o libre de la misma, previsto en esta ley;*
8. *Impedir la aplicación de normas consuetudinarias en materia de acceso y distribución de agua para consumo humano o riego;*
9. *No pagar anualmente la tarifa volumétrica que establezca la autoridad para el uso y el aprovechamiento del agua;*
10. *Modificar las riveras y lechos de los cursos y cuerpos de agua, sin contar con la autorización de la autoridad competente.*
11. *Toda acción u omisión que afecte o pueda afectar el ejercicio del derecho humano al agua, sin perjuicio de las acciones legales y constitucionales que los afectados puedan iniciar; y,*
12. *Incumplir las normas administrativas y técnicas que adopte la Autoridad de Cuenca o la Autoridad Única del Agua para garantizar la seguridad hídrica y en casos de emergencia por riesgos y desastres naturales.*
13. *En esta materia son infracciones graves las contempladas en los numerales 1, 3,9; son infracciones muy graves las acciones previstas en los numerales 2, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12.*

Artículo 170. “A Nivel Descentralizado”.-“Los gobiernos autónomos descentralizados provinciales planificarán, construirán, operarán y mantendrán sistemas de riego provinciales, con sujeción a las directrices del Plan Nacional de Riego, por intermedio de una unidad administrativa especializada en riego, dependiente de dicho gobierno, en la que se contará con un directorio en el que participen las organizaciones de regantes con domicilio en la provincia.” “La

gestión del riego público a nivel provincial se realizará mediante alianzas público – comunitarias. Los organismos provinciales desconcentrados articularán la cooperación y colaboración con el Ministerio al que corresponda la regulación del riego y la producción agropecuaria.”

2.1.3.5 Indicadores de calidad del agua

La calidad del agua de riego afecta tanto al rendimiento de los cultivos como a las condiciones físicas del suelo, incluso si todas las demás condiciones y prácticas de producción son favorables y/o óptimas. Además, los distintos cultivos requieren distintas calidades de agua de riego. Según Brugnoli, (1999), los indicadores de calidad del agua se pueden establecer de acuerdo al origen de los mismos. La clasificación más común es en indicadores biológicos, microbiológicos, químicos y físicos.

Los indicadores para la calidad del agua en cualquier estudio se definirán en dependencia de los usos actuales y potenciales. Además se catalogan diferentes categorías para usos de agua, para consumo potable, doméstico, comercial, hidroelectricidad, navegación, industrial, agropecuario, agroindustrial, recreación, biodiversidad, entre otras (Vilela, 2003).

Al hablar de los principales indicadores físicos, químicos y microbiológicos de calidad de agua deberían de ser explicados bajo el concepto de sostenibilidad, bajo un marco lógico fusionando los aspectos ecológicos, económicos y sociales. Estos se definen ante una situación única y dentro de un escenario específico (Villegas, 1995).

Los principales parámetros o indicadores de calidad del agua son: pH, temperatura, sólidos totales y disueltos, turbidez, oxígeno disuelto, nitratos, fosfatos, demanda bioquímica de oxígeno, coliformes fecales (Mejía, 2005), de los cuales, los que se describen a continuación, fueron evaluados en la investigación y se refieren a los efectos que tienen sobre los cultivos a largo plazo, en la producción, condiciones del suelo y el manejo agrícola. En el Cuadro 2 se indica las directrices sobre la calidad del agua como normativa del Ecuador. Además, la Entidad Ambiental de

Control utilizará también las guías registradas en el TULAS, para la interpretación de la calidad del agua para riego y deberá autorizar o no el uso de agua con grado de restricción severo o moderado (ANEXO 1).

Según Mitchell *et al.*, 1991, la metodología para el análisis físico químico de la calidad del agua es la propuesta conocida como índice de calidad del agua (ICA), como forma de agrupación simplificada de algunos parámetros e indicadores de un deterioro en calidad del agua, es una manera de comunicar y evaluar la calidad de los cuerpos de agua. Sin embargo, para que dicho índice sea práctico debe de reducir la enorme cantidad de parámetros a una forma más simple, y durante el proceso de simplificación algo de información se sacrifica. El diseño del ICA es adecuado, el valor resultante puede ser representativo e indicativo del nivel de contaminación y comparable con otros para enmarcar rangos y detectar tendencias.

Cuadro 2. Directrices para interpretar la calidad del agua de riego

Potencial Problema	Unidades	Grado de Restricción de Uso		
		Ninguna	Ligera a Moderada	Severa
Salinidad (afecta la disponibilidad de agua para riego)	dS m ⁻¹	< 0.7	0.7 - 3.0	> 3.0
CEa	mg L ⁻¹	< 450	450 - 2000	> 2000
STD				
Infiltración (reduce infiltración: evaluar usando a la vez la CEa y el RAS)				
RAS = 0 - 3	y CEa	> 0.7	0.7 - 0.2	< 0.2
RAS = 3 - 6		> 1.2	1.2 - 0.3	< 0.3
RAS = 6 - 12		> 1.9	1.9 - 0.5	< 0.5
RAS = 12 - 20		> 2.9	2.9 - 1.3	< 1.3
RAS = 20 - 40		> 5.0	5.0 - 2.9	< 2.9
Toxicidad de iones específicos (afecta cultivos sensibles)				
Sodio (Na)	RAS	< 3	3 - 9	> 9
Riego por superficie	meq L ⁻¹	< 3	3	
Riego por aspersión				
Cloro (Cl)	meq L ⁻¹	< 4	4.0 - 10	> 10
Riego por superficie	meq L ⁻¹	< 3	> 3	
Riego por aspersión	mg L ⁻¹	< 0.7	0.7 - 0.3	> 3.0
Boro (B)				
Varios (afecta cultivos sensibles)	mg L ⁻¹	< 5	5.0 - 30	> 30
Nitrógeno (NO ₃ -N)				
Bicarbonato (HCO ₃ ⁻)	meq L ⁻¹	< 1.5	1.5 - 8.5	> 8.5
(aspersión foliar únicamente)			Amplitud normal	6.5 - 8.4
pH				

Fuente: Libro VI Anexo 1 NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA EN EL ECUADOR.

2.1.3.5.1 Sólidos Disueltos Totales (SDT)

Los sólidos disueltos totales (SDT) son la suma de carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, fosfatos, nitratos y otras sales de calcio, magnesio, sodio, potasio y otras sustancias. Este parámetro está relacionado a sus efectos sobre el sabor del agua y su potencial para causar efectos fisiológicos desfavorables. La concentración de SDT depende de las características geológicas y climáticas de cada sitio, pero valores por debajo de 750 mg L⁻¹ se consideran propios de aguas de buena calidad (Canter y Hill, 1979).

2.1.3.5.2 Potencial Hidrógeno pH

Este término es usado universalmente para referirse a la intensidad de la condición de acidez o alcalinidad de una solución (Sawyer C., Mccarthy P., 1978).

De acuerdo a INFOAGRO (2011), el factor pH puede ser muy importante no solo para el proceso exclusivo de fertirrigación, sino también puede jugar un papel importante en el uso de plaguicidas a través del riego. Aguas de naturaleza alcalina pueden romper las moléculas de ciertos plaguicidas reduciendo su actividad química, mediante un proceso denominado hidrólisis alcalina, sobre todo si los productos permanecen en tanques de mezcla durante un tiempo prolongado y si la temperatura ambiental es alta.

Se mide en una escala de 0 a 14, donde 7 es el límite de neutralidad. Valores de pH menores de 7 se consideran ácidos y mayores de 7 alcalinos. El pH se mide con sustancias, con aditamentos como el papel universal o el papel tornasol y con aparatos llamados pHmetros.

2.1.3.5.3 Fosfatos

El fosfato orgánico es parte de las plantas y los animales que se adhieren a la materia orgánica, siendo los responsables de la presencia de algas y plantas acuáticas grandes. El exceso de fosfatos ocasiona el proceso de eutrofización (enriquecimiento en nutrientes de un ecosistema). El arrastre de tierras cultivadas con compuesto a base de fósforo, y los vertidos de aguas servidas domésticas son la base del fosfato en los ríos (Mitchell et al, 1991).

2.1.3.5.4 Nitratos

La contaminación de aguas subterráneas con nitratos es uno de los mayores problemas a nivel mundial (Weisenburger 1991). El nitrógeno (N) es el nutriente que se presenta con más frecuencia como limitante para la producción agropecuaria. El N, bajo la forma de nitrato, es sumamente móvil en el perfil del suelo y puede llegar al agua subterránea por lixiviación (Nolan, 1999).

En aguas naturales los nitratos suelen hallarse en concentraciones muy bajas, mientras que en aguas residuales domésticas y agrícolas pueden alcanzar niveles relativamente altos. La concentración de nitratos es un indicador de la presencia de aguas residuales domésticas frescas. Su presencia en el agua puede ocasionar fenómenos de crecimiento desmedido en algunas especies vegetales (eutrofización) que producen oxígeno en la superficie del agua pero cuando mueren consumen una gran cantidad de oxígeno disuelto. Los cuerpos de agua con niveles altos de nitratos generalmente tienen altos niveles de DBO₅ debido a las bacterias que consumen los desechos vegetales orgánicos. En términos generales valores por debajo de los 100 mgL⁻¹ se consideran “*permisibles*” (Zweig et al., 1999).

2.1.3.5.5 Temperatura

Considerado un requisito para el pH y la conductividad. Es una medición importante para interpretar los rangos de solubilidad de los parámetros químicos, debido a que influye con las tasas de actividad química y biológica. Afecta la tasa de transferencia de oxígeno y por consiguiente el valor del oxígeno saturado, ya que al incrementar la temperatura la solubilidad del oxígeno disuelto disminuye. El aumento de la temperatura puede producir malos olores debido a un aumento en la transferencia de gases, aumentando así la reproducción de ciertas especies vegetales y animales, acelerando los procesos metabólicos que pueden llegar a cambiar las especies de un río, debido a la intolerancia que muestran ciertas especies a la variación de la temperatura (Mitchell et al., 1991).

2.1.3.5.6 Conductividad Eléctrica

La conductividad eléctrica es un término que expresa la concentración total de sales solubles disueltas en las aguas de riego (Valderrama, 2001).

Según Gurovich (1985), casi todas las aguas usadas para riego tienen una conductividad eléctrica menor de 2 250 $\mu\text{mho cm}^{-1}$. Ocasionalmente se usan aguas de mayor conductividad eléctrica, pero los rendimientos de los cultivos regados con

estas aguas no son satisfactorios. Un suelo es salino cuando la conductividad eléctrica de su extracto de saturación es mayor de 4 mmho cm^{-1} . Se ha comprobado que la conductividad eléctrica del extracto de saturación de un suelo, en ausencia de sales provenientes del agua subterránea, es generalmente de 2 a 10 veces mayor que la correspondiente al agua con que se ha regado. Este aumento en la concentración de las sales resulta de la extracción continua de humedad por las raíces y de la evaporación. Por lo tanto el uso de aguas entre moderada y altamente salinas puede ser la causa de que desarrollen condiciones de salinidad en el suelo, aun cuando las condiciones de drenaje sea satisfactorio. La necesidad de lavado de los suelos en que no existe precipitación de sales, está directamente relacionado con la conductividad eléctrica del agua de riego.

2.1.3.6 Origen de la sales

El origen de las sales es muy diversa y pueden ser provenientes de fuentes naturales como el material original del suelo, sales de escorrentía, mantos freáticos menores de 3m, origen eólico y en zonas costeras por el mar y provenientes de actividades antrópica como la agricultura, exceso de fertilizantes y la actividad industrial (Adams, 1995).

Las sales presentes en la solución del suelo son provienen de la meteorización química de los minerales, pero en la mayoría de los casos, las sales liberadas no se acumulan para formar suelos afectados por sales porque el proceso de lixiviación tiende a eliminar sales de las regiones húmedas, pero en las regiones secas éstas tienden a acumularse. En general, la acumulación y concentración de las sales transportadas en soluciones es causada por la pérdida selectiva de agua a través de los procesos de evaporación y transpiración. Las sales ocurren en suelos con deficiencia en el drenaje, una condición que automáticamente promueve la pérdida de agua por evaporación. Algunos suelos aluviales también pueden estar sujetos a filtraciones y desbordamiento de canales o corrientes de aguas. La salinización puede ser causada también por la irrigación con aguas salobres o de mala calidad, especialmente en zonas de poca capacidad de lixiviación o por el uso excesivo del

agua que hace crecer el manto freático, provocando los problemas de pérdida de agua por evaporación y transpiración del suelo, lo que produce más acumulación de sales en los suelos (Adams, 1995).

Bajo condiciones específicas se produce la acumulación de sales en los suelos, dando origen a suelos salinos y sódicos. Los suelos salinos litorales la sal predominante es el cloruro de sodio y se producen por una intrusión de agua de mar y los continentales, en cambio, por el ascenso de tablas superficiales de cargas ricas en sales o por lavado deficiente de la zona radical en donde se han acumulado las sales provenientes de las aguas de riego, las sales predominantes son carbonatos, sulfatos y cloruros (Fassfander, 1975).

Las sales solubles que se acumulan en los suelos salinos y sódicos son cloruros, sulfatos, carbonatos y ocasionalmente boratos de calcio, magnesio y sodio. Los suelos salinos se caracterizan por tener un pH menor de 8,5, participación de sodio en el complejo de cambio menor que el 15% y una conductividad en extracto saturado mayor que 4 mmhocm^{-1} , estas condiciones inhiben el desarrollo vegetal de la mayor parte de las especies vegetales. Generalmente contiene cloruros y sulfatos que se presentan cristalizados en forma de costras blanquecinas. Bajo acumulación de carbonatos de sodio se produce una dispersión de los ácidos húmicos del suelo y la precipitación de los humatos de sodio de color negro. Los suelos salino-sódicos se forman como resultado de los procesos de salinización y sodificación. Presentan una conductividad eléctrica de la solución del extracto de saturación mayor de 4 mmhocm^{-1} a 25°C . El porcentaje de sodio en el complejo de intercambio es mayor a 15, el pH rara vez es mayor de 8,5 (Fassfander, 1975).

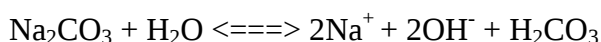
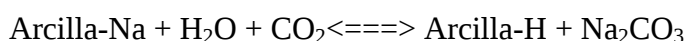
2.1.3.7 Peligro de salinidad sódica

Los efectos de la sodicidad son numerosos y aún mucho más perjudiciales. La sodicidad o alcalinización se desarrolla cuando en la solución del suelo existe una concentración elevada de sales sódicas capaces de sufrir hidrólisis alcalina, de tipo carbonato y bicarbonato de sodio. Junto a estas sales de base fuerte NaOH y ácido débil (H_2CO_3), existen importantes cantidades de sales sódicas neutras carentes de

propiedades alcalinizantes (principalmente cloruros y sulfatos) y sales de calcio y magnesio (Villegas, 1995).

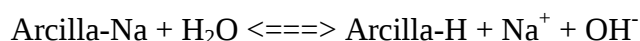
Un elevado contenido en Na^+ en la solución del suelo, en relación con el Ca^{2+} y Mg^{2+} , da lugar al incremento de este ión en el complejo de cambio, lo que provocaría, dada su baja densidad de carga (elevado radio de hidratación y baja carga), el aumento del espesor de la doble capa difusa, los efectos de repulsión entre los coloides y, con ellos, la dispersión de la arcilla y la solubilización de la materia orgánica. Según varios autores la concentración de Na^+ frente al Ca^{2+} y Mg^{2+} en la solución del suelo ha de ser superior al valor límite del 70% para que el Na^+ pueda desplazar al Ca^{2+} y Mg^{2+} en el complejo de cambio, dada la menor energía de adsorción del sodio. Es generalmente admitido que para que el sodio juegue un importante papel en la evolución del suelo, es decir, para que se produzca la alcalinización, la concentración de sodio adsorbido frente a los otros cationes ha de superar el valor crítico del 15%, o sea $\text{Na} / \text{S} > 15\%$ (S = suma de todos los cationes adsorbidos) (Villegas, 1995).

Las arcillas saturadas en Na tienen propiedades particulares, en presencia de agua de lluvia por tanto con CO_2 disuelto, se hidrolizan, liberando Na^+ y OH^- según la siguiente ecuación:



Como consecuencia el medio se alcaliniza rápidamente, alcanzándose valores de pH progresivamente cada vez más altos: 9, 10 o incluso más.

Las ecuaciones anteriores se pueden simplificar en una:



La alcalinización del perfil produce una serie de consecuencias desfavorables para las propiedades fisicoquímicas del suelo. Así tanto las arcillas sódicas como el humus se dispersan, los agregados estructurales se destruyen (Villegas, 1995).

Este proceso se puede dar directamente en el suelo o puede aparecer a continuación del proceso de salinización, cuando se produce el lavado de las sales más solubles y se acumulan los carbonatos y bicarbonatos sódicos (Villegas, 1995).

En los suelos sódicos, es el sodio el que causa la toxicidad, que podemos centrar en tres vías distintas: efecto nocivo del sodio activo para el metabolismo y nutrición de las plantas; toxicidad debida a los bicarbonatos y otros iones; elevación del pH a valores extremos por acción del carbonato y bicarbonato sódicos (Millenarium, 1999).

De las sales solubles son los sulfatos los que menos toxicidad presentan. Las sales cloruradas son altamente tóxicas. Las sales sódicas presentan una toxicidad muy alta y además su efecto adverso se ve aumentado por el elevado pH que originan (9,5 a 10,5) (Villegas, 1995).

Para la mayoría de las plantas cultivadas no se ha demostrado que el sodio sea esencial, aunque se sabe que puede reemplazar al potasio en algunos casos. Muchas plantas cuentan con mecanismos que reducen la absorción y la translocación del sodio a las hojas, por lo que no es común que aparezcan síntomas de toxicidad en éstas, ya que se acumula en tallos, troncos y raíces. Los síntomas de toxicidad del sodio en las hojas son manchas necróticas entre las venas. El exceso de sodio puede provocar deficiencias de otros cationes, como potasio, calcio y magnesio. El efecto perjudicial del sodio sobre los cultivos es, en la mayoría de los casos, indirecto, debido a la influencia negativa que tiene este catión sobre la estructura del suelo. El sodio desplaza al calcio y al magnesio del complejo arcillo-húmico, provocando así la dispersión de las partículas del suelo, lo que acarrea el desmoronamiento de la estructura del suelo. El suelo pierde su capacidad de aireación y de infiltración. Además se produce la alcalinización del suelo, pudiéndose elevar el pH por encima de 8.5. Tiene la característica de que puede sustituir al ión Calcio y magnesio en el complejo arcillo-húmico y el terreno puede perder su estructura, haciéndose impermeable, llegando a quedar como una pasta. El límite de tolerancia es de 0.25 g/litro, aunque el índice de tolerancia de la FAO es menor (Villegas, 1995).

2.1.3.8 Causas de la aparición de sodio intercambiable

Los suelos sódicos se forman en zonas llanas o ligeramente onduladas, en climas con veranos secos o calurosos a partir de materiales detríticos terrígenos no consolidados de textura fina, más o menos salinizados con sales ricas en sodio. También a partir de antiguos depósitos marinos o materiales aluviales, también loess, que se han secado de forma natural o que han sido drenados. La desalinización de estos materiales por lavado de las sales por agua de lluvia puede haber favorecido la disgregación de las arcillas- Na^+ , su translocación y la formación de horizonte nátrico. La sodificación no va necesariamente acompañada de un incremento de pH, que solo tiene lugar si, además del incremento del sodio intercambiable se produce una acumulación de carbonato de sodio (Porta et al., 2013).

El riego continuado con agua salino-sódica, junta con una precipitación anual escasa y una elevada evaporación, pueden aumentar de forma significativa el riesgo de degradación del suelo al ir aumentando la proporción de sodio en las sedes de intercambio. Ello se traduce en un deterioro de la estructura y de las propiedades físicas asociada a ella: un mayor riesgo de sellado y de erosión, disminución de la conductividad hidráulica, y un deficiente crecimiento de la mayoría de las plantas. Estos procesos dan lugar a la formación de Solonetz, que se corresponden en Soil Taxonomy a diversos grupos de suelos. Suelen tener praderas de baja calidad integradas por especies tolerantes al Na^+ intercambiable (Porta et al., 2013).

Para valorar la calidad de un agua destinada a riego es importante tener en cuenta el incremento de PSI del suelo, debido a los fenómenos de adsorción de sodio desde el agua por intercambio catiónico (Porta et al., 2013).

El PSI es el parámetro que mejor puede correlacionarse con la posible alteración del estado estructural del suelo (disminuyendo su permeabilidad) y con los efectos tóxicos en los cultivos debido al sodio. Por ello una evaluación racional del riesgo de sodicidad potencial de un agua debe realizarse en base a un parámetro que se correlacione de forma satisfactoria con el PSI del suelo que resulta del riego con esa agua (Suarez, 1981).

El RAS corregido es el que, aparentemente, mejor se correlaciona con el PSI del suelo, por lo que aparece como el parámetro más real de determinación del riesgo de sodicidad de un agua de riego (Suarez, 1981).

La relación que vincula al RAS con el PSI es una recta de regresión empírica, válida para valores de RAS < 30, establecida por el equipo USDA (1954). Esta relación es la siguiente:

$$P.S.I. = \frac{100 [- 0.0126 + 0.01475 \cdot (RAS)]}{1 + [- 0.0126 + 0.01475 \cdot (RAS)]}$$

2.1.3.9 Peligro de salinidad

El exceso de sales es una de las mayores preocupaciones en la reutilización del agua para fines agrícolas. Un alto contenido en sales presentes en el agua supone un aporte de sales en el suelo que sustenta la planta afectando la productividad del cultivo, degradando la estructura de la tierra y generando problemas de contaminación en las aguas subterráneas. La aceleración de estos procesos se debe a la intensificación global de la desertificación, al bombeo indiscriminado del agua para riego en zonas cercanas al mar y a la introducción masiva de sistemas de riego, sin asegurar que el destino final del drenaje sea el mar (SMART, 2013).

La principal fuente natural de las sales minerales en el agua es la erosión de las rocas y minerales. Otras fuentes secundarias incluyen la deposición atmosférica de sales oceánicas (sales en el agua de lluvia), el agua salina de las aguas subterráneas y el aumento de la intrusión de agua de mar en los acuíferos de las aguas subterráneas. Productos químicos de fertilizantes, que lixivian a las fuentes de agua, también pueden afectar a la calidad del agua de riego (SMART, 2013).

En muchas áreas del mundo dedicadas a la agricultura la obtención de buenos rendimientos, así como también el cultivar una amplia variedad de especies, cada vez hay más restricciones debido a la salinización de los suelos. Se estima que sobre 800 millones de hectáreas en el planeta están afectadas por sales, de estas 397 millones lo son por problemas de salinidad y 434 millones por condiciones asociadas a sodicidad

(Munns, 2005; FAO, 2000). Varias son las causas vinculadas a estos procesos de salinización, entre las cuales es posible citar un excesivo empleo de fertilizantes, uso de agua de mala calidad por el exceso de sales, mal drenaje y tala de vegetación arbórea (Tanwar, 2003).

La existencia de carbonatos y bicarbonatos de metales alcalinos, condicionan la aparición en los suelos de salinización sódica de una reacción fuertemente alcalina. El pH de los suelos es mayor a 8.5, generalmente entre 9 a 11, en este tipo de suelos los carbonatos y bicarbonatos de metales alcalinos, pueden permanecer puros o en mezclas con cloruros y sulfatos.

Según Richard *et al.*,(1954)hay una relación directa entre alcalinidad, compuestos alcalinos, pH y la salinidad sódica de los suelos, con el grado de saturación del suelo con el sodio intercambiable. Esto hace que los nutrientes no lleguen a alcanzar la zona radical de la planta.

En general el agua reciclada con fines de regadío debe tener un bajo/ medio nivel de concentración en sales, el Cuadro 3 indica los rangos de salinidad. Especial interés debe tenerse en las zonas costeras, donde la intrusión e infiltración de agua de mar en el agua que es bombeada en pozos cercanos, puede ocasionar un grave riesgo de salinidad en las aguas. Niveles de salinidad moderados se pueden utilizar en ciertas ocasiones bajo condiciones de drenaje suficiente.

La tabla muestra los sólidos totales disueltos y la conductividad eléctrica, pues hay una relación directa entre estas dos propiedades que se puede ver en la siguiente ecuación aproximada:

Cuadro 3. Rangos de salinidad

Peligro	STD (ppm or mg/L)	CE dS/m or mmhos/cm
Ninguno	< 500	< 0.75
Ligero	500-1000	0.75-1.5
Moderado	1000-2000	1.5-3.00
Severo	> 2000	> 3.0

Fuente: Richard *et al.*,(1954)

$$\text{STD (ppm)} = 0.64 \times \text{CE } (\mu\text{S/cm}) = 640 \times \text{CE (dS/m)}$$

En relación con la CE, Richards, *et al.*, (1954), clasifica el agua en los siguientes seis grupos:

GRUPO C1: CE entre 0.10 y 0.25 dSm⁻¹. Agua de “Baja Salinidad”, apta para el riego de cualquier cultivo, en cualquier tipo de suelo, con baja o nula probabilidad de generar salinidad en los suelos.

GRUPO C2: CE entre 0.25 y 0.75 dSm⁻¹. Este tipo de aguas se consideran como de “Salinidad Media”; pueden usarse para el riego de cultivos, a condición de que exista cuando menos, un lavado moderado de los suelos. La mayoría de cultivos, resisten esta agua, sin prácticas especiales de control.

GRUPO C3: CE entre 0.75 y 2.25 dSm⁻¹. Este tipo de aguas se consideran como de “Salinidad Alta” y solamente deben usarse en suelos con buen drenaje y en cultivos resistentes a las sales.

GRUPO C4: CE entre 2.25 y 4.00 dSm⁻¹. Este tipo de aguas se consideran como de “Salinidad Muy Alta” y en muchos casos no son recomendables para riego. Sólo deben usarse en suelos muy permeables y con buen drenaje, empleando volúmenes en exceso. Sólo para cultivos muy tolerantes a la salinidad.

GRUPO C5: CE entre 4.00 y 6.00 dSm⁻¹. Agua de “Salinidad Excesiva”. Sólo debe usarse en casos muy especiales, extremando las precauciones.

GRUPO C6: CE entre 6.00 y 10.00. Agua no aconsejable para el riego en ningún caso.

Las sales afectan el crecimiento de los cultivos al alterar la absorción de agua por las raíces, fenómeno que se denomina componente osmótico, y sería el efecto inicial que padecen las plantas (Shannon y Grieve, 1999). También se desencadenan desequilibrios iónicos en las plantas por la excesiva absorción de sodio y cloruros, los que generan efectos secundarios como problemas de toxicidad y nutricionales

vinculados a la absorción de iones esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Yokoi et al., 2002).

2.1.3.10 Clasificación de las aguas de riego con base a la salinidad efectiva

La salinidad efectiva es una estimación más real del problema de salinidad, pues contempla la precipitación probable de carbonatos de calcio, magnesio y sulfatos de calcio, lo cual disminuye su efecto sobre la presión osmótica. El efecto de las sales van dependen de su solubilidad y su tendencia a precipitarse. Su cálculo se efectúa de la siguiente manera:

- Si el contenido de carbonatos y bicarbonatos es mayor que el contenido de calcio, la salinidad efectiva es igual a la salinidad total menos los carbonatos y bicarbonatos de calcio y magnesio.
- Si el contenido de calcio es mayor que el carbonatos y bicarbonatos, la salinidad efectiva es igual a la salinidad total menos los carbonatos y sulfatos existentes. Ambos casos se expresan en meq L^{-1} (Valverde, 1998).

Con base en esos criterios, se efectúa la siguiente clasificación, mostrada en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Clasificación de las aguas según la salinidad efectiva

Clase	Uso	Salinidad efectiva (meq L^{-1})
Primera clase	Sin peligro	< 3
Segunda clase	Condicionada	3 a 15
Tercera clase	Peligrosa	> 15

Fuente: (Valverde, 1998)

2.1.3.11 Clasificación de las aguas de riego con base salinidad potencial

Si la humedad aprovechable de suelo disminuye por debajo del 50 %, las sales solubles de los cloruros, así como los sulfatos son las últimas sales que quedan en solución. La salinidad potencial es un índice para estimar el efecto adverso que

producen este tipo de sales a bajos niveles de humedad y que por lo tanto aumentan considerablemente la presión osmótica. Este índice se calcula de la siguiente forma (Cuellar, 2013):

$$SP = Cl^{1-} + \frac{SO_4^{2-}}{2}$$

El Cuadro 5 indica la clasificación de las aguas de acuerdo a la salinidad potencial.

Cuadro 5. Clasificación de las aguas de riego de acuerdo a salinidad potencial

Clase	Salinidad Potencial (meq L ⁻¹)
Buena	< 3
Condicionada	3 - 15
No recomendable	> 15

Fuente: (Cuellar, 2013)

2.1.3.12 Relación de adsorción de sodio RAS

La acumulación de sodio en el suelo tiene dos efectos principales: si es absorbido como ión, al acumularse es tóxico para las plantas y si es absorbido por las arcillas, sustituye al calcio y magnesio, provocando cambios en la estructura que afecta la permeabilidad del suelo. Se han establecido los siguientes índices para evaluar el efecto de sodio en el suelo (Valverde, 1998):

- Relación de absorción de sodio RAS, el peligro de sodificación depende de la concentración relativa y absoluta de los cationes en el agua, de los cuales los principales son el calcio, el magnesio y el sodio. Si la proporción de sodio es alta es mayor el problema, pero si predomina el calcio y el magnesio es problema es menor (Valverde, 1998).

La clasificación del agua, dependiendo del contenido de sodio, es la siguiente:

- S1 poco sodio, existe poco riesgo de acumulación en el suelo.
- S2 presencia media de sodio, hay peligro en suelos muy arcillosos y poca materia orgánica.

S3 agua con mucho sodio, se acumula peligrosamente y el suelo necesita buen drenaje.

S4 agua con elevada cantidad de sodio, para que los suelos puedan sostener una agricultura sostenible, requieren de lavados y muy buen drenaje (Valverde, 1998).

RAS Ajustado, Ayers y Westcot (1987) introdujeron el concepto del RAS ajustado (RAS_{aj}), la ecuación está en función de la disponibilidad del calcio en condiciones de una alcalinidad determinada, cuando se tiene un pH de 8,4 en un suelo no sódico en equilibrio con el carbonato de calcio y se expresa:

$$RAS_{aj} = \frac{Na^+}{\sqrt{Ca^{2+} + Mg^{2+}}} (1 + 8,4 - pH_c)$$

RAS corregido (RAS°), corrige la concentración de calcio del agua de riego en función del equilibrio esperado, por el efecto del CO_2 y del HCO_3^- (Velásquez *et al.*, 2002).

El procedimiento asume la existencia de una fuente de calcio, es decir los carbonatos presentes en el suelo u otros minerales y la no precipitación del magnesio. El RAS° se puede calcular de la siguiente manera:

$$RAS^\circ = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^\circ + Mg^{2+}}{2}}}$$

Donde Ca° es la concentración de calcio corregida en $mmol_c L^{-1}$ por la salinidad del agua representada por la conductividad eléctrica y la relación HCO_3^-/Ca^{2+} , por la presión parcial estimada del anhídrido carbónico en los primeros milímetros del suelo y es la concentración que se espera permanezca en solución en el suelo en las condiciones de equilibrio (Ramírez, 2009).

2.1.3.13 Índice de saturación y la precipitación de carbonato de calcio en función del RAS

Para estimar la precipitación del carbonato de calcio, cuando alcanza su límite de saturación en presencia de iones bicarbonatos, se utiliza el índice de saturación propuesto por Langelier en 1936 como sigue:

$$IS = pH_a - pH_c$$

$$IS = 8,4 - pH_c$$

$$pH_c = pK_2 - pK_c - pC_a - p(Alk)$$

En donde: pK_2 = logaritmo inverso de la segunda constante de disociación del ácido carbónico.

pK_c = logaritmo inverso del producto de solubilidad del carbonato de calcio

pC_a = logaritmo inverso de la concentración molar de calcio

$p(Alk)$ = logaritmo inverso de la concentración equivalente de CO_3^{2-} y HCO_3^-

Los valores que se pueden adquirir de pH_c de cualquier conjunto de aguas de riego, serán los estimadores de la tendencia de la precipitación del $CaCO_3$ y se utiliza el Cuadro 6. Si el IS es positivo, indica que el carbonato de calcio va a precipitar, pero si es negativo, esté permanecerá en solución (Ayers y Westcot, 1976).

Cuadro 6. Procedimiento para calcular el pHc teórico de las aguas

pHc = pK₂ – pK_c – pC_a – p(Alk)			
Concentration meq L⁻¹	pK₂-pK_c	p(Ca+Mg)	p(Alk)
0,05	2,0	4,6	4,3
0,10	2,0	4,3	4,0
0,15	2,0	4,1	3,8
0,20	2,0	4,0	3,7
0,25	2,0	3,9	3,6
0,30	2,0	3,8	3,5
0,40	2,0	3,7	3,4
0,50	2,1	3,6	3,3
0,75	2,1	3,4	3,1
1,00	2,1	3,3	3,0
1,25	2,1	3,2	2,9
1,50	2,1	3,1	2,8
2,00	2,2	3,0	2,7
2,50	2,2	2,9	2,6
3,00	2,2	2,8	2,5
4,00	2,2	2,7	2,4
5,00	2,2	2,6	2,3
6,00	2,2	2,5	2,2
8,00	2,3	2,4	2,1
10,00	2,3	2,3	2,0
12,50	2,3	2,2	1,9
15,00	2,3	2,1	1,8
20,00	2,4	2,0	1,7
30,00	2,4	1,8	1,5
50,00	2,5	1,6	1,3
80,00	2,5	1,4	1,1

Fuente:(Ayers y Westcot, 1976)

2.1.3.14 Problemas de infiltración

La velocidad de infiltración del agua en el suelo está relacionada con la calidad del agua, factores inherentes al suelo y factores ambientales. Cuando el agua no atraviesa a tal velocidad que permita su total renovación entre dos riegos sucesivos, se reduce el suministro de agua los cultivos (Fernandez, 2006).

La salinidad influye en la infiltración en función de su concentración y contenido de sodio, magnesio y calcio. Una salinidad alta conlleva una velocidad de infiltración alta y viceversa. Además una proporción de sodio alta con respecto al calcio la disminuye. Estos problemas ocurren principalmente en los primeros centímetros del suelo. Cuando un cultivo es regado con agua sódica o con un agua corrosiva de salinidad excesivamente baja, los agregados de la capa más superficial

se disgregan en partículas menores que obturan los poros del suelo. Este problema también es patente en el caso de aguas de muy pobres en calcio. La dispersión de los suelos con alteración de su estructura se produce cuando el contenido de sodio triplica por lo menos a la del calcio, ya que el calcio contrarresta los efectos dispersantes (Fernandez, 2006).

La aptitud de un agua para riego según sus problemas de infiltración se puede determinar calculando el valor del carbonato de sodio residual (CSR) y comprobando que es menor que cero. Por otro lado, también habrá de comprobarse que la relación de adsorción de sodio ajustado (RAS_{aj}) es menor de 6, calculada a partir del valor corregido del calcio (Fernandez, 2006).

El efecto de la reducción relativa de la infiltración se puede observar en la Figura 4.

Aguas con CE menores a $0,5 \text{ dS m}^{-1}$, particularmente por debajo de $0,2 \text{ dS m}^{-1}$, favorecen la lixiviación de sales minerales incluyendo el calcio, con efecto sobre la estructura del suelo, lo que reduce notablemente la infiltración. El RAS corregido puede utilizarse para prever mejor los problemas de infiltración, causados por concentraciones relativamente altas de sodio, o bajas de calcio, en las aguas de riego (Ayers y Westcot, 1976).

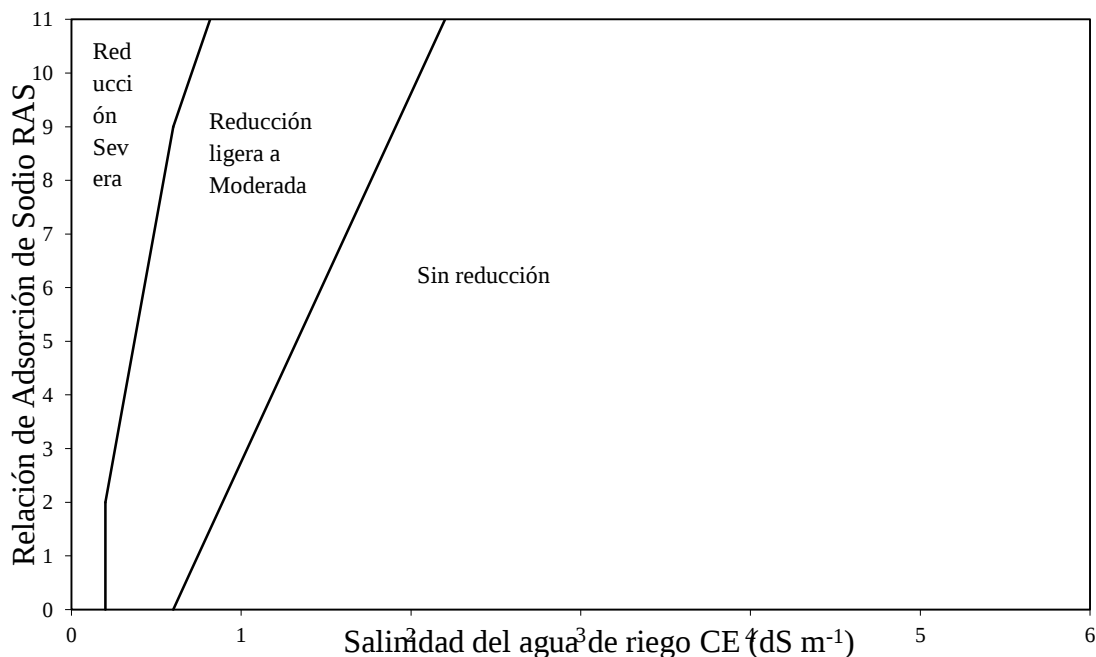


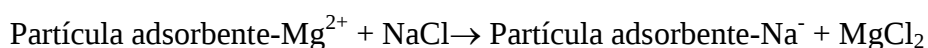
Figura 4. Reducción relativa de la infiltración, provocada por la salinidad y la relación de adsorción de sodio (Ayers y Westcot, 1976).

2.1.3.15 Toxicidad de iones específicos

2.1.3.15.1 Efecto del cloro

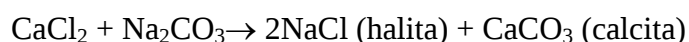
Según Villegas 1995, el cloruro sódico es la sal más frecuente en los suelos salinos, junto con los sulfatos sódico y magnésico, y suele formar parte de las eflorescencias blancas que aparecen en la superficie del suelo durante la estación seca. Su toxicidad es alta.

El cloruro magnésico se acumula en suelos que tienen una salinidad extremadamente alta. Es una sal de toxicidad muy elevada y se puede formar en suelos con alto contenido en NaCl, en los que el Na^+ se intercambia con el Mg^{2+} adsorbido en las posiciones de intercambio:



Es una sal muy higroscópica, pudiendo absorber humedad del aire. Sus eflorescencias tienen un sabor amargo.

El cloruro cálcico, si bien su solubilidad es muy alta, es una sal muy poco frecuente en suelos debido a la mayor estabilidad de otras sales cálcicas, como los sulfatos o los carbonatos:



Tanto el yeso como el carbonato cálcico precipitan y la reacción progresa hacia la derecha.

El cloruro potásico presenta unas propiedades análogas a las del NaCl, aunque es poco frecuente en los suelos debido a que el K^+ se inmoviliza en el suelo, bien en la estructura de las arcillas de tipo ilita o bien en la biomasa debido a su carácter de macronutriente.

El ión cloruro favorece la clorosis, que se acentúa en las partes más iluminadas y puede degenerar en necrosis de los bordes de las hojas. Las concentraciones superiores a 0.5 gramos por litro se consideran peligrosas en la mayoría de los suelos. Para la FAO la tolerancia de este ión es de 4 meq L^{-1} y a partir de 10 meq L^{-1} los efectos ya son graves (Villegas, 1995).

2.1.3.15.2 Efecto de las concentraciones de sulfatos

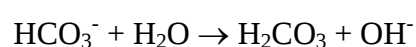
El sulfato sódico es frecuente en los suelos salinos. Sus eflorescencias tienen un sabor jabonoso-salado. Su solubilidad se ve afectada fuertemente por la temperatura, lo que hace que tienda a concentrarse en la superficie del suelo, ya que durante el período cálido asciende a la superficie del suelo formando parte de las eflorescencias (rasgo muy típico de los suelos salinos) y durante el período húmedo, que en nuestro clima coincide con el frío, se lava menos que las otras sales. Mucho menos tóxica que el sulfato magnésico.

El sulfato magnésico es una sal frecuente en los suelos salinos, muy soluble y altamente tóxica. El sulfato potásico, es escaso, en general, en los suelos salinos, por lo que no suele ser responsable de salinizaciones en condiciones naturales, aunque puede crear problemas cuando se hace un mal uso de los abonos, generalmente en invernaderos. Junto con el KCl son las sales menos tóxicas (Villegas, 1995).

Cuando se riega con aguas con alto contenidos en sulfatos, hay limitaciones en el desarrollo radicular y en la producción, que se agrava con la utilización de abonos ricos en sulfatos. El límite de tolerancia admitido es de 0.3 g L^{-1} (Villegas, 1995).

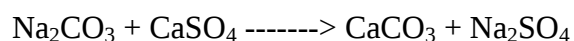
2.1.3.15.3 Efecto de las concentraciones de carbonatos y bicarbonatos

Los carbonatos y bicarbonatos sódicos presentan una solubilidad elevada, aunque dependiendo de la temperatura. Su presencia en suelos en cantidades relativamente elevadas implica condiciones de alcalinidad ($\text{pH} > 9$) debido a la formación de OH^- :



La presencia de otras sales solubles en la solución del suelo limita la formación del carbonato y bicarbonato sódico, por lo que estas sales suelen ser

abundantes cuando la salinidad total es baja, ya que se pueden producir reacciones como:



en las que el CaCO_3 y el MgCO_3 son poco solubles y precipitan, con lo que las reacciones se desplazan hacia la derecha. En presencia de NaCl , la solubilidad del carbonato y bicarbonato sódico disminuye igualmente por efecto del ión común (Villegas, 1995).

La fuerte alcalinidad que originan crea condiciones poco aptas para el crecimiento de los cultivos, pudiéndose presentar efectos desfavorables a concentraciones bajas (0,05-0,1 %). El bicarbonato sódico es menos alcalino que el carbonato, debido a que el ácido carbónico neutraliza en parte el efecto alcalino. Su solubilidad es también menor que la del carbonato (Villegas, 1995).

2.1.3.15.4 Efecto de las concentraciones de nitratos

El nitrato sódico es una sal muy soluble y tóxica, aunque, en general, muy poco frecuente y rara vez supera el 0,05 %. Se han citado en cantidades elevadas en desiertos muy áridos. En la actualidad se sabe que el cultivo intensivo de la tierra, aún sin fertilizantes, facilita la oxidación del nitrógeno reducido a nitrato de la materia orgánica presente en el suelo descompuesto por acción de la aireación y la humedad. Este aporte extra de nitrógeno se dispersa en la esorrentía hacia los ríos y cursos de agua de las tierras agrícolas. El exceso de nitrato en las aguas residuales ha traído como consecuencia el crecimiento explosivo de algas que contaminan el agua una vez que mueren. El ion nitrato, normalmente, no causa este efecto en los reservorios de agua dulce, donde el fósforo es el nutriente limitante, en lugar del nitrógeno. Así, un aumento de los niveles de nitrógeno no conduce a un aumento del crecimiento de las plantas si no se vea acompañado de un aumento del contenido de fósforo. Sin embargo, hay casos en los que el nitrógeno es el nutriente limitante de manera temporal (Mota, 2011).

El nitrógeno es el elemento primordial para las plantas, ya que forma parte de las proteínas y de otros compuestos orgánicos esenciales. Las plantas lo absorben en forma de nitratos y amonio. La deficiencia de este elemento afecta al crecimiento, en cambio el exceso adquieren un gran desarrollo pero la calidad de los frutos desciende peligrosamente, haciendo que haya deficiencias de los demás nutrientes (Villegas, 1995).

2.1.3.15.5 Efecto de la concentración de fosfatos

El agua limpia, rara vez contiene cantidades importantes de fósforo, incluso después de haber atravesado un suelo fértil. La solubilidad de los compuestos de fósforo es demasiado baja para que pueda ocurrir un significativo transporte por lavado por este procedimiento. Sin embargo, existen otros caminos por los que el fósforo penetra en los lagos y corrientes fluviales, en cantidades considerables (Thompson y Troeh, 1988).

El contenido de fósforo de las corrientes fluviales se ha visto incrementado de manera drástica durante las últimas décadas hasta un 300 %. La mayor parte del aumento parece debido a los detergentes que contienen fósforo. Por eso los ríos muestran la mayor concentración de este elemento en las inmediaciones de los vertidos de alcantarilla y aguas residuales (Thompson y Troeh, 1988).

La erosión del suelo, especialmente de los campos intensamente abonados, contribuyen también a la incorporación del fósforo a las masas de aguas. Probablemente este es el camino más importante en términos de eutrofización-efecto de enriquecimiento en nutrientes, que causa la proliferación indeseable de algas (Thompson y Troeh, 1988).

Los fertilizantes que se utilizan en la agricultura pueden tener un efecto adverso tanto directo como indirecto en la salud. La contaminación de los suministros de agua con fosfatos presentan el riesgo de provocar la eutrofización de los lagos y ríos. La eutrofización en sí no tiene un impacto en sí en la salud, pero contribuye en gran medida a los precursores de los subproductos indeseables de la

desinfección química tales como los trihalometanos (THM) algunos de los cuales han sido implicados como cancerígenos. La formación de THM es muy probable durante la preoxidación con cloro para reducir los problemas de sabor y olor producidos por la eutroficación (FAO, 1993).

La cuestión de la solubilidad es tan importante para evaluar el contenido en fósforo de los fertilizantes, como lo es para averiguar la disponibilidad de éste en el suelo. Algunos materiales que contiene fósforo y que se utiliza como fertilizantes son la fosforita, los superfosfatos y la vinaza.

La tecnología de la utilización de la vinaza viene presentado importantes mejoras. La vinaza es ampliamente usada en Brasil como abono "in natura", el que a los actuales costos de fertilizantes, se constituye en actividad económica, por el ahorro de divisas en la reducción de importaciones de los mismos. Existe, sin embargo, limitaciones de orden geográfico y topográfico para la aplicación generalizada de esta aplicación. En el sentido de minimizar dichas limitaciones están siendo introducidas, en nuevas destilerías, modernas tecnologías de producción, direccionadas hacia la reducción del volumen de la vinaza generada (Campodónico *et al.*, 1984).

La vinaza es un subproducto de la fabricación de alcohol etílico obtenido ya sea por fermentación o destilación. Este subproducto tiene un carácter ácido ($\text{pH} = 4,6$). Goza además de una elevada carga orgánica. Un metro cúbico de vinaza diluida contiene aproximadamente 63 kg de materia orgánica, 1,18 kg de nitrógeno, 7,8 kg de óxido de potasio y 0,15 de anhídrido fosfórico. Estas características hacen que la vinaza pueda utilizarse como alimento para ganado, combustible y fertilizante (Arroyo, 1988).

2.1.3.16 Clasificación hidrogeoquímica

Los parámetros hidroquímicos y su distribución aportan información acerca de:

- El origen y distribución del agua subterránea

- Los procesos físico--químicos que afectan al agua químicos que afectan al agua
 - La calidad del agua: degradación y presencia de contaminantes
- Esta información es esencial para:
- Establecer la evolución del acuífero en el tiempo y el espacio
 - Evaluar la vulnerabilidad del acuífero
 - Detectar afecciones y establecer las medidas correctoras: contaminación, salinización, pérdida de calidad
 - Gestionar el recurso

El agua de lluvia que recarga un acuífero tiene escaso contenido iónico. En la escorrentía superficial y a través de la zona no saturada y la zona saturada, hay una interacción la interacción agua--fase sólida por la que el agua va adquiriendo fase sólida por la que el agua va adquiriendo sustancias químicas como especies disueltas.

Los factores que influyen en la interacción agua fase sólida son:

- Naturaleza de la fase sólida (mineralogía, composición química)
- Superficie específica de las partículas
- Concentración de especies iónicas en el agua
- Actividad bacteriana
- Tiempo
- Condiciones del sistema: Temperatura, presión, pH, potencial redox, presión de CO₂, etc. (Lillo, 2014).

Hay varios procedimientos para un estudio crítico con respecto a los orígenes de los constituyentes disueltos en aguas, las modificaciones en el carácter de un agua con el paso a través de un área y problemas geoquímicos relacionados. El Diagramas de Piper, es uno de ellos, este procedimiento gráfico es una herramienta efectiva en la segregación analítica de datos, está basado en el diagrama múltiple triangular mostrado en la Figura 5, cuya forma fue gradual e independientemente desarrollada durante mucho años. Ningún diagrama describe tan bien los problemas geoquímicos.

Muchos problemas de interpretación pueden ser resueltos sólo por un concienzudo estudio de análisis crítico de datos.

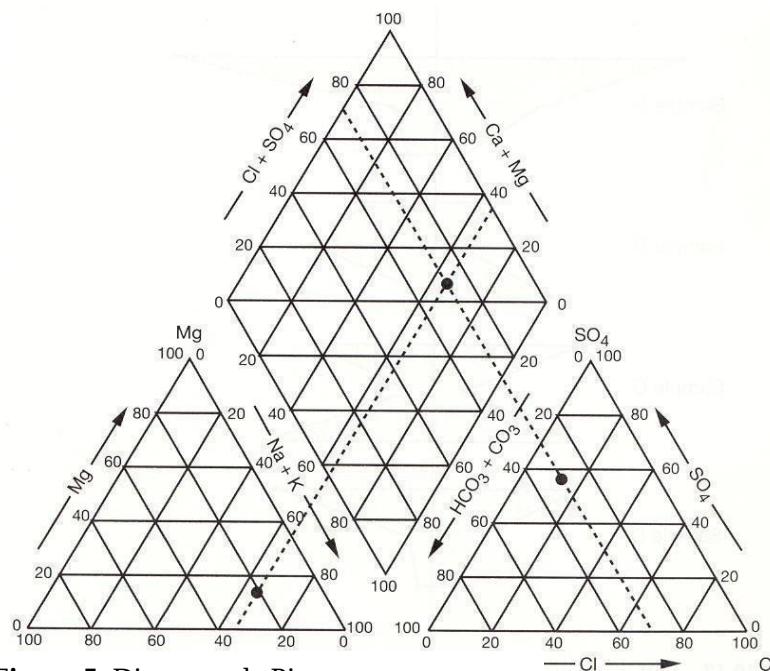


Figura 5. Diagrama de Piper
Fuente: (Ventura, 2012)

De cierta manera parte es análogo a la carta geoquímica de Hill y al diagrama de clasificación de Langelier y Ludwing. La Figura 5 muestra diagramas que son una imagen espejo, los cuales hasta 1942 fueron usados ampliamente por muchos profesionales, y de esta manera surgieron críticas que llevaron a los actuales diagramas de Piper.

La interpretación de los datos obtenidos de los análisis químicos requiere inicialmente de un orden, en donde el objetivo es clasificar las aguas de acuerdo a características comunes, en este caso de acuerdo al anión o catión predominante. El diagrama triangular de Piper permite representar tres iones forma simultánea. Este gráfico permite representar muchos análisis sin dar origen a confusiones. Las aguas geoquímicamente similares quedan agrupadas en áreas bien definidas (Custodio, 1965). Los datos se grafican trazando rectas paralelas al elemento opuesto del que se está representado, tanto para cationes como aniones, cuando ya se ha encontrado la intersecciones se trazan líneas paralelas al rombo de la parte superior del diagrama (Ramírez, 2009).

El agua contiene constituyentes disueltos, cationes (metales o bases) y aniones (radicales ácidos) en equilibrio químico los unos con los otros. Comúnmente las aguas contienen algo de sílice, hierro y aluminio, pero esos constituyentes son usualmente coloides como óxidos y no son parte del equilibrio químico con los constituyentes ionizados.

Así en términos generales, el agua natural puede ser tratada en términos de variables, de tres cationes y tres aniones, y porque el subtotal de sus cationes y aniones, son cada uno el 50% del total del valor reactivo, el carácter químico esencial del agua puede ser indicado gráficamente en el triángulo.

CAPÍTULO III

3.1 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1 Ubicación geográfica del proyecto de investigación.

El presente estudio se desarrolló en el cantón Milagro se encuentra ubicada aproximadamente a 40 kilómetros de la ciudad de Guayaquil en la provincia del Guayas, en las coordenadas geográficas 1° 59' a 2° 14' de latitud Sur y de 79° 41' a 79° 27' de longitud Oeste (Figura 6).

El cantón Milagro tiene una extensión territorial de 405.63 km², cuyos límites son:

- Al norte con los cantones Yaguachi, Baquerizo Moreno y Simón Bolívar.
- Al sur con los cantones Yaguachi y Marcelino Maridueña.
- Al este con los cantones Naranjito y Marcelino Maridueña; y
- Al oeste con el cantón Yaguachi.

El cantón Milagro se encuentra constituido por las parroquias Chobo, Mariscal Sucre y Roberto Astudillo.

La ciudad de Milagro está conformada por cuatro parroquias urbanas denominadas:

- Parroquia Camilo Andrade Manrique.
- Parroquia Los Chirijos.
- Parroquia Coronel Enrique Valdez.
- Parroquia Ernesto Seminario.

La ciudad de Milagro se encuentra dividida por el río Milagro en dos partes, las mismas que se denominan de la siguiente manera:

- Milagro Viejo.- Ubicado en el margen derecho, sector Sur; y
- Milagro Nuevo.- Ubicado en el margen izquierdo, sector Norte.

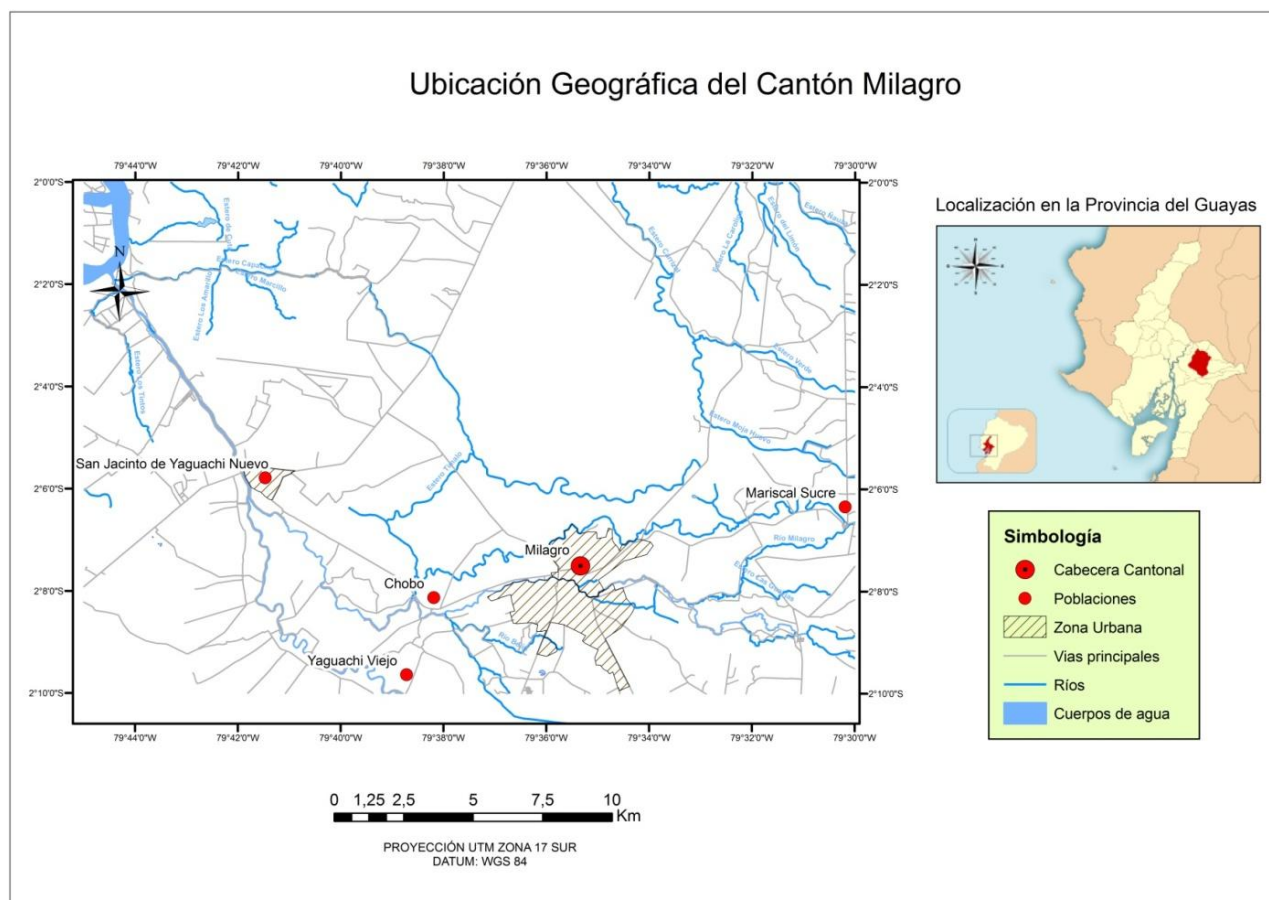


Figura 6. Ubicación geográfica del cantón Milagro. Shapes (IGM, 2009)

La microcuenca del río Milagro se encuentra inmersa en la cuenca del río Guayas, ocupando el 9,51% de la subcuenca del río Jujan, 7,04% de la subcuenca del río Yaguachi y 0,20% de Drenajes menores (CLIRSEN, 2009), es la que abastece de agua para riego al cantón a través de un sistema de riego público que consta en el plan de desarrollo de la provincia del Guayas 2012 – 2021, que contempla un área de 10335 ha con cultivos diversos como caña azúcar, banano, cacao, arroz, maíz, entre otros. Milagro es una de las ciudades de mayor progreso en la provincia, debido a su intensa actividad comercial y el desarrollo de su industria agro-productiva, entre las cuales destacan la Industria Azucarera Valdez, gozando de una muy buena posición en el mercado nacional e internacional en la producción de azúcar y sus derivados, Ecoelectric que es una compañía dedicada a la producción de energía eléctrica a partir del bagazo (residuos) de la caña de azúcar. Existe en Milagro, dada las bondades de su clima, una gran cantidad de viveros en donde se cultivan una amplia y exquisita variedad de plantas ornamentales. En vista de la variedad, belleza y bajos costos de las plantas, estos viveros tienen una alta demanda y aceptación tanto a nivel nacional como internacional. La mayoría de los viveros se encuentran en la carretera Milagro- Naranjito.

Son aproximadamente 3095 las personas beneficiadas de este sistema de riego, las mismas que forman alrededor de 619 familias (PDOT, 2012). En la actualidad la zona regable con las aguas de riego asciende a 11300 ha de las cuales están cultivadas aproximadamente 9342 ha (INEC-CPV, 2010).

La aducción se logra mediante bocatomas por gravedad gracias a pequeños embalses ubicados en los ríos Chimbo y Milagro, cuyas coordenadas U.T.M. WGS 84 son las siguientes:

Bocatoma 1: 684,051 E, 9'759,050 N y una altitud de 33 msnm

Bocatoma 2: 663,768 E, 9'766,050 N y una altitud de 41 msnm

El sistema de riego consta de un canal principal de 26.25 km de longitud, 97.77 km de canales secundarios (todos revestidos), 32.05 km de canales terciarios (revestidos) y 24.05 km de tuberías (PDOT, 2012-2021).

3.1.2 Identificación de variables/categorías a utilizar en el proceso investigativo.

Para determinar la calidad del agua del río Milagro se midieron las siguientes variables que son utilizados como indicadores de calidad en varios países del mundo y recomendados por organizaciones a cargo del control de la calidad del agua (*Canadian Environmental Quality Guidelines* 1999, Carr y Rickwood, 2008, EPA, 1996), los principales parámetros son: pH, temperatura, sólidos totales, nitratos, fosfatos, (Mejía, 2005), de los cuales, los métodos de análisis se describen a continuación en el Cuadro 7, serán los evaluados en la propuesta de investigación y se refieren a los efectos que tienen sobre los cultivos a largo plazo, en la producción, condiciones del suelo y el manejo agrícola.

La determinación de parámetros en laboratorio se realizó siguiendo todas las normas establecidas por el Standard Methods, como se indica en el Cuadro 7.

En base a los objetivos planteados, el tipo de investigación realizada fue un estudio explorativo, descriptivo, correlacional o explicativo, para encontrar la realidad e interpretar cada una de los resultados obtenidos de la investigación tratando de llegar a analizar las situaciones circundantes que determinen el proyecto y lograr definirlo y encontrar soluciones viables (Díaz, 2009).

Según su finalidad

Teórica – Aplicada

La investigación que se realiza, mantiene características fundamentales para conceptualizar de manera ordenada cada una de sus particularidades, entre las principales se planteó como teórico por tratarse de un estudio minucioso y exhaustivo de la subcuenca media y baja del río Milagro de la ciudad de Milagro.

Según el contexto de campo:

La investigación que se realiza, mantiene características fundamentales para conceptualizar de manera ordenada cada una de sus particularidades, entre las

principales se planteó como teórico por tratarse de un estudio minucioso y exhaustivo de la subcuenca media y baja del río Milagro de la ciudad de Milagro.

Cuadro 7. Determinaciones físico químicas del agua

DETERMINACIÓN	MÉTODO	REFERENCIA
1. pH	Potenciómetro ThermoCientific	NMX-AA-008-SCFI-2000
2. Conductividad eléctrica	Potenciómetro ThermoCientific	NOM-AA-93-1984
3. Residuo seco evaporado	Gravimetría estufa	NOM-AA-34-1981
4. Residuo seco calcinado	Gravimetría mufla	NOM-AA-34-1981
5. Sodio y potasio	Espectrofotometría de absorción	APHA, 1995 3500-Na ⁺ y K ⁺ , D
6. Calcio y magnesio	Espectrofotometría de absorción	APHA, 1995 3500 Ca ²⁺ , D
7. Carbonatos	Volumétrico titulación con ácido sulfúrico (Merck Titrisol Art. 9984) 0,01N indicador fenofaleína.	APHA, 1995 2320 B
8. Bicarbonatos	Volumétrico titulación con ácido sulfúrico (Merck Titrisol Art. 9984) 0,01N.	APHA, 1995 2320 B
9. Cloruros	Mohr. Titulación con nitrato de plata (Merck solución Art. OC248386) 0,01N	APHA, 1995 4500-C-IB
10. Sulfatos	EspectrofotometríaHachλ=450 nm	Método 375.4 EPA
11. Fosfatos	EspectrofotometríaHachλ=530 nm	Método 365.2 EPA
12. Nitratos	EspectrofotometríaHachλ=500 nm	Método 8171 EPA

Según el contexto de campo:

Por ser un estudio imparcial que analiza las características de las aguas utilizadas para riego de las plantaciones de la microcuenca del río Milagro, servirá como base para la realización de proyectos relacionados con el manejo de las aguas residuales del cantón Milagro y sin duda alguna será un aporte importante para saber en qué condiciones se encuentran las aguas de riego.

Según el control de variables:

Experimental

Investigación Transversal

Se considera transversal porque el análisis obtenido, permitirá conocer el estado de las aguas de riego usadas en el cantón en un lapso reducido en el tiempo

El diseño Cualitativo

Este proyecto se establece como cualitativo por resultar como un aporte en calidad de información que se obtuvo de libros, entrevistas y páginas web (Díaz, 2009).

3.1.3 Método de investigación, técnicas e instrumentos de recolección y procesamiento de datos e información.

Según el Manual de instrucciones para la toma, preservación y transporte de muestras de agua para consumo humano para análisis de laboratorio (López J. G., 2011), el muestreo es una operación en la que hay que tener especial atención para que la fracción de agua a analizar no sufra cambios químicos y biológicos o contaminación antes de llegar al laboratorio. La cantidad mínima de agua que se requiere es de 1 L, que se deben almacenar en recipientes plásticos, por su resistencia y su poca reactividad con los iones del agua. El recipiente debe enjuagarse tres veces con la muestra tres veces antes de tomar la muestra definitiva y cerrarse herméticamente, dejando alrededor de 1% de la capacidad del envase para permitir la expansión térmica (APHA, 1995).

El muestreo de las aguas en canales, ríos y drenajes de la zona, se realizó durante los meses de máxima precipitación y de estiaje entre los años 2012 y 2013 para observar el cambio en las concentraciones, a unos pocos centímetros de la superficie. Es importante tener en cuenta que el muestreo en pozos se debe hacer después de una hora que se haya bombeado para conocer realmente la cantidad de sales del acuífero (APHA, 1995).

Para establecer los diferentes sitios de muestreo, se utilizó cartas geográficas (IGM, 2009) a escala 1:1000000. El recorrido del muestreo inició en los nacimientos de los ríos al este del cantón Milagro en donde se encuentran los sistemas

hidrográficos: Belín, Milagro, Monos, Tímalo y Carrizal y terminó en los campos en donde se aprovecha el agua para irrigación. Las muestras se tomaron en pozos, manantiales y antes de que los ríos pasen por las zonas urbanas y luego de que atravesaron la población, para conocer el cambio en la salinidad. Todos los mapas han sido desarrollados con los shapes del IGM y modificados con el programa ArcGis 9.3.

3.1.4 Evaluación de resultados y discusión

3.1.4.1 Características Biofísicas

El cantón Milagro se encuentra dentro de una zona donde se presenta el clima tropical monzónico, con temperaturas promedias diarias de 25 a 27°C y precipitaciones promedias de 1100 a 1800 mm. En su territorio se encuentra zonas de déficit hídrico para actividades agrícolas de 400 a 600 mm, con una zona de evapotranspiración potencial de 1400 a 1500 mm. El número de días secos promedios anuales varía de 160 al oriente, hasta 190 al occidente, en un intervalo medio anual de junio a diciembre. El número de días del período vegetativo favorable para la agricultura va de 120 al occidente a 150 al oriente, entre enero a mayo (CLIRSEN, 2009).

La formación ecológica corresponde a la conocida como bosque seco tropical. Las condiciones climáticas de la ciudad se registran en la estación meteorológica “Milagro”, que se encuentra dentro de la Compañía Azucarera Valdez S.A. Las condiciones climáticas típicas de Milagro tienen las características que se muestran en el Cuadro 8.

Los datos se complementan con los valores promedios mensuales de temperatura, precipitaciones y evaporación potencial media que se muestran en las Figuras 7, 8 y 9 respectivamente.

Cuadro 8. Datos meteorológicos de la estación milagro**PERIODO** 1959-2000

PARÁMETRO	PROMEDIO ANUAL
TEMPERATURA MEDIA (°C)	25,1
Temperatura Máxima	36,0
Temperatura Mínima	14,0
Temperatura Máxima Media	30,1
Temperatura Min. Media	21,5
Humedad Relativa Media (%)	80
Humedad Relativa Máxima Media	97
Humedad Relativa Mínima Media	54
Punto de Rocío (°C)	21,5
Tensión del Vapor (Hpa)	25,7
Precipitación (mm)	1.342,0
Precipitación Máxima (mm)	1.083,2
Precipitación Máxima 24hs (mm)	194,5
Días con Precipitación	110
Nubosidad (Octavos)	7
Heliofania (Horas)	1.017,2
Evaporación (Tanque "A") (mm)	1.311,1
Viento Velocidad Media (m/s)	0,8
Viento Velocidad Máxima Media	6,3

Fuente: Estación Metereológica Milagro (INAMHI, 2006).

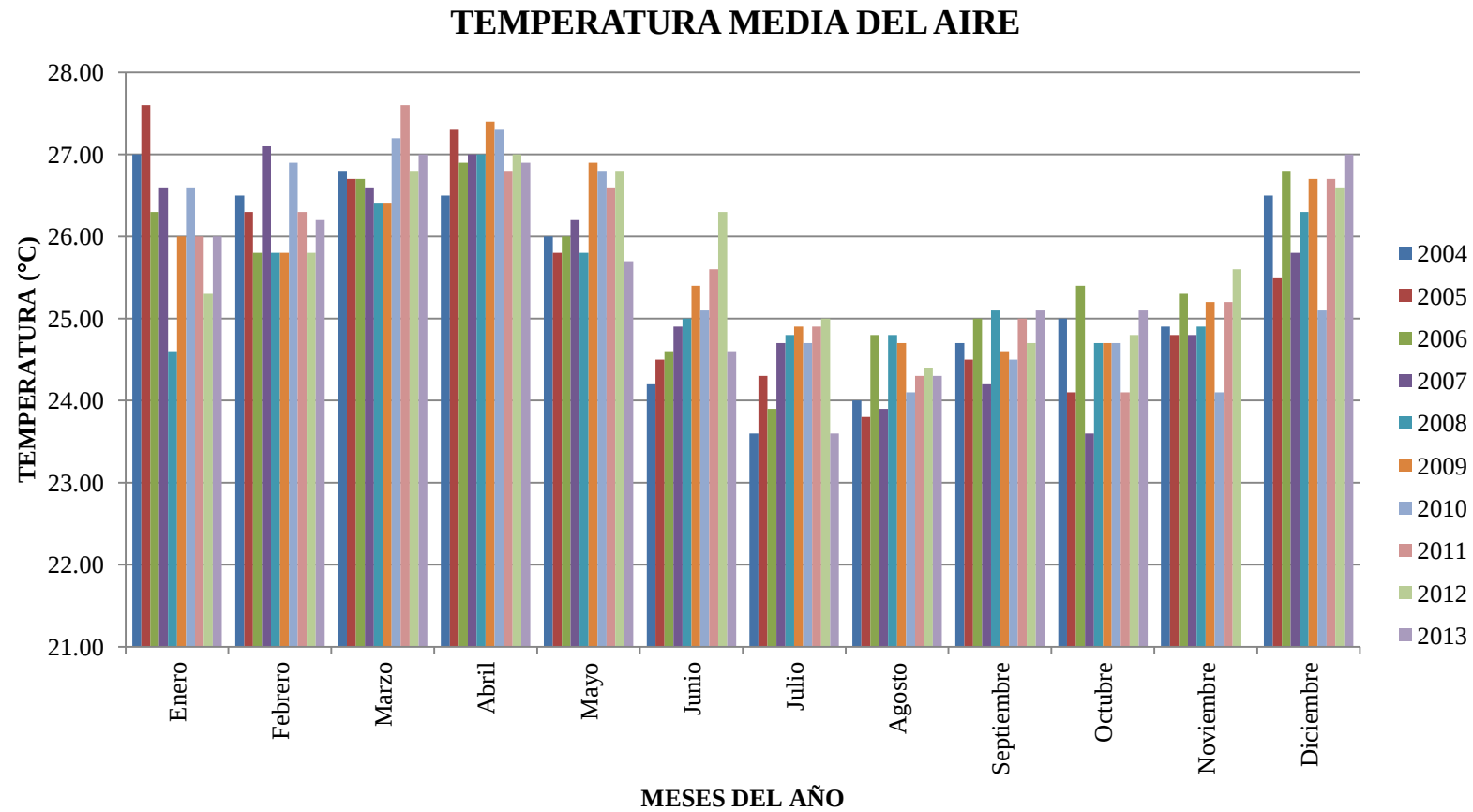


Figura 7: Temperatura media del aire (°C)

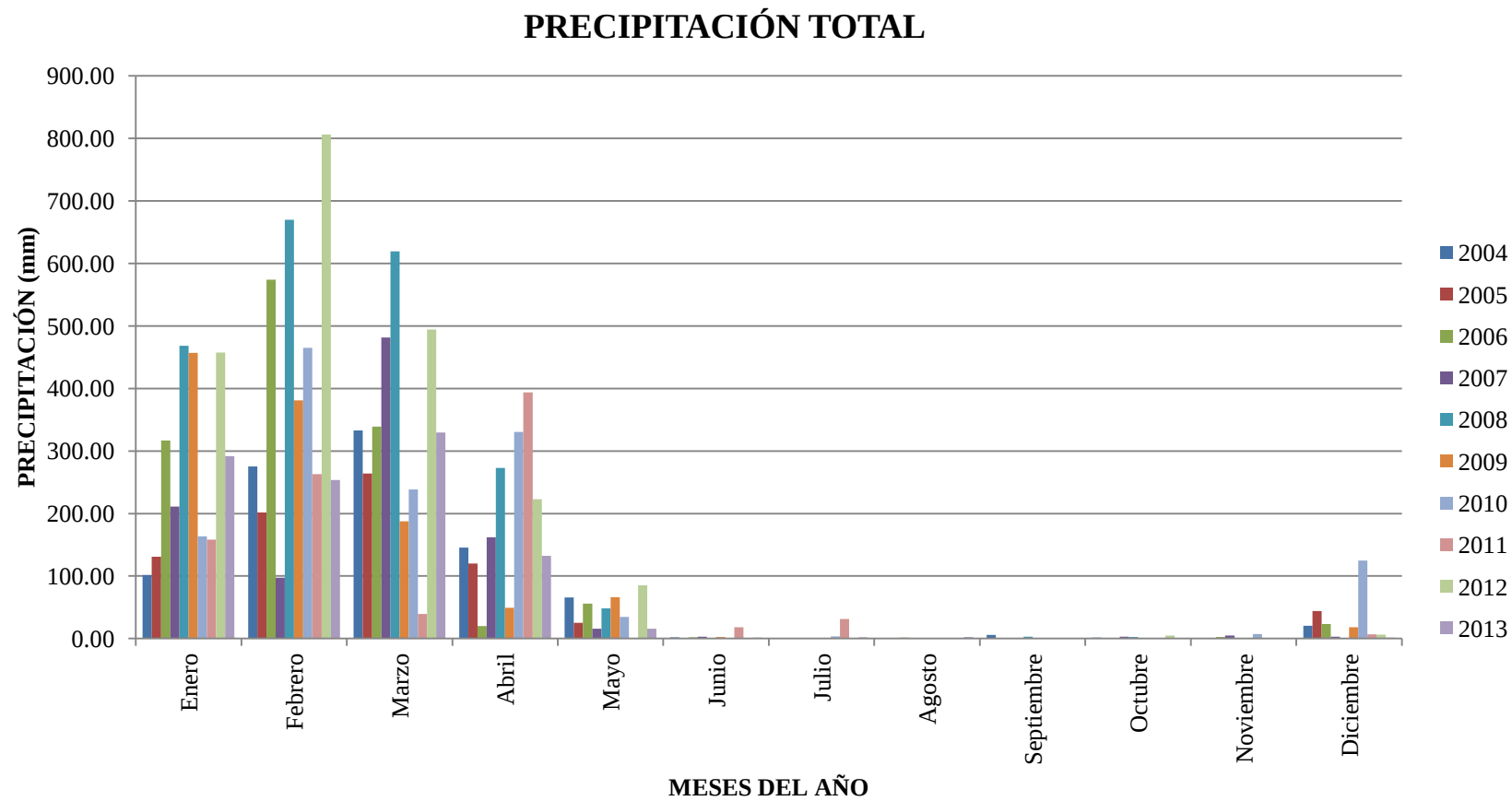


Figura 8: Precipitación total (mm)

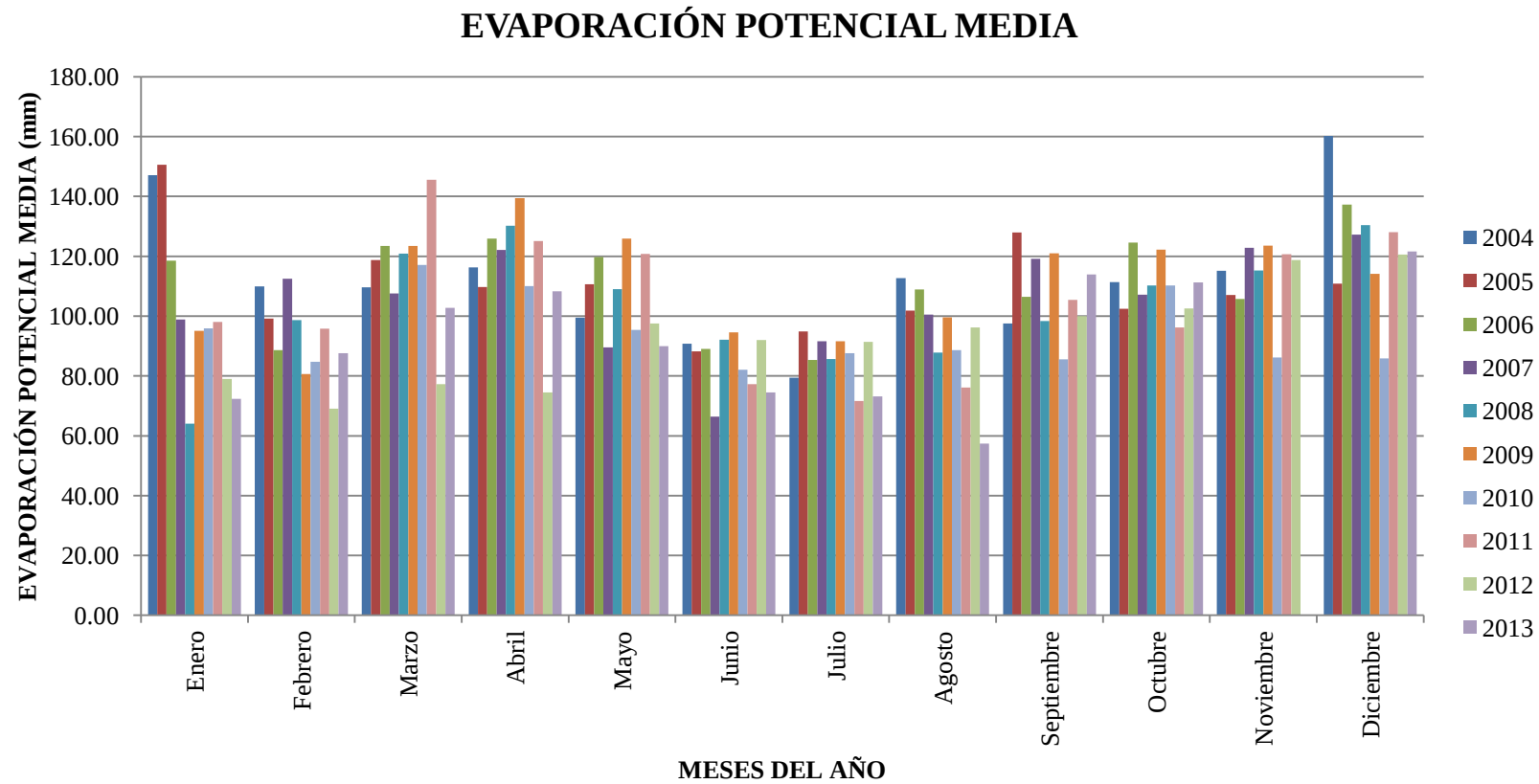


Figura 9: Evaporación potencial media (mm)

Fuente: INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología)

3.1.4.2 Geología y Suelos

La composición geomorfológica del cantón Milagro, posee unidades cuyo origen principalmente es aluvial por la gran influencia del Océano Pacífico y de los diferentes ríos que atraviesan el cantón proveniente de la cordillera de los Andes, sin dejar de lado al pie de monte representado por el cono de esparcimiento provocado por el río Chimbo. Es así que la unidad geomorfológica que mayor superficie ocupa, tanto en el año 1983 y en el año 2009, es el nivel ligeramente ondulado, cuya superficie se ha incrementado de 21968,77 a 23049,93 ha (CLIRSEN, 2009).

Milagro se asienta sobre la zona oriental de la unidad morfológica denominada Depresión del Guayas, cuyos límites naturales, por el lado occidental, es la cordillera de los Andes y por el lado oriental la cordillera de Chongón - Colonche y el estuario del río Guayas. Esta depresión o cuenca se ha rellenado paulatinamente con gran cantidad de sedimentos de origen reciente, Holoceno; aportados por algunos volcanes y por la erosión de la cordillera, y que paulatinamente fueron arrastrados desde las partes altas por las corrientes de diversos afluentes que finalmente formaron los ríos Milagro, Chimbo, Yaguachi, Vines y Babahoyo. El depósito de estos materiales en la parte baja, formó la gran llanura de inundación donde hoy se asientan varias ciudades y poblaciones menores de la cuenca del río Guayas, entre ellas la ciudad de Milagro (GYPAM, 2012).

El cantón Milagro se encuentra exactamente en la llanura oriental, donde sus suelos se originan principalmente por la acumulación de los materiales detríticos erosionados y que fueron sedimentándose en capas sucesivas desde el terciario. En la parte occidental de esta llanura, los suelos se han ido formando sobre sedimentos originados de areniscas y calizas que fueron acumulándose para formar las mesetas y los cerros bajos localizados al sur y sureste (GYPAM, 2012).

En la mitad oriental de la llanura de inundación, los suelos se han enriquecido continuamente con sedimentos más recientes, depositados periódicamente por las corrientes de los principales ríos que acarrear los materiales erosionados de las rocas

básicas volcánicas e ígneas en su largo recorrido a través de la cordillera de los Andes (PDOTM, 2011).

En la parte nororiental de la llanura, los suelos se han formado por la acumulación sucesiva de los materiales originarios, relativamente ricos en nutrientes, como las arenas feldespáticas y por los residuos de la meteorización de los minerales ferruginosos provenientes de la cordillera occidental de los Andes.

Los fenómenos de meteorización intensa, junto al proceso continuado de la erosión superficial, crean las condiciones apropiadas para un continuo enriquecimiento de los elementos nutritivos de los suelos que cubren las rocas básicas subyacentes de estas unidades fisiográficas de la región (PDOTM, 2011).

En el cantón de Milagro hay dos zonas de ecosistemas naturales que se han delimitado como porciones de terreno en función de parámetros físicos como humedad, temperatura, precipitación, caracterización fisionómica de vegetación, suelos, comunidades biológicas y modificaciones humanas, denominadas Unidades Ambientales. Éstas son: La Llanura Aluvial Reciente y Piedemonte Andino (Arias, 2003).

La Llanura Aluvial Reciente ocupa un 85%, estando solo un 11% de la superficie del cantón en la segunda unidad ambiental. La Llanura Aluvial Reciente y Piedemonte Andino son de origen deposicional es decir de transporte de sedimentos, pero ésta última se caracteriza por ser de tipo torrencial. (Gobierno Autónomo Decentralizado del cantón San Francisco de Milagro, 2012)

i. Llanura Aluvial Reciente

Corresponde a una extensa área geográfica plana o ligeramente ondulada. Las altitudes son menores a 20 m, pero la mayoría de ellas no sobrepasan los 5 m. Es utilizado típicamente para la siembra de arroz; el nivel ondulado con presencia de agua, que en su superficie presenta pequeñas ondulaciones de amplitud métrica que han sido mecanizadas para la siembra de arroz; el nivel ligeramente ondulado, con un suelo y vegetación más desarrollados, donde aparecen cultivos como la caña de

azúcar, banano, soya. Existen además diques, bacines, cauces y meandros abandonados. De estas unidades, los diques quizás son los que revisten mayor importancia ya que controlan las inundaciones y presentan un rico ecosistema y suelo de buenas características que permite la existencia de arboricultura tropical, incluyendo cacao, mango y banano, entre otros (CLIRSEN, 2009).

Nivel ligeramente ondulado (No)

De origen deposicional, constituye la forma de relieve preponderante en el cantón Milagro y se encuentra distribuido uniformemente en toda su extensión, asociada con diques de área considerable y causes abandonados aislados en el noreste.

Este relieve presenta tipos de suelo como: Entic Haplusterts, Fluventic Hapludolls, Vertic Haplustepts, Fluventic Haplustepts, Vertic Eutrudepts, Fluventic Eutrudepts, Humic Eutrudepts, Vertic Dystrudepts, Humic Dystrudepts, Typic Ustifluvents, Typic Udifluvents (CLIRSEN, 2009).

Nivel ondulado con presencia de agua (Na)

De origen deposicional, su presencia es aislada y posee una extensión pequeña en la parte norte y sur occidental del cantón. La presencia de agua determina condiciones aptas para el cultivo anual de arroz, que constituye la cobertura vegetal dominante. Dentro de esta forma de relieve se encontró el tipo de suelo: AquicHapluderts (CLIRSEN, 2009).

Dique o banco aluvial (D)

De origen deposicional, su presencia se densifica hacia la parte oriental del cantón, la segunda en importancia en Milagro, luego del nivel ligeramente ondulado. Sus suelos son aprovechados en misceláneos indiferenciados (arboricultura tropical) que incluyen cacao, banano, pero principalmente se dedican al cultivo semipermanente de caña de azúcar, en terrenos que asocian esta forma de relieve con el nivel ligeramente ondulado cuya transición ha sido uniformizada por

mecanización. Presenta los siguientes tipos de suelo: Fluventic Hapludolls, Fluventic Haplustepts, Fluventic Eutrudepts, Typic Ustifluvents (CLIRSEN, 2009).

Cauce abandonado (Ca)

De origen deposicional, la mayoría se encuentran ubicados en la parte noroccidental del cantón. Su presencia se ha determinado principalmente utilizando fotografía aérea de la década de los 70, ya que desaparecen debido a la mecanización. Dentro de esta forma de relieve se encontró este tipo de suelo: Typic Ustipsamments (CLIRSEN, 2009).

Meandro abandonado (M)

De origen deposicional, localizado en el sur, hacia el límite con el cantón Naranjito. Está ocupado con cultivos anuales de maíz. Conserva la peculiar forma de herradura. Esta forma de relieve presenta los siguientes tipos de suelo: Vertic Endoaquepts, Fluventic Endoaquepts (CLIRSEN, 2009).

Cerro testigo (Ct)

De origen tectónico erosivo, se encuentra al interior del nivel ligeramente ondulado, hacia el norte de la ciudad de Milagro. Corresponde a un relieve residual esculpido por la erosión, que pertenece a la Formación Cayo. Posee una cima redondeada con vertiente convexa y su cobertura vegetal es de pasto natural. Dentro de esta forma de relieve se encontró un tipo de suelo: Typic Ustorthents (CLIRSEN, 2009).

ii. Piedemonte Andino

Hacia el sureste aparece el Piedemonte Andino, identificado por la presencia de un cono de esparcimiento, en donde además de caña, se observan parcelas de menor tamaño que en otras zonas de cantón dedicadas a diversos cultivos (CLIRSEN, 2009).

Superficie de cono de esparcimiento (Ces)

De origen deposicional de tipo torrencial, dispuesto en la parte sur del cantón. Despliega con ondulaciones de pendientes que llegan al 5%. La cubierta vegetal dominante es de cultivos semipermanentes de cacao, maíz, banano y también se utiliza en grandes extensiones de cultivos semipermanentes de caña de azúcar. Entre los principales tipos de suelo que presenta esta forma de relieve están: Humic Dystrudepts, Asociación Typic Ustipsamments- Typic Haplustepsts, Typic Ustipsamments, Mollic Ustifluvents (CLIRSEN, 2009).

En la Figura 10 se puede observar los tipos del suelo del cantón Milagro y en el Cuadro 9 la Geomorfología del cantón.

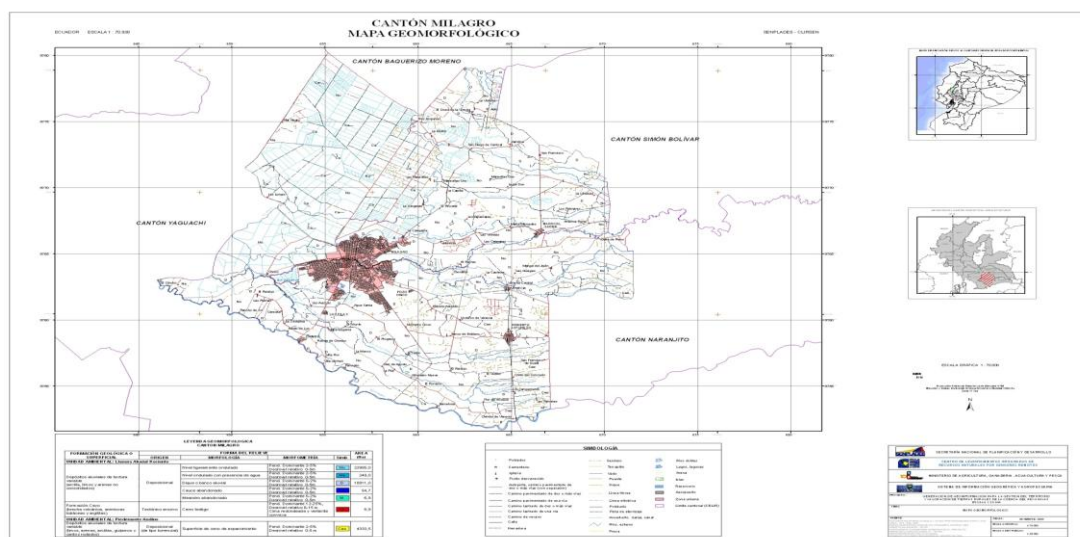


Figura 10. Tipos de suelos del cantón Milagro. Escala 1: 70000 Tomado de Sistema Nacional de Información. Mapas descargables: zona 5, Guayas. 2009. sni.gob.ec

FORMACIÓN GEOLÓGICA O SUPERFICIAL	FORMA DEL RELIEVE					AREA (Ha)
	ORIGEN	MORFOLOGÍA	MORFOMETRÍA		REPRESENTACIÓN	
			Pendiente Dominante	Desnivel Relativo		
UNIDAD AMBIENTAL: Llanura Aluvial Reciente						
Depósitos aluviales de textura variable (arcilla, limos y arena no consolidada)	Deposición	Nivel ligeramente ondulado	2-5 %	0-5m	No	22995,0
		Nivel ondulado con presencia de agua	2-5%	0-5m	Na	249,0
		Dique o banco aluvial	0-2%	0-5m	D	10911,0
		Cauce abandonado	0-2%	0-5m	Ca	54,7
		Meandro abandonado	0-2%	0-5m	M	6,9
Formación Cayo (Brecha Volcánica, areniscas tobáceas y argilitas)	Tectónico Erosivo	Cerro testigo (Cima redondeada y vertiente convexa)	12-25%	6-15m	Ct	8,9
UNIDAD AMBIENTAL: Piedemonte Andino						
Depósitos aluviales de textura variable (limos, arenas, arcillas, guijarros, y cantos rodados)	Deposicional de tipo torrencial	Superficie de cono de esparcimiento	2-5%	0-5m	Ces	43333,5

Cuadro 9. Geomorfología del cantón Milagro

Fuente: Sistema Nacional de Información. Mapas descargables: zona 5, Guayas. 2009.sni.gob.ec

3.1.4.3 Hidrología

Dentro de la división hidrográfica se encuentra inmerso en la cuenca del río Guayas, ocupando el 9,51% de la subcuenca del río Juján, 7,04% de la subcuenca del río Yaguachi y el 0,20% de drenajes menores (CLIRSEN, 2009).

En el Cantón Milagro, los ríos recorren cuencas muy cortas, presentan grandes picos de crecidas y largos estiajes durante los meses secos. Los ríos de influencia son: el Chimbo que nace en la cordillera de los Andes y desciende atravesando la planicie, limita por el sur con el cantón Milagro, su principal tributario es el río Chanchan; toma el nombre de Yaguachi al formar la confluencia con el río Milagro y desemboca al río Babahoyo. El río Yaguachi es el de mayor incidencia en las inundaciones de la región por la falta de capacidad de acarreo del cauce natural y el limitado arrastre de grandes cantidades de sedimentos por el gradiente bajo que presenta este sistema fluvial (CLIRSEN, 2009).

El sistema desborde-drenaje natural de las aguas tiene el siguiente comportamiento: las aguas del río Chimbo desbordan por su margen derecha hacia el estero Los Monos y el Milagro, a través de la llanura de inundación que se crea, esto ocurre en su parte media a la altura del área denominada Venecia. Por su margen izquierda, el río desborda en el sitio conocido con el nombre de Soledad, uniéndose con la llanura de inundación a los esteros Payo y Mojahuevo inundando zonas vastas que incluso llegan hasta Durán. En su cauce bajo, el Chimbo inunda parte del ingenio Valdez ubicado en la parroquia Chobo y, en unión con el Milagro, las áreas más occidentales del ingenio Valdez. Durante las inundaciones el río drena hacia Babahoyo (CLIRSEN, 2009).

El río Milagro nace en la zona oeste de la parroquia Chagüe; sus tributarios principales son varios esteros: por el norte el estero Chirijos, y por el sur, el estero Los Monos y los desbordamientos de los ríos Amarillo y Chimbo. El Milagro atraviesa a la ciudad de su mismo nombre, de este a oeste, dividiéndola en dos zonas denominadas Milagro Viejo, al norte, parte central, y Milagro Nuevo al sur del río (CLIRSEN, 2009).

Al norte del cantón, se ubica el río Chagüe – Amarillo, que nace en la zona alta de la provincia de Bolívar con el nombre de río Limón, atraviesa la parroquia Bucay con el nombre de Chaguán; continúa por el cantón Naranjito hasta llegar a la parroquia Mariscal Sucre donde se denomina río Amarillo (GYPAM, 2012).

3.1.4.4 Actividades productivas en la parte media y baja de la microcuenca del río Milagro.

La zona del cantón Milagro, se distingue por su baja altura cuya cota máxima alcanza los 65 msnm. Principalmente domina la forma del relieve "nivel ligeramente ondulado", caracterizado por pendientes entre el 2 y 5% cuyo suelo más productivo, comparado con otros predominantemente arcillosos, permite el cultivo semipermanente de banano, cacao y caña de azúcar. El cantón Milagro se encuentra cubierto en su mayor parte por cultivos de caña de azúcar, con una superficie de 18 285 ha, 11 ha que se ubican al noroeste y centro este; el segundo cultivo más importante es el cacao, con 9361,17 ha ubicadas principalmente en el noreste, centro este y sur del territorio cantonal (SENPLADES, 2010).

En esta zona se asientan los ingenios azucareros como: Azúcar Valdez y San Carlos, donde se produce caña a gran escala y por ende existe una buena infraestructura vial y de riego. La incidencia de este monocultivo se manifiesta en la modificación de los límites de transición de esta forma de relieve hacia los diques, el cual se ha perdido en la mayoría de los casos (CLIRSEN, 2009).

Milagro depende de la producción agrícola de las parroquias rurales del cantón y principalmente del Ingenio Valdez, símbolo económico de Milagro. Es el centro agrícola de la micro región y es productora de varios bienes y servicios agrícolas, debida en gran parte por su ubicación geográfica privilegiada y a que se encuentra en una zona estratégica entre la sierra y la costa ecuatoriana (Borja, 2011).

La importancia de Milagro se evidencia al conocer que en su micro región se encuentran más de seis de las empresas más grandes del Ecuador, además de varias tabacaleras, procesadoras de productos del mar, destilerías, distribuidoras farmacéuticas, supermercados de todo tipo, piladoras, etc. En el territorio milagreño

desde 1940 hasta 1950 se ubicaron los ingenios: El Cóndor, La Matilde, Chobo, Valdez, Supaypungo, Chague, Rocafuerte, San Carlos (Universo, 2006).

Otra de las riquezas que empieza a verse en todo el país y que nace de Milagro son las plantas. Decenas de viveros resguardan la carretera que conduce a Naranjito, que está a 20 minutos de Milagro. Entre los más grandes se destacan: Chabelita, Helechos, D'Lirios y El Rosal (Universo, 2006).

El sector agroindustrial de Milagro se orienta a la transformación de la caña de azúcar que es el producto que ha transformado al sector agroindustrial milagreño y se ha convertido en una de las herramientas de desarrollo económico (Universo, 2006).

3.1.4.5 Localización geográfica de los puntos de muestreo

Alrededor del 94% del área total del cantón Milagro está destinado a la producción agrícola, por lo que la demanda de agua de riego es muy alta, compitiendo además con otras actividades humanas que también demandan de este recurso. Esto ha elevado las posibilidades de usar aguas residuales para el riego, lo que obliga a conocer las características físico-químicas de las aguas y los efectos adversos sobre los terrenos donde se utilizan.

La zonas de muestreo se establecieron alrededor de los nacimientos de los ríos, al este del cantón Milagro, en donde se encuentran los sistemas hidrográficos: Belín, Milagro, Los Monos, Tímalo y Carrizal y terminó en los campos en donde se aprovecha esta agua para irrigación.

Las coordenadas de las estaciones de muestreo fueron determinadas con un GPS (*Geographical Position System*) y localizadas en las cartas topográficas (IGM) (1:1000.000) digitales del río Milagro (Datum WGS-84) de las cuales se tomaron las coordenadas y la altitud aproximada de las márgenes del río. Las coordenadas de cada una de ellas se presentan en el Cuadro 10 y en la Figura 10 se encuentran localizados los puntos.

Cuadro 10. Localización geográfica de los puntos de muestreo de la cuenca del Río Milagro

N.	Descripción del sitio de muestreo	Latitud Sur o	Longitud Oeste o	m.s.n.m
1	Bananera Jose Alvarez (canal principal, salida del drenaje)	2.15219	79.59450	18
2	Pozo de la bananera Jose Alvarez	2.15219	79.59450	18
3	Drenaje de la bananera antes de llegar al río Belin canal	2.15314	79.59494	24
4	Puente río Belin	2.14831	79.60072	19
5	Descarga UNEMI río Belin	2.15064	79.60564	21
6	Al final del río Belin	2.15114	79.61269	19
7	Río Milagro en puente Mariscal Sucre	2.11125	79.50014	44
8	Recinto La Violeta, las cataratas balneario	2.11933	79.52978	27
9	Río Milagro en puente la Chontilla	2.13542	79.54797	29
10	Canal puente de la Chontilla	2.13508	79.54800	34
11	Estero 100 camas segundo puente	2.13664	79.57672	28
12	Estero 100 camas primer puente	2.13622	79.58125	19
13	Pozo de las 100 camas después del tanque de depuración prof 130 m	2.13572	79.58289	29
14	Pozo de las 100 camas agua cruda prof 130 m	2.13572	79.58289	29
15	Río Milagro (Puente la Policía línea del tren)	2.13531	79.58556	27
16	Río Milagro (PuentePiñas)	2.13139	79.59042	18
17	Río Milagro (Puente en el centro de Milagro)	2.12975	79.59650	28
18	Río Milagro salida del canal municipal	2.13028	79.60944	16
19	Agua de riego mezclada con vinaza campo ingenio Valdez entrada al camal	2.12922	79.61014	16
20	Río Milagro pasando camal y descarga de la ciudad	2.13150	79.61358	17
21	Río Milagro entrada Chobo las Avispas	2.13978	79.63206	9
22	Río Milagro puente ingenio Luz María El Chobo	2.14042	79.63728	14
23	Río Milagro en El Chobo	2.14219	79.64114	19
24	Río Milagro en puente recinto El Condor	2.13558	79.66800	9
25	Río Monos aguas más arriba	2.17672	79.58994	22
26	Río Monos aguas arriba	2.17597	79.59778	17
27	Puente río Los Monos	2.17400	79.61044	25
28	Arroyo Las Maravillas Piñolal, extensión Río Milagro	2.09492	79.55183	38
29	Canal de riego las lomas del valle ingenio Valdes	2.10292	79.62303	18
30	Canal de riego predios ingenio Valdes entrada a Milagro	2.08756	79.63314	19
31	Pozo en Banco de Arena km 6 1/2 fabrica Proquiandinos	2.16239	79.54842	30
32	Pozo en residencia de Jhony Ermida prof. 35 m	2.16519	79.54975	28
33	Pozo en Banco de Arena (Jorge Montenegro) prof. 30 m	2.16053	79.54933	25
34	Pozo en Banco de Arena (Cesareo Ermide)	2.16733	79.55258	20

Continuación...Localización geográfica de los puntos de muestreo de la cuenca del Río Milagro

35	Estero Arroyo Carrizal	2.05422	79.53633	40
36	Pozo San Diego de Carrizal prof. 60 m	2.05317	79.53539	30
37	Las Palomas Agua de consumo humano pozo prof. 70 m	2.15658	79.63186	27
38	Recinto El Paraíso pozo de 90 m de prof.	2.15331	79.63928	17
39	Pozo de abastecimiento de agua potable norte	2.11786	79.58528	16
40	Pozo UNEMI Prof. 80 m	2.14992	79.60253	14

3.1.4.6 Análisis estadístico

Este trabajo fue una investigación no experimental, el estudio fue prospectivo, en donde toda la información se recogió de acuerdo a los criterios del investigador y para los fines específicos de la investigación, después de la planeación de la misma (Méndez, 1986). De acuerdo a la evolución esta investigación fue transversal, porque se midió una sola vez las variables, se determinó sus características físicas y químicas en un momento dado, no se pretendió evaluar la evolución de las mismas (Kerlinger, 2002). De acuerdo a la comparación de las poblaciones el estudio fue descriptivo, porque cuenta con una población, aguas, las cuales se describieron en función de un grupo de variables y respecto de las cuales no existen hipótesis centrales.

En resumen, la investigación es no experimental, transversal, descriptiva y el muestreo a juicio, de acuerdo a Kerlinger y Lee (2002), fue utilizado para tomar muestras de agua, por duplicado, en 40 estaciones, entre los meses de diciembre de 2012 y junio de 2013. El recorrido inició desde los nacimientos de los ríos, al este del cantón Milagro, en donde se encuentran los sistemas hidrográficos: Belín, Milagro, Los Monos, Tímalo y Carrizal y terminó en los campos en donde se aprovecha esta agua para irrigación.

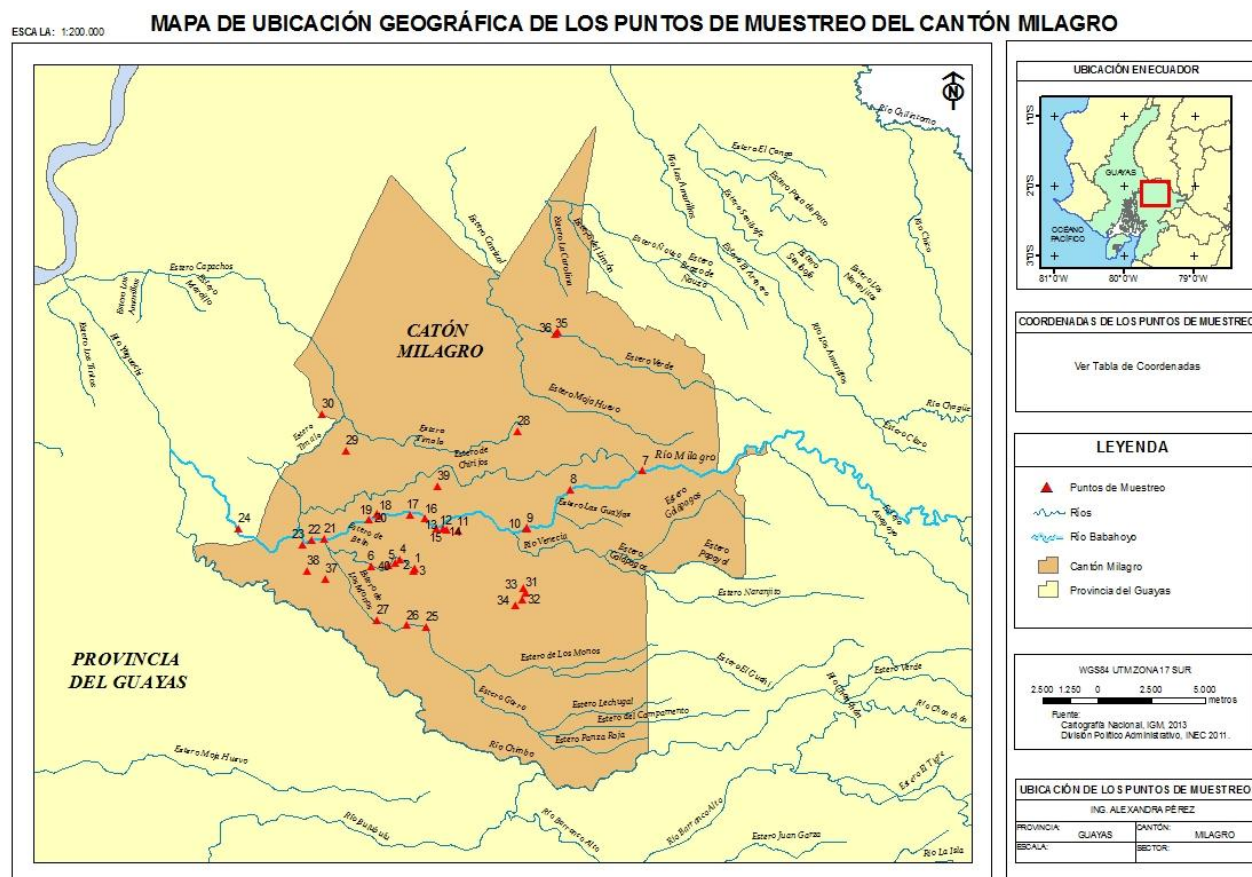


Figura 11. Localización geográfica de los puntos de muestreo del río Milagro.

Los valores encontrados fueron comparados con los Criterios de la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) con el fin determinar su estado de calidad para riego.

En el Anexo 3 se presenta los resultados de los análisis de las muestras tomadas en el río Milagro, en el mes de diciembre de 2012, época de precipitaciones.

Las localizaciones geográficas del segundo muestreo, época de estiaje, son las mismas del primero. El muestreo se realizó en 40 estaciones entre los meses de Junio y Julio del 2013 en pozos, manantiales, antes y después de que el río pase por las zonas pobladas para conocer el incremento de la salinidad. Los resultados de la composición iónica del segundo muestreo, se presenta en el Anexo 4.

Existe una dependencia funcional entre la concentración total electrolítica de los cationes y aniones con respecto a la conductividad eléctrica de las soluciones acuosas de las muestras de agua, por ello se calibró un modelo lineal ajustado al origen, mediante la técnica del análisis de regresión lineal, la cual relaciona la concentración de las soluciones expresada en mg L^{-1} o $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ con respecto a la conductividad eléctrica de las soluciones acuosas (Richards *et al.*, 1959).

El modelo en general tiene la forma $Y = B_1X$

Y puede representar la concentración de la solución en mg L^{-1} o la concentración de aniones y cationes en $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$. B_1 es la pendiente de la recta que va a explicar que tipo de salinidad tiene la solución acuosa, X es la conductividad eléctrica de la solución.

Los estudios hidrológicos típicamente conllevan la evaluación de una serie de datos físico - químicos, en diferentes puntos de muestreo y épocas del año. Por lo tanto, se generan datos y surge la necesidad de utilizar técnicas estadísticas multivariantes que permiten extraer información no disponible a partir de simples medidas experimentales. La herramienta matemática se conoce como Reconocimiento de Pautas y se puede clasificar en dos grandes grupos atendiendo a

los objetivos que se persigan, estas pueden ser, reducir las dimensiones del problema o bien detectar grupos y clasificar (Rodríguez, 2000).

Para reducir las dimensiones de la serie de datos se utiliza el análisis de componentes principales, ya que permite determinar los principales factores que influyen en la composición de las muestras. Sin embargo, el mayor objetivo de la técnica de reconocimiento de pautas es el agrupamiento y clasificación de las muestras. El objetivo global de estos análisis es identificar los factores más importantes, más pequeños en número que la cantidad de muestras y atributos medidos, que expliquen la variabilidad en los datos. Las técnicas multivariantes suministran un medio para determinar las interrelaciones significativas que, por lo demás, podría ser un número muy elevado de datos, suministrando de este modo diferentes ventajas sobre los métodos gráficos convencionales. Los parámetros que se miden en un análisis físico-químico son las variables (CE , T , Cl^- , SO_4^{2-} , etc.), mientras que los análisis de fecha y posición diferente son las observaciones. El conjunto de observaciones y variables forman la matriz objeto del análisis multivariable. Los objetivos que se pretenden alcanzar son de dos tipos: de clasificación y de interdependencia. Con el análisis clasificatorio se intentan cuantificar aquellos estadísticos o determinar aquellas ecuaciones con los que se pueden distinguir aguas de la misma procedencia, o bien, tener criterios capaces de incluir futuros análisis a grupos previamente estructurados. La mayor parte de los estudios físico-químicos se describen a través de gran número de variables; sin embargo, muchas de ellas pueden estar relacionadas, por lo que casi siempre existe información duplicada, y se oscurece la explicación de la estructura esencial del sistema (Rodríguez, 2000).

Cuando se dispone de un gran número de variables, se trata de sustituirlas por unas pocas funciones de ellas, sin pérdida de demasiada información que permita una mayor facilidad en el análisis y en la interpretación de los datos, como en este caso algunos índices como el RAS en todas sus modificaciones. El objetivo del análisis por componentes principales es transformar las variables de modo que los ejes lleguen a ser ortogonales, los ejes no siempre son ortogonales, lo que permitirán la

definición de nuevas variables independientes. El primer eje es elegido para explicar tanto como sea posible la varianza total de las observaciones; el segundo eje explicará tanto como sea posible la varianza residual (Rodríguez, 2000).

Los resultados del análisis de multivariante en época de lluvia, señalan que con las tres primeras componentes es posible explicar el 95% de la variación total. En el análisis realizado de los datos tomados en época de estiaje, los resultados señalan que con las tres primeras componentes también es posible explicar el 95% de la variación total.

En los dos casos, los autovectores (CP1, CP2 y CP3) reportados muestran los coeficientes con que cada variable original fue ponderada para conformar las CP1, CP2 y CP3. En el caso de los datos de época de lluvia, se puede visualizar que, al construir la CP1, la concentración de iones PO_4^{3-} , recibe el peso negativo más alto y la concentración de iones Mg^{2+} , Cl^- y K^+ el peso positivo más alto. Las concentraciones de Ca^{2+} , Na^+ , HCO_3^- y SO_4^{2-} , también tienen pesos con coeficientes positivos relativamente altos. Luego se puede interpretar que la CP1 opondrá ubicaciones cuya salinidad es afectada por el PO_4^{3-} , a aquellas en las que es afectada principalmente por Mg^{2+} , Cl^- y K^+ . De la misma manera se pueden leer los restantes autovectores retenidos para explicar la afectación de cada componente. El resumen del análisis estadístico se presenta en los Cuadros 11 y 12 para el muestreo en época de lluvia y en los Cuadros 13 y 14 en época de estiaje.

Cuadro 11. Autovectores de componentes principales de muestreo en época de lluvia.

Variables	CP1	CP2	CP3
Ca^{2+}	0.34	-0.37	0.04
Mg^{2+}	0.41	0.03	-0.13
Na^+	0.37	0.23	-0.14
K^+	0.40	0.05	-0.32
HCO_3^-	0.33	0.14	0.79
Cl^-	0.40	-0.16	0.13
SO_4^{2-}	0.33	-0.37	-0.21
PO_4^{3-}	-0.13	-0.56	-0.20
NO_3^-	0.13	0.56	-0.38

En este análisis, después de explicar la variabilidad en los causales de afectación a la salinidad de la aguas del Cantón Milagro, debido a lo explicado en el párrafo anterior, se debe destacar la variabilidad introducida por el PO_4^{3-} y el NO_3^- (CP2) y por el HCO_3^- (CP3). La ortogonalidad de las componentes principales garantiza que la CP3 y la CP2 proveen nueva información sobre variabilidad respecto a la provista por la CP1, es decir explica variabilidad en los causales, no explicada por la CP1.

Cuadro 12. Incidencia de los CP en los sistemas hidrográficos de la microcuenca del río Milagro en época de precipitación.

Sistema Hidrográfico	CP2 vs. CP1	CP3 vs. CP1	CP3 vs. CP2
Rio Belín	NO_3^- , Na^+	Cl^- , Ca^{2+}	NO_3^-
Rio Milagro	Na^+	PO_4^{3-}	Na^+
Rio Monos	Cl^-	PO_4^{3-}	Cl^-
Estero Timalo	HCO_3^-	PO_4^{3-}	Mg^{2+} , K^+
Pozo bancos de arena	Cl^-	Mg^{2+} , Na^+	PO_4^{3-}
Estero Carrizal	Cl^-	PO_4^{3-}	Cl^-
Pozos	PO_4^{3-}	PO_4^{3-}	Ca^{2+}

Cuadro 13. Autovectores de componentes principales de muestreo en época de estiaje.

Variables	CP1	CP2	CP3
Ca^{2+}	0.40	0.04	-0.05
Mg^{2+}	0.40	0.03	-0.03
Na^+	0.39	-0.12	0.11
K^+	0.39	-0.01	0.10
HCO_3^-	0.32	-0.38	0.02
Cl^-	0.35	0.31	0.12
SO_4^{2-}	0.39	0.09	-0.07
PO_4^{3-}	-0.05	-0.57	0.73
NO_3^-	-0.05	0.64	0.65

Para el caso de los datos en la época de estiaje, en el CP1, los pesos negativos más altos, están dados por el PO_4^{3-} y el NO_3^- , mientras el Ca^{2+} y el Mg^{2+} , los pesos positivos más altos, para el caso de CP2, las variables negativas con más peso son el PO_4^{3-} y el HCO_3^- , con mayor peso positivo, el NO_3^- , por último en el CP3, destacamos la variabilidad introducida por el SO_4^{2-} (negativo) y por el PO_4^{3-} (positivo).

Las Figuras 12 y 13 muestran las relaciones de las componentes principales para el muestreo en temporada de lluvias y de estiaje respectivamente.

Cuadro 14. Incidencia de los CP en los sistemas hidrográficos de la microcuenca del río Milagro en época de estiaje

Sistema Hidrográfico	CP2 vs. CP1	CP3 vs. CP1	CP3 vs. CP2
Rio Belín	HCO_3^- , Na^+	Cl^-	PO_4^{3-} , Na^+
Rio Milagro	NO_3^-	PO_4^{3-} , NO_3^-	NO_3^-
Rio Monos	K^+	SO_4^{2-}	SO_4^{2-}
Estero Timalo	K^+	PO_4^{3-} , NO_3^-	Ca^{2+} , Mg^{2+}
Pozo bancos de arena	Ca^{2+} , Mg^{2+}	Ca^{2+} , Mg^{2+}	Ca^{2+} , Mg^{2+}
Estero Carrizal	NO_3^-	SO_4^{2-}	SO_4^{2-}
Pozos	PO_4^{3-}	PO_4^{3-} , NO_3^-	HCO_3^-

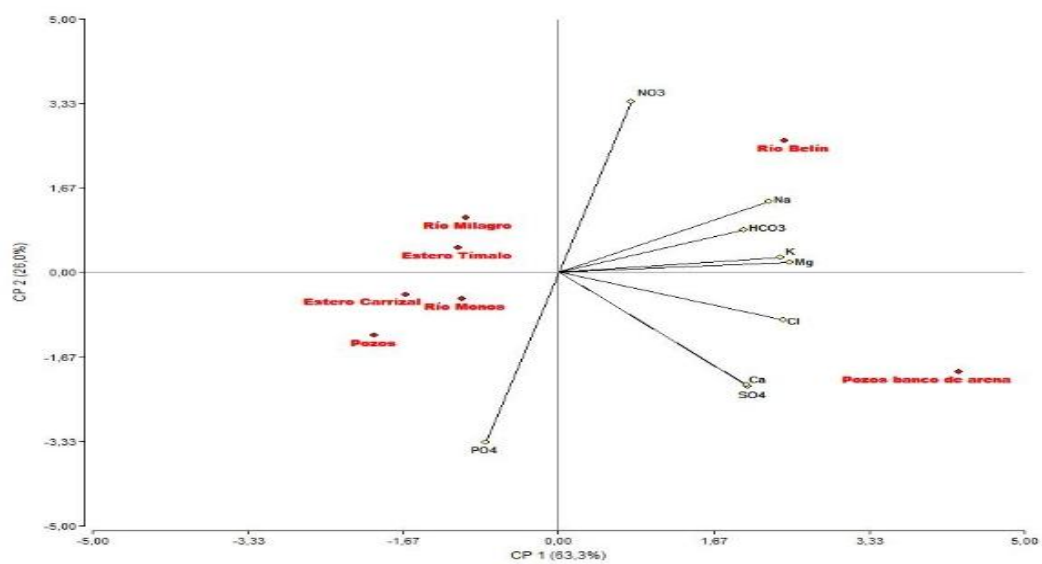


Figura 12. Relación componente principal 1 y componente principal 2 para el muestreo de aguas de la microcuenca del río Milagro en época de lluvia.

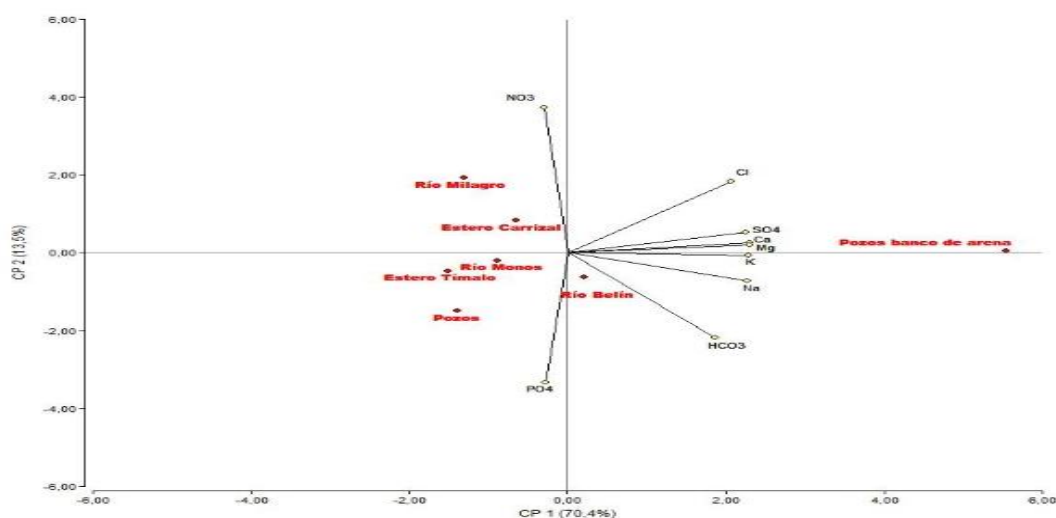


Figura 13. Relación componente principal 1 y componente principal 2 para el muestreo de aguas de la microcuenca del río Milagro en época de estiaje.

3.1.4.7 Comprobación de la exactitud de los resultados

El balance de anión-cation es uno de los métodos utilizados para verificar la exactitud de los análisis que se realizaron en las muestras, también se utilizó los sólidos totales disueltos y la conductividad eléctrica, así como también las relaciones entre estas determinaciones.

Con el balance de iones en las aguas, se puede obtener el porcentaje de error de las mediciones, pues las soluciones salinas en términos rigurosos son eléctricamente neutras y prácticamente la suma de cationes y aniones APHA (1995) debe ser igual con un nivel permisible de diferencia, esta diferencia se puede observar en el Cuadro 15.

El porcentaje de error en las determinaciones analíticas, se puede calcular con la siguiente expresión:

$$\% Dif = \frac{\sum cationes - \sum aniones}{\sum cationes + \sum aniones} \times 100$$

Cuadro 15. Porcentaje permisible de diferencia en los resultados analíticos (APHA, 1995).

Suma de cationes mmol _c L ⁻¹	% de Diferencia aceptable
0.00 - 3.00	± 0.20
3.00 - 10.00	± 2.00
20.00 - 800.00	± 2.50

El porcentaje de error promedio del primer muestreo de agua fue de 0,13 % y del segundo muestreo del 0,14%, lo que demuestra, de acuerdo al cuadro anterior, que el porcentaje de error está dentro de lo permisible, lo cual significa que los valores de las determinaciones analíticas de la investigación son correctas, según APHA (1995).

Según Richard *et al.* (1954), la regresión lineal de la relación entre la conductividad eléctrica con respecto a la concentración de aniones y cationes, debe dar una pendiente de entre 0,008 y 0,011, dependiendo del tipo de sal, lo que se puede observar en las Figuras 14 y 15 para el muestreo en época de precipitaciones y las Figuras 16 y 17 para el muestreo en época de estiaje en la zona de estudio. Como se puede observar se tiene una pendiente de 0,0100, para aguas ricas en cloruros y sodio, esta pendiente llega hasta 0,0110 o puede bajar hasta 0,008 para aguas con bicarbonatos o sulfatos ricas en calcio y magnesio (Richards *et al.*, 1959), (Ramírez, 2009).

Otra forma de comprobar los resultados analíticos obtenidos es, como recomienda Richard *et al.* (1959), al valor numérico de la pendiente de la relación entre los sólidos totales disueltos y la conductividad eléctrica, ésta debe ser aproximadamente 0,640.

Los residuos sólidos disueltos al igual que la conductividad eléctrica, son estimadores cuantitativos de la concentración total de las sales disueltas en las aguas de riego. La conductividad eléctrica se utiliza para indicar la concentración total de

componentes disociados en las aguas, con ello se tiene una aproximación a la concentración de los sólidos disueltos, esto se expresa en la siguiente ecuación:

$$STD = 0,64 \times CE$$

Donde: STD = Sólidos totales disueltos en mg L^{-1}

CE = Conductividad eléctrica en $\mu\text{S cm}^{-1}$

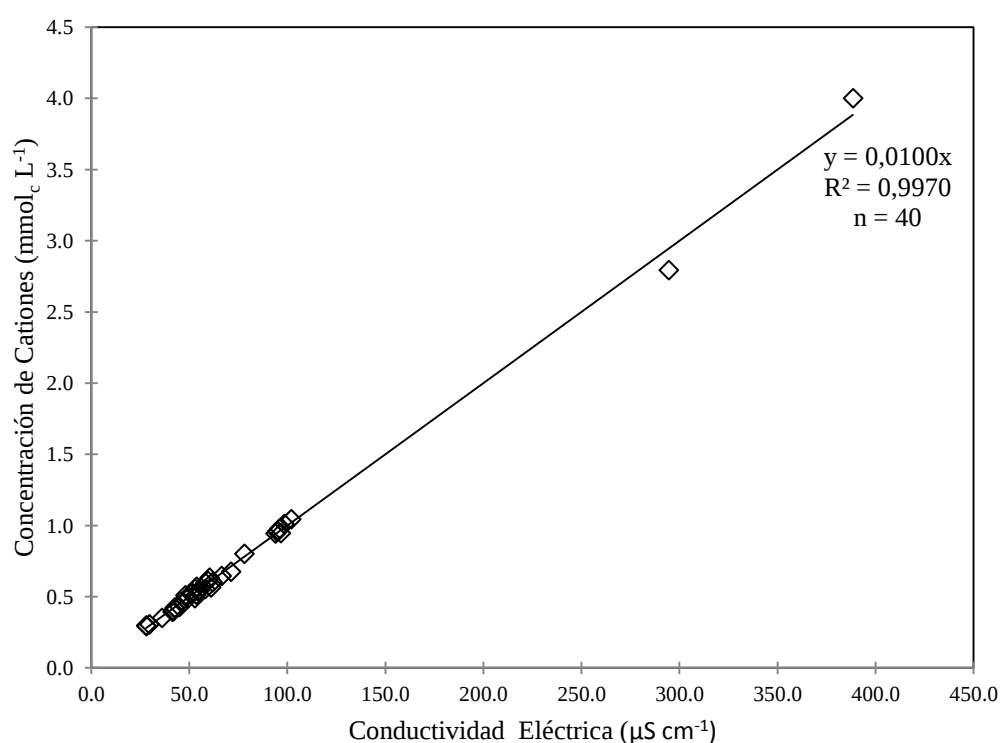


Figura 14. Relación entre la concentración de cationes y la conductividad eléctrica en época de precipitaciones de la microcuenca del río Milagro.

El valor recomendado para verificar los resultados es de 0,64. La relación entre sólidos totales y conductividad eléctrica para el muestreo en época de precipitaciones fue de 0,6639 y para el muestreo en época de estiaje de 0,6639, ambos muestreos están dentro del intervalo recomendado y se pueden observar en las Figuras 18 y 19 respectivamente.

Una segunda recomendación de la APHA (1995), para la comprobación de los datos analíticos se realiza mediante la comparación de la concentración total de

sólidos disueltos medidos y la concentración de sólidos disueltos calculados, mediante la siguiente expresión:

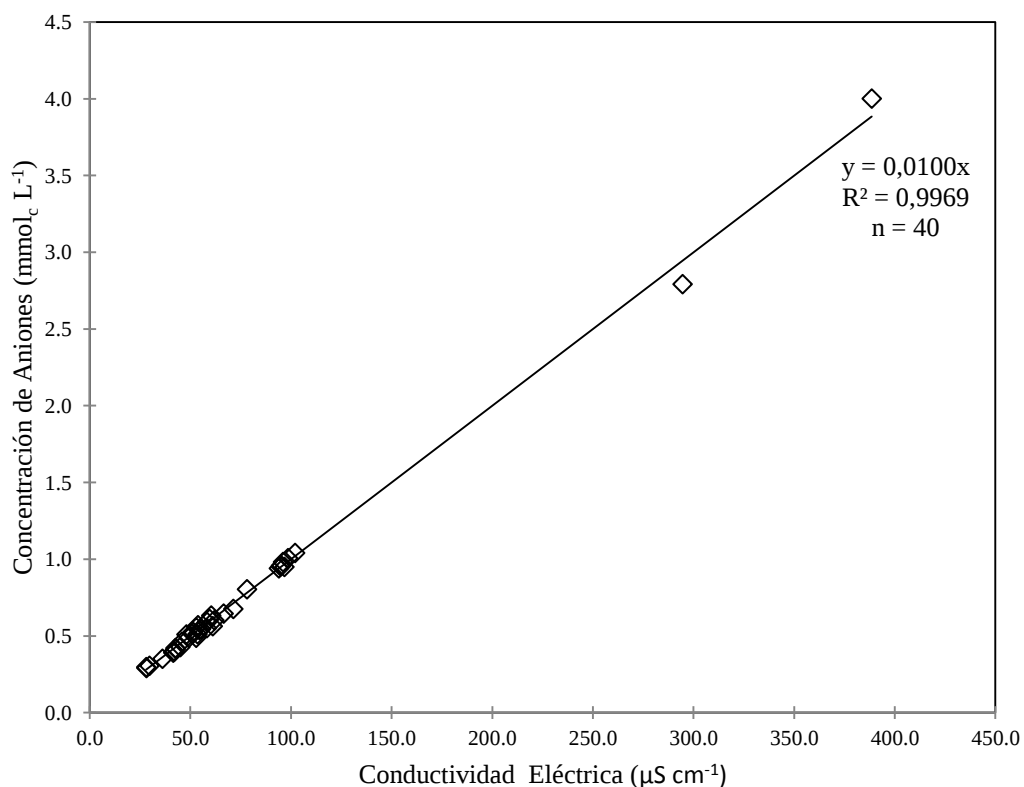


Figura 15. Relación entre la concentración de aniones y la conductividad eléctrica en época de precipitaciones de la microcuenca del río Milagro.

$$1,0 < \frac{STD_{medidos}}{STD_{calculados}} < 1,2$$

Los sólidos totales disueltos medidos, se obtiene del promedio de la suma de los iones en mg L⁻¹ de cada punto de muestreo. Para obtener los sólidos totales disueltos calculados, se procede de la siguiente manera: Se toma la media de la conductividad eléctrica en μS cm⁻¹ y se multiplica el coeficiente (a) que se obtuvo al graficar la relación de la conductividad eléctrica y los sólidos totales disueltos. Ambas determinaciones deben estar en un intervalo entre 0,55 y 0,7 para que sean confiables los datos y la concentración total de sólidos disueltos medidos debe ser mayor a la calculada, caso contrario las muestras deben ser nuevamente analizadas.

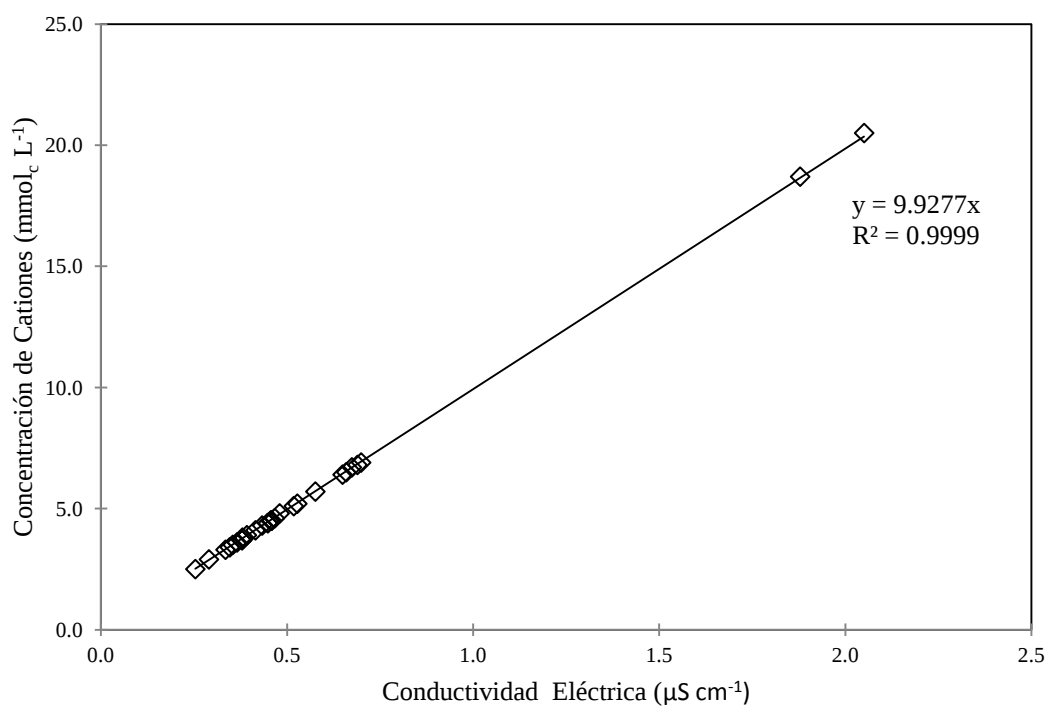


Figura 16. Relación entre la concentración de cationes y la conductividad eléctrica en época de estiaje de la microcuenca del río Milagro.

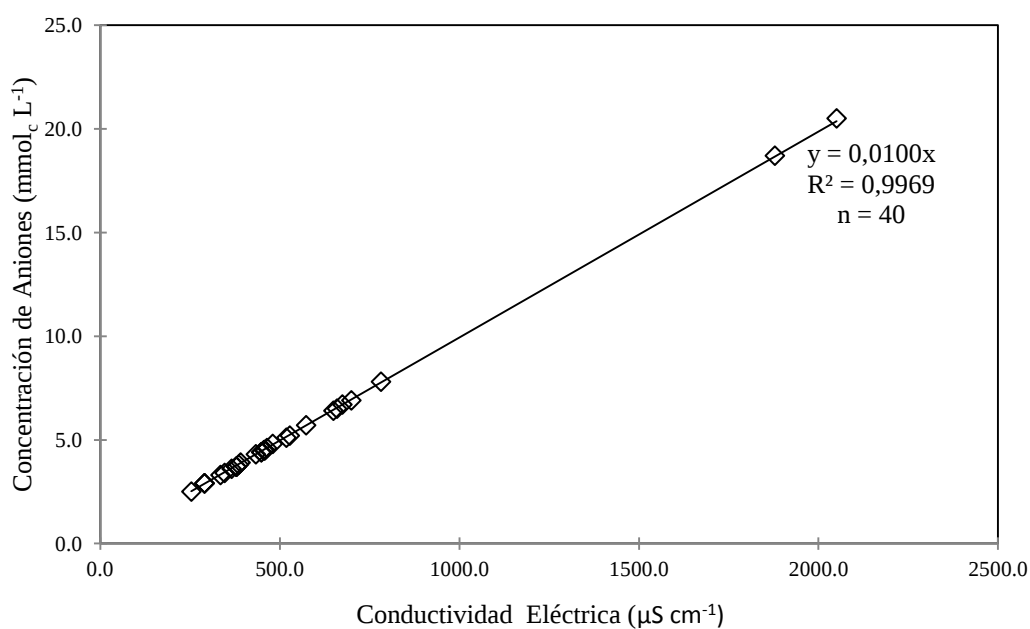


Figura 17. Relación entre la concentración de aniones y la conductividad eléctrica en época de estiaje de la microcuenca del río Milagro.

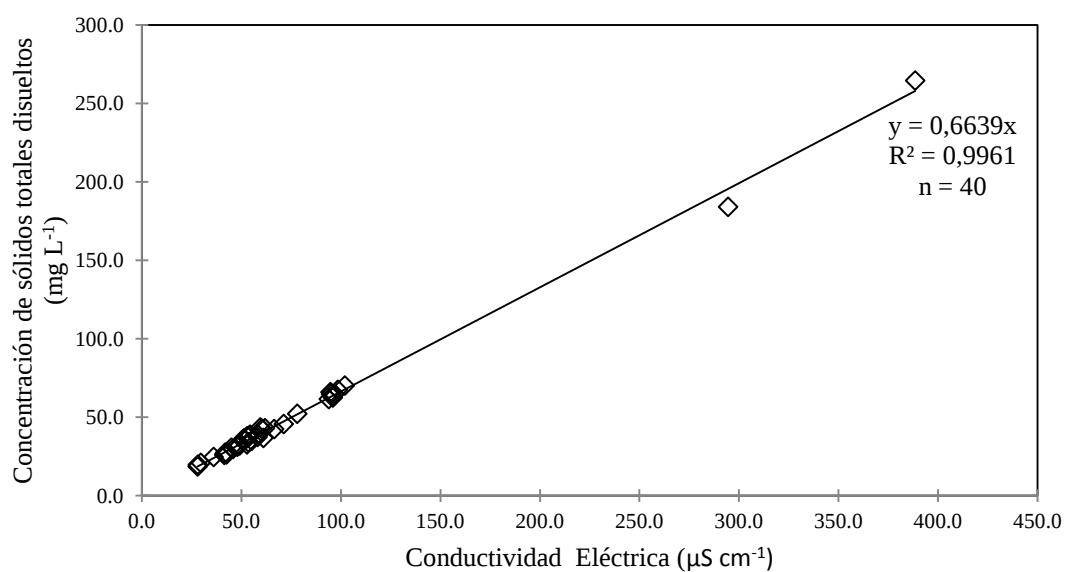


Figura 18. Relación entre los sólidos totales disueltos y la concentración eléctrica en época de estiaje de la microcuenca del río Milagro.

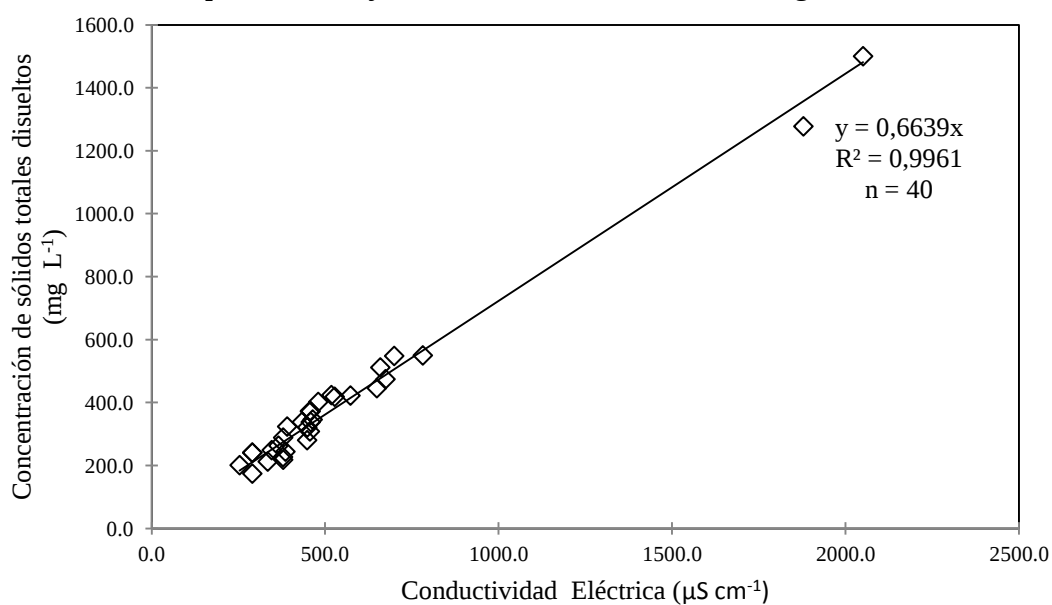


Figura 19. Relación entre los sólidos totales disueltos y la concentración eléctrica en época de estiaje de la microcuenca del río Milagro.

La tercera comprobación de los datos, es la comparación entre la conductividad eléctrica medida y la conductividad eléctrica calculada, mediante la siguiente expresión:

$$0,9 < \frac{CE_{calculada}}{CE_{medida}} < 1,1$$

Utilizando los valores del Cuadro 16 para conductividad eléctrica de los iones más comunes encontrados en las aguas de acuerdo a APHA (1995), se obtiene la conductividad eléctrica calculada $CE_{\text{calculada}}$.

Para ambos muestreos se tiene 1,197, por lo que se demuestra que los resultados analíticos están correctos, ya que se encuentra dentro del rango permisible. Las Figuras 20 y 21 muestran que los datos obtenidos, satisfacen la prueba de conductividad eléctrica.

Cuadro 16. Factores de conductividad eléctrica para los iones más comunes encontrados en aguas naturales.

Ion	Conductividad Eléctrica 25°C (μScm^{-1})	
	Para $\text{mmol}_c\text{L}^{-1}$	Para mg L^{-1}
Bicarbonato	43.6	0.715
Calcio	52.0	2.6
Carbonato	84.6	2.82
Cloro	75.9	2.14
Magnesio	46.6	3.82
Nitrato	71.0	1.15
Potasio	72.0	1.84
Sodio	48.9	2.13
Sulfato	73.9	1.54

Fuente: APHA (1995)

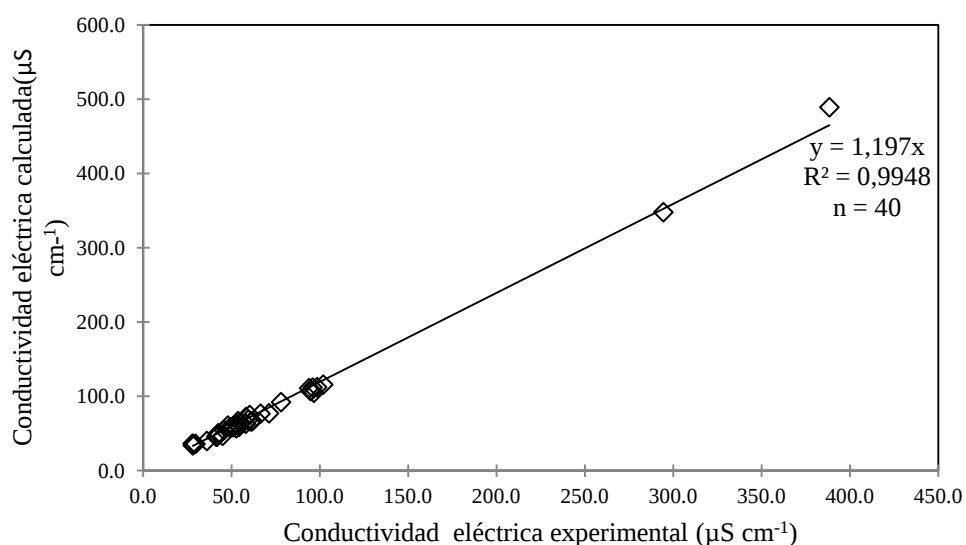


Figura 20. Relación entre la conductividad eléctrica experimental y la conductividad eléctrica teórica en época de precipitaciones en la microcuenca del río Milagro.

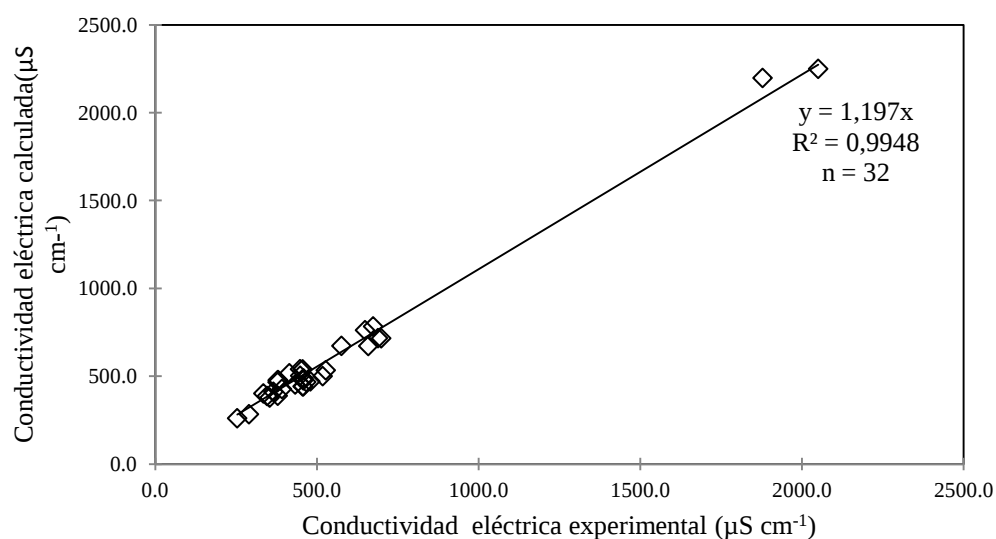


Figura 21. Relación entre la conductividad eléctrica experimental y la conductividad eléctrica teórica del muestreo en época de estiaje de la microcuenca del río Milagro.

Con la finalidad de conocer la frecuencia con que se repitieron los valores de conductividad eléctrica y los sólidos totales dentro de un intervalo establecido, para ambos muestreos se elaboraron las Figuras 22 y 23 para conductividad eléctrica y 24 y 25 para sólidos totales.

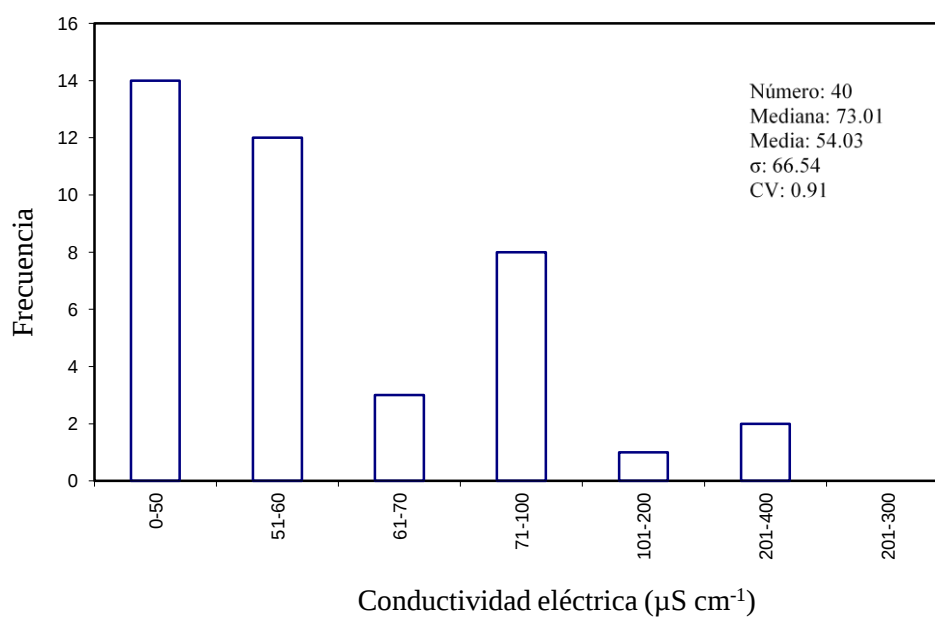


Figura 22. Distribución de frecuencias de la conductividad eléctrica del muestreo en época de precipitación de la subcuenca del río Milagro.

El 30% de las aguas tienen una conductividad eléctrica entre $50-60 \mu\text{Scm}^{-1}$ y el 7,5% entre $60-70\mu\text{Scm}^{-1}$, la mayoría de aguas tienen conductividades menores a $50 \mu\text{Scm}^{-1}$, una salinidad baja menor a 250 mgL^{-1} . Son aguas de muy baja conductividad, inferior a los rangos propuestos por Richards *et al.* (1959), probablemente por la época de precipitaciones en las que fueron tomadas, lo que nos indica que la concentración de los iones es baja.

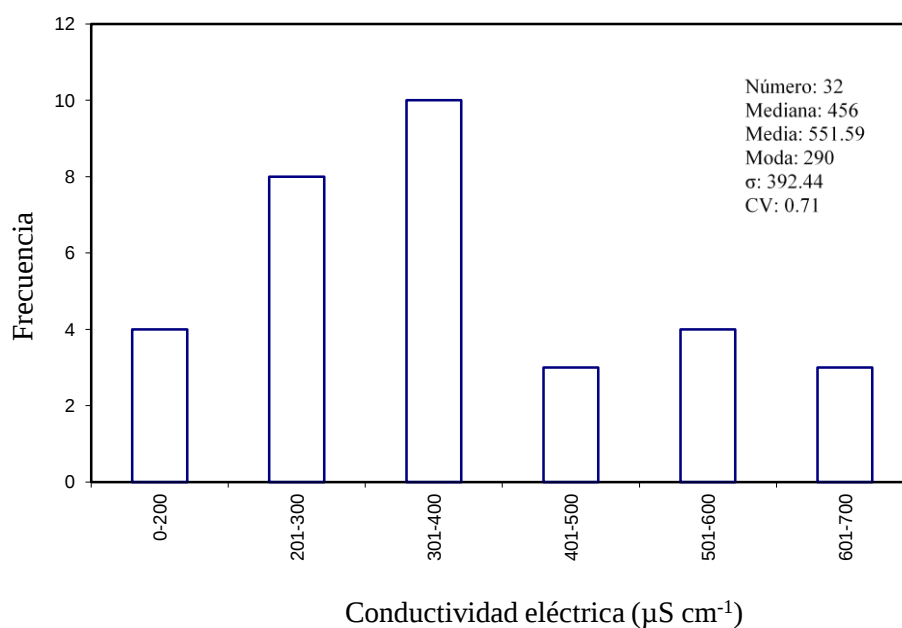


Figura 23. Distribución de frecuencias de la conductividad eléctrica en época de estiaje de la microcuenca del río Milagro.

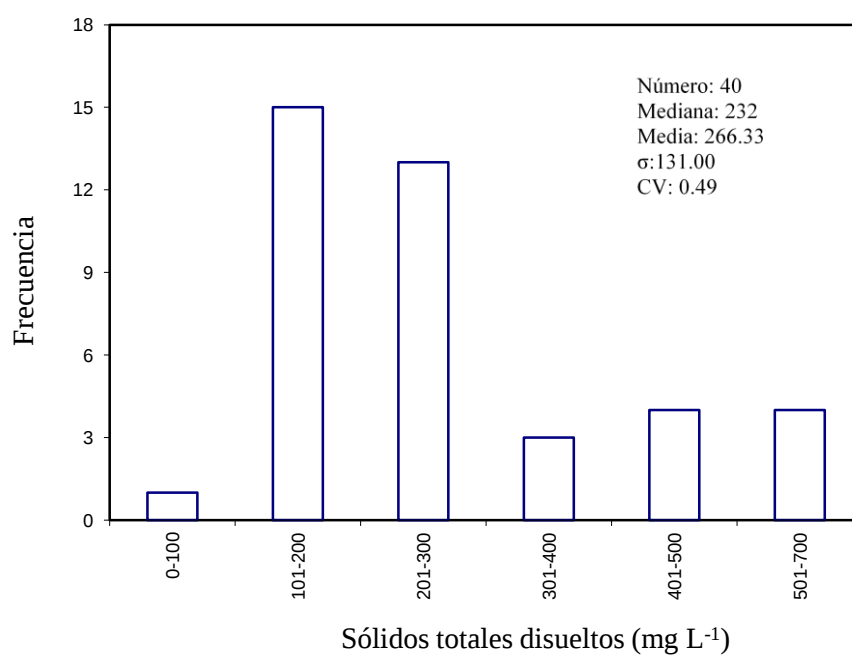


Figura 24. Distribución de frecuencias de sólidos totales disueltos en época de precipitaciones de la microcuenca del río Milagro.

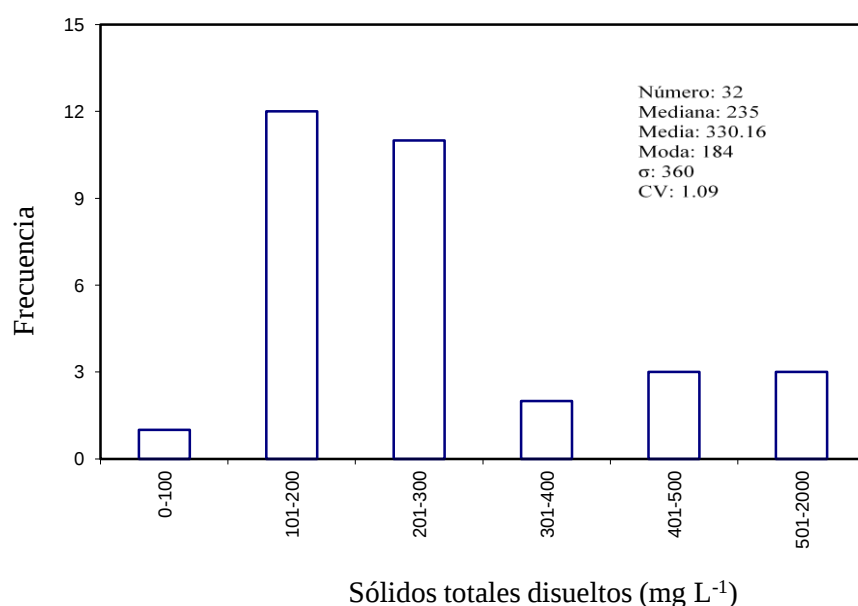


Figura 25. Distribución de frecuencias de sólidos totales disueltos en época de estiaje de la microcuenca del río Milagro.

En el muestreo en época de estiaje, el 25,00% de las muestras presenta una conductividad eléctrica entre 300-400 $\mu\text{S cm}^{-1}$, el 31,25% de las aguas tienen una conductividad eléctrica entre 400-500 $\mu\text{S cm}^{-1}$ y el 12,50% entre 600-700 $\mu\text{S cm}^{-1}$, la mayoría de aguas tienen conductividades entre 400-500 $\mu\text{S cm}^{-1}$, esto se debe al enriquecimiento de sales en aguas por el proceso de solubilidad de rocas como la caliza, la dolomita, yeso y anhidritas y también a las descargas de aguas residuales (Grasby y Betcher, 2002).

Según Richards *et al.* (1959) son aguas clasificadas como C2, es decir son aguas de salinidad media. La baja precipitación en esta época, probablemente concentró los iones con respecto al primer muestreo.

Los mapas de las Figuras 26 y 27 presentan la distribución espacial de la calidad del agua de riego en base a la conductividad eléctrica del muestreo en época de precipitaciones y en época de estiaje respectivamente (Richards *et al.*, 1959) y las Figuras 28 y 29 los sólidos totales disueltos del área de estudio (Ayers y Westcot, 1976). Con los datos de los dos muestreos, utilizando el programa Arcgis 9.3, se ha realizado un proceso de interpolación con dos métodos diferentes, uno determinista,

exacto y local IWD, media ponderada por el inverso de la distancia, y otro, geoestadístico y analítico, kriging ordinario, que tiene en cuenta la autocorrelación espacial de la variable a interpolar. La diferencia entre los dos métodos es el procedimiento de cálculo de los pesos asignados a los valores muestrales. En el IWD, a medida que se hace más grande la distancia, el peso se ve reducido en un factor definido y el kriging los pesos se calculan mediante la función del semivariograma, cuyo ajuste más frecuente se realiza mediante el modelo esférico (Torrecilla et al., 2010). Los mejores resultados se dieron con el proceso de interpolación IWD, el cual fue aplicado en todos los mapas presentados en la investigación.

Como se puede observar en la Figura 26 ninguna de las zonas del cantón Milagro se encuentran afectadas por la salinidad, la topografía del cantón crea un buen drenaje. La zona de Banco de Arena presenta una restricción de ligera a moderada, región donde los cultivos que predominan son los viveros y algo de cultivo de piñas, deben tener una asesoría técnica para aumentar la productividad de los cultivos.

En época de estiaje, se presentan zonas en las que las aguas tienen salinidad media como es la zona urbana de la ciudad de Milagro y en las zonas de descarga del ingenio Valdez severas, clasificadas como C4.

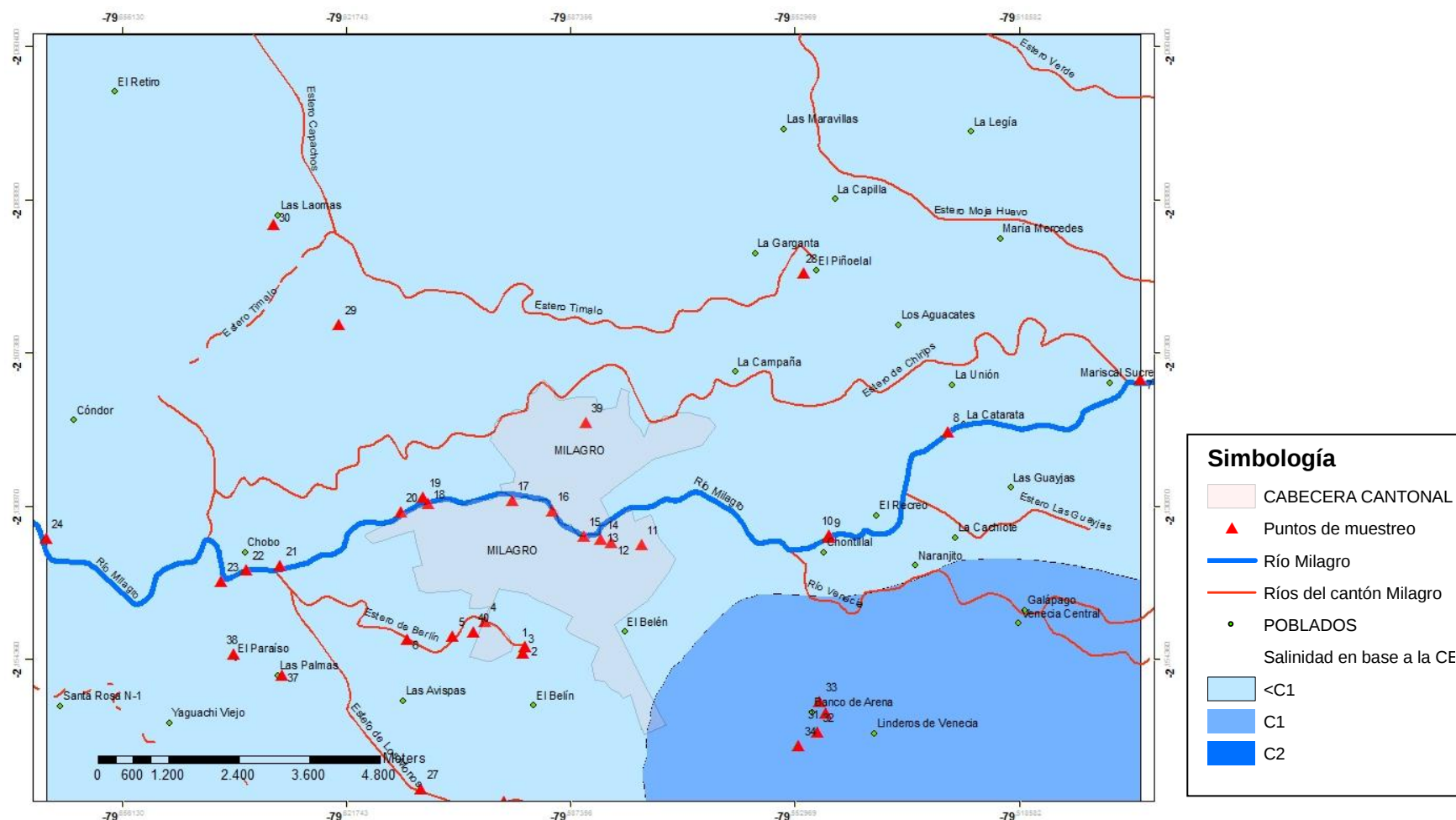


Figura 26. Distribución espacial de la calidad del agua de riego en base de la conductividad eléctrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) (Richards *et al.*, 1959) época de precipitaciones de la microcuenca del río Milagro.

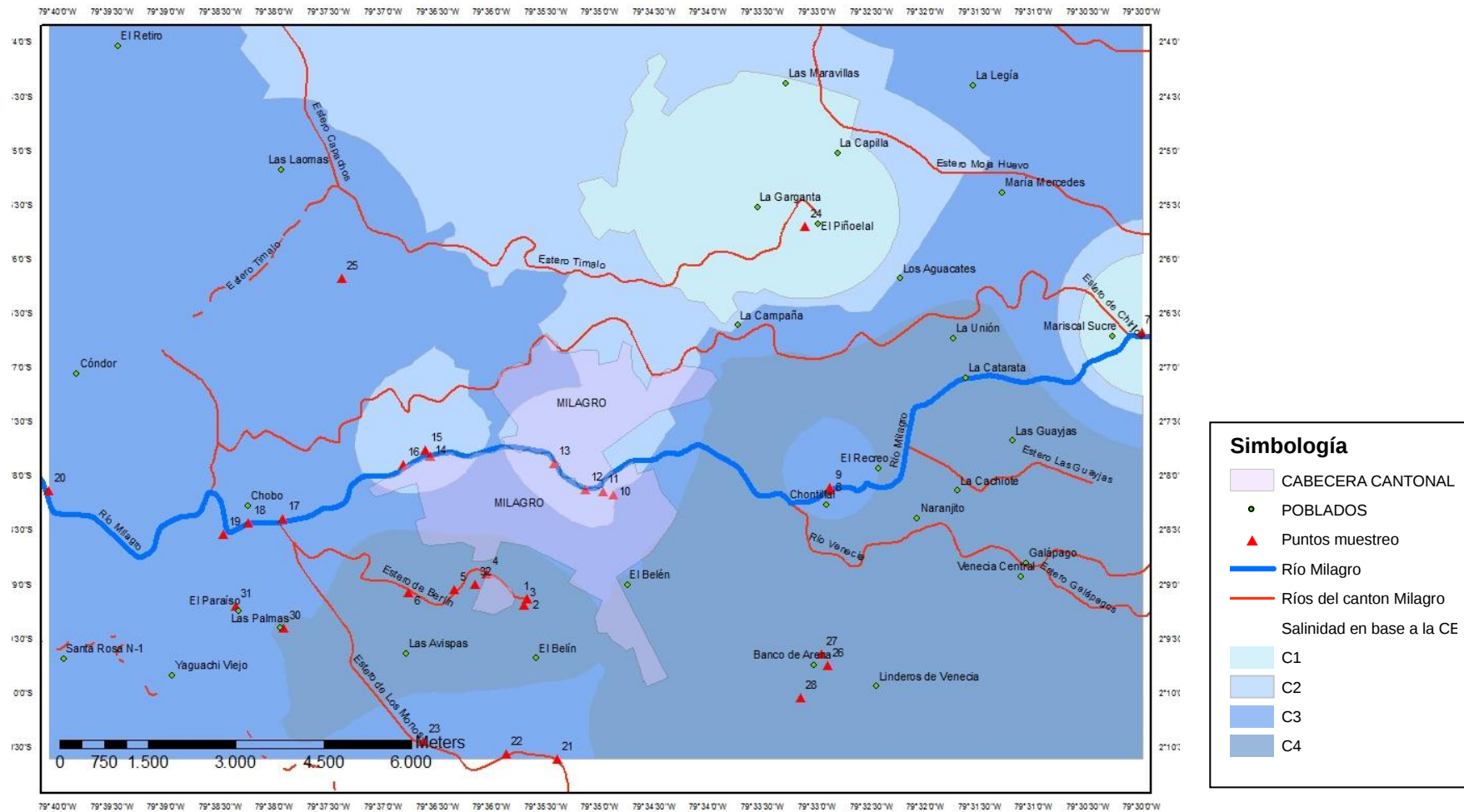


Figura 27. Distribución espacial de la calidad del agua de riego en base a la conductividad eléctrica (μScm^{-1}) (Richards *et al.*, 1959) época de estiaje de la microcuenca del río Milagro.

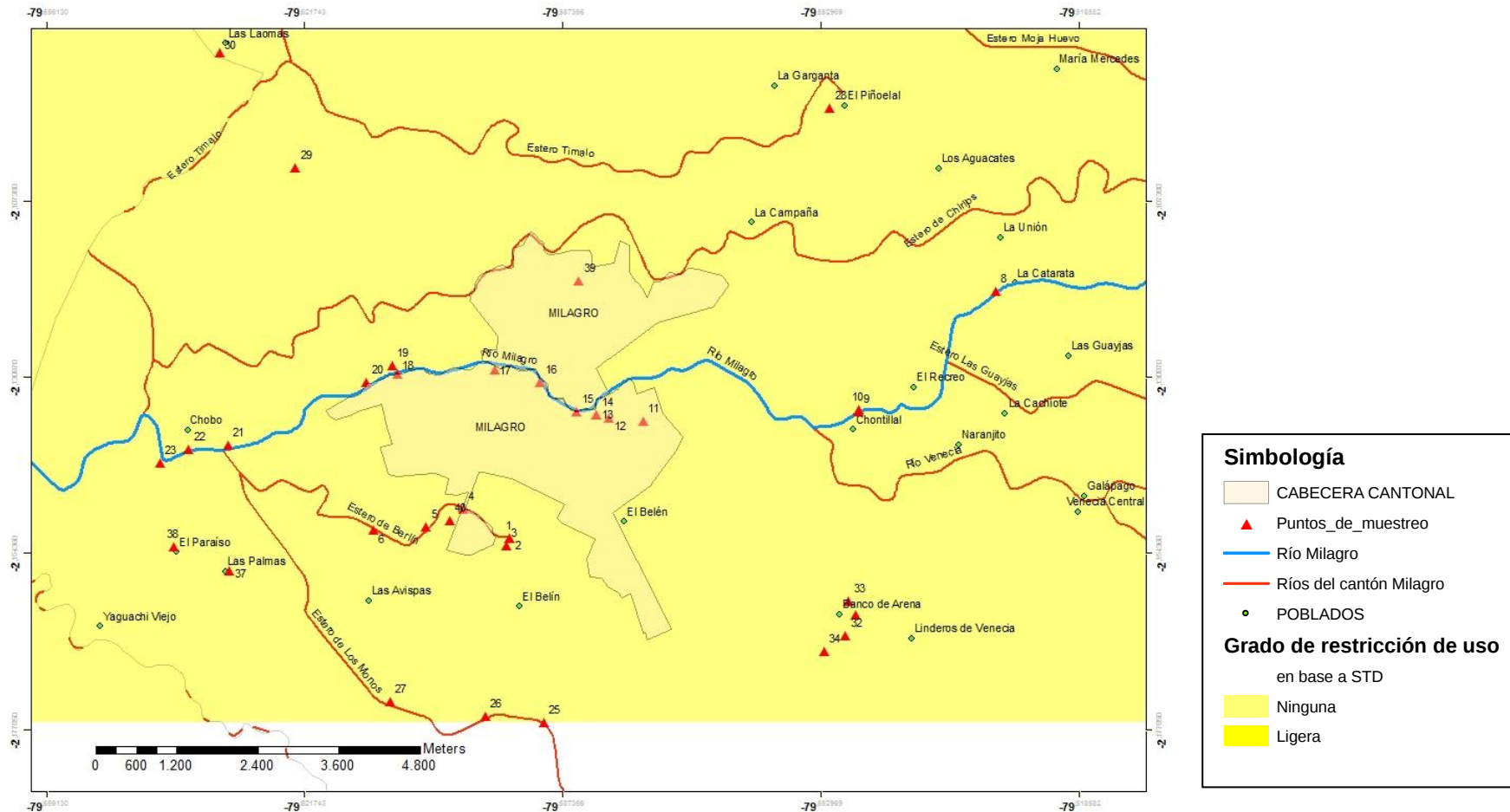


Figura 28. Mapa de distribución de frecuencias de sólidos totales disueltos (mgL^{-1}) (Ayers y Wescot, 1987), muestreo en época de precipitaciones de la microcuenca del río Milagro.

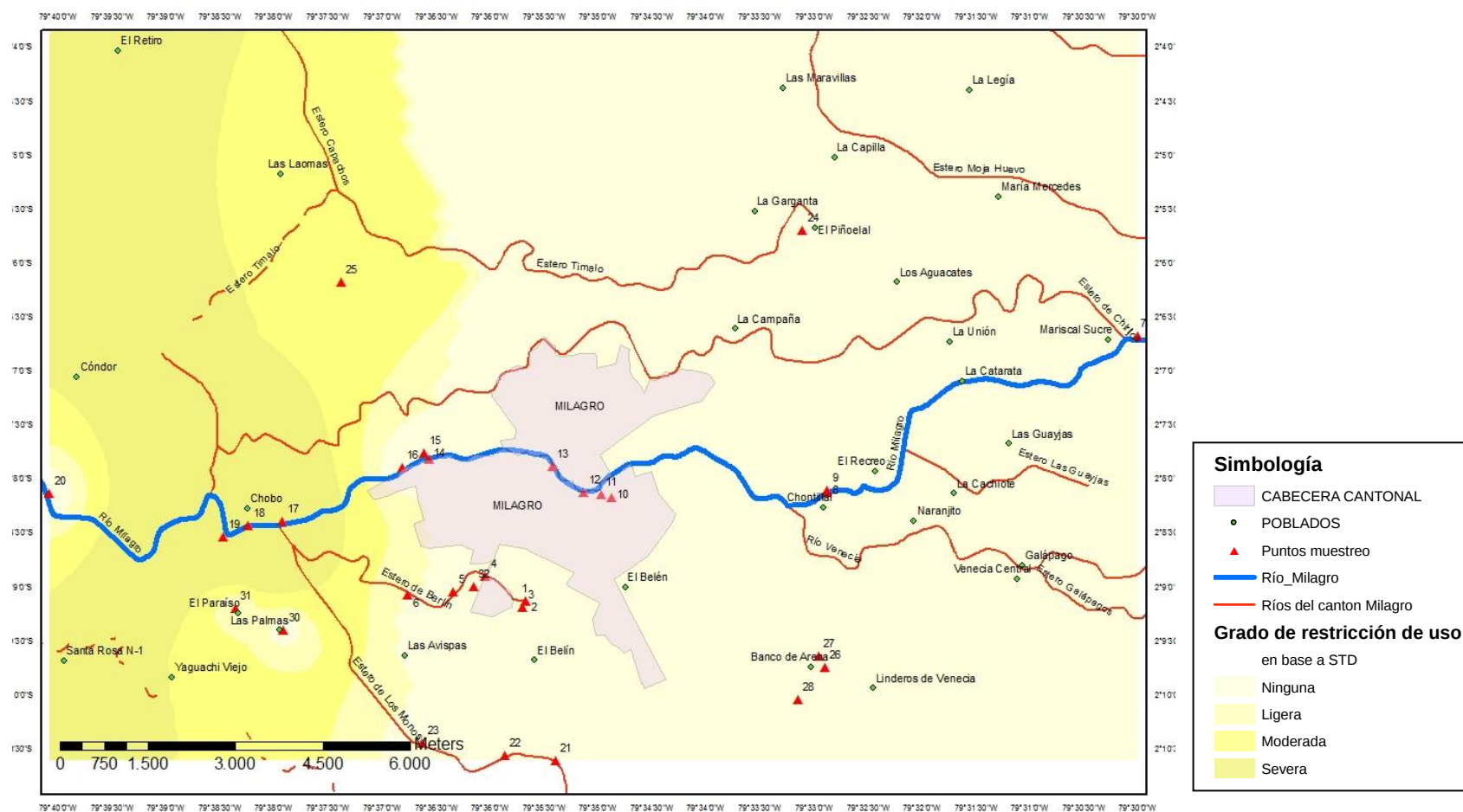


Figura 29. Mapa de distribución de frecuencias de sólidos totales disueltos (mgL^{-1}) del muestreo en época de estiaje de la microcuenca del río Milagro.

3.1.4.8 Composición y distribución iónica de las aguas

La salinidad total o sólidos totales disueltos, se debe, principalmente, a la presencia de siete iones. Dos son metales alcalinotérreos divalentes (Ca^{2+} y Mg^{2+}), otros dos alcalinos monovalentes (Na^+ y K^+), dos aniones de ácidos fuertes (Cl^- y SO_4^{2-}) y un anión de ácido débil (CO_3H^- , a veces CO_3^{2-}). El fosfato, nitrato, silicato y otros, siempre en concentraciones muy reducidas, pueden influir ligeramente en la mineralización total. Los siete iones citados dependen fundamentalmente de factores abióticos, geología y climatología del área, procesos químicos en el agua, etc. Sus variaciones tanto en el espacio como en el tiempo, se pueden interpretar en función de dichos factores (Alonso, 1998).

Conocer la composición de las aguas de irrigación es importante, porque el exceso de cationes y aniones como sodio, carbonato, bicarbonato y cloruros aumentarán el valor de pH, conductividad eléctrica y el porcentaje de sólidos totales (Choudhary, 2006). En la Figura 30 se muestra la distribución de cationes y aniones en el muestreo en época de precipitaciones, en donde el área bajo la curva indica la concentración de un ión con respecto a los otros iones. También nos permite distinguir las estaciones con mayores concentraciones a lo largo de la red hidrográfica.

Los principales iones de las aguas del cantón Milagro se los dividió de acuerdo al gradiente y al sistema hidrográfico, con la finalidad de observar con más detalle su distribución. Las estaciones 1-6 pertenecen al río Belín, el primer punto es la bananera José Álvarez, en éste río no existe un catión predominante, sin embargo, se determinó el siguiente orden $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$. En los aniones el HCO_3^- y Cl^- son los importantes, la clasificación hidrogeoquímica resultó, sulfatadas y/o cloruradas cálcicas o magnésicas. La concentración del río Belín es de $1 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ excepto en el punto 2, éste es un pozo de la bananera José Álvarez con una concentración de $0,5 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$, aquí, las aguas se clasificaron como bicarbonatadas cálcicas o magnésicas, quiere decir que son aguas de reciente infiltración (Carrera *et al.*, 2011).

Las estaciones 7 – 24 forman el río Milagro, el catión y anión predominante son el Ca^{2+} , HCO_3^- y Cl^- respectivamente. La concentración del río Milagro es de $0,5 \text{ mmol}_c$

L^{-1} , es una concentración baja, aguas con poca salinidad no son buenas para los suelos y los cultivos, según Ayers y Wetscot (1987).

Las estaciones 25 – 27 pertenecen al río Los Monos y 28 -30 al arroyo Las Maravillas, éstos ríos tienen el mismo comportamiento que el río Milagro, son aguas de baja concentración en donde la sal más común será la sulfatada o clorurada cálcica o magnésica.

Las estaciones 31 - 34 son pozos muestreados en el poblado Banco de Arena, éstos puntos son los de mayor concentración, 4 veces más que el resto de aguas, no obstante, presentan concentraciones bajas desde el punto de vista de la salinidad. El anión predominante en los pozos de Banco de Arena son el Cl^- y SO_4^{2-} . Las aguas del cantón Milagro pertenecen a una familia de concentraciones menores a $1 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$, sin embargo, las aguas del sector mencionado evolucionan a otro tipo de salinidad perjudicial para los suelos, aguas y cultivos, además que es atípico si se compara con el resto de concentraciones de los ríos de Milagro.

Las estaciones 35 - 36 son aguas en el poblado Carrizal, tienen una concentración de $0,5 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$, extremadamente baja, el catión y anión predominante son el Ca^{2+} y el $\text{Cl}^- - \text{HCO}_3^-$ respectivamente. Las estaciones 37 - 40 son pozos muestreados en los poblados Las Palomas, Paraíso y Milagro, éstos tienen concentraciones menores de $1 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$.

Para el muestreo en época de estiaje, la variación de cationes y aniones se muestra en la Figura 31, los iones con mayor concentración fueron, al igual que en la época de lluvias, el Cl^- y el SO_4^{2-} , en los pozos de Banco de Arena, puntos de muestreo 30, 31, 32 y 33, corresponden a aguas sulfatadas. El comportamiento de las aguas son prácticamente el mismo.

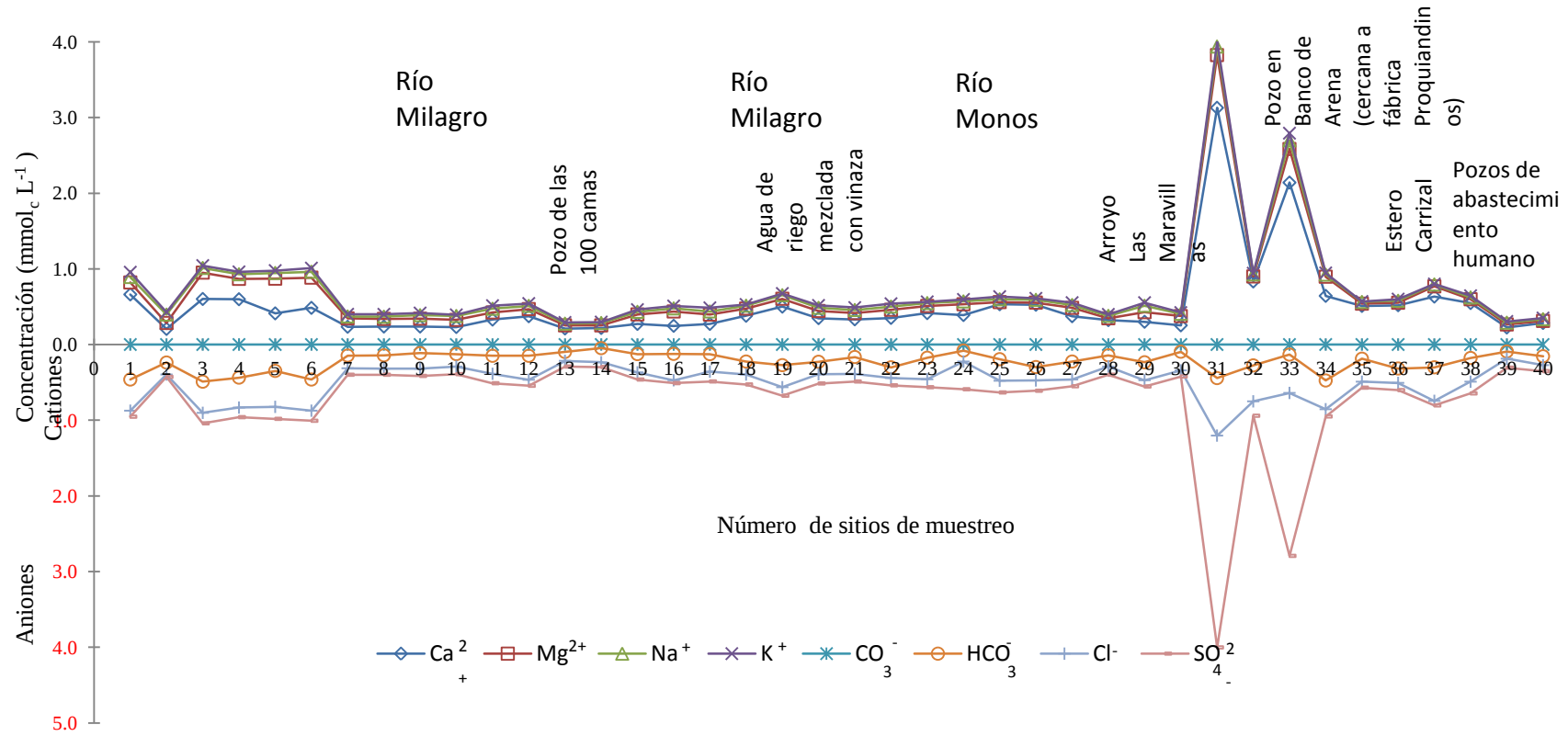


Figura 30. Composición iónica de las aguas en época de precipitaciones de la red hidrográfica del río Milagro.

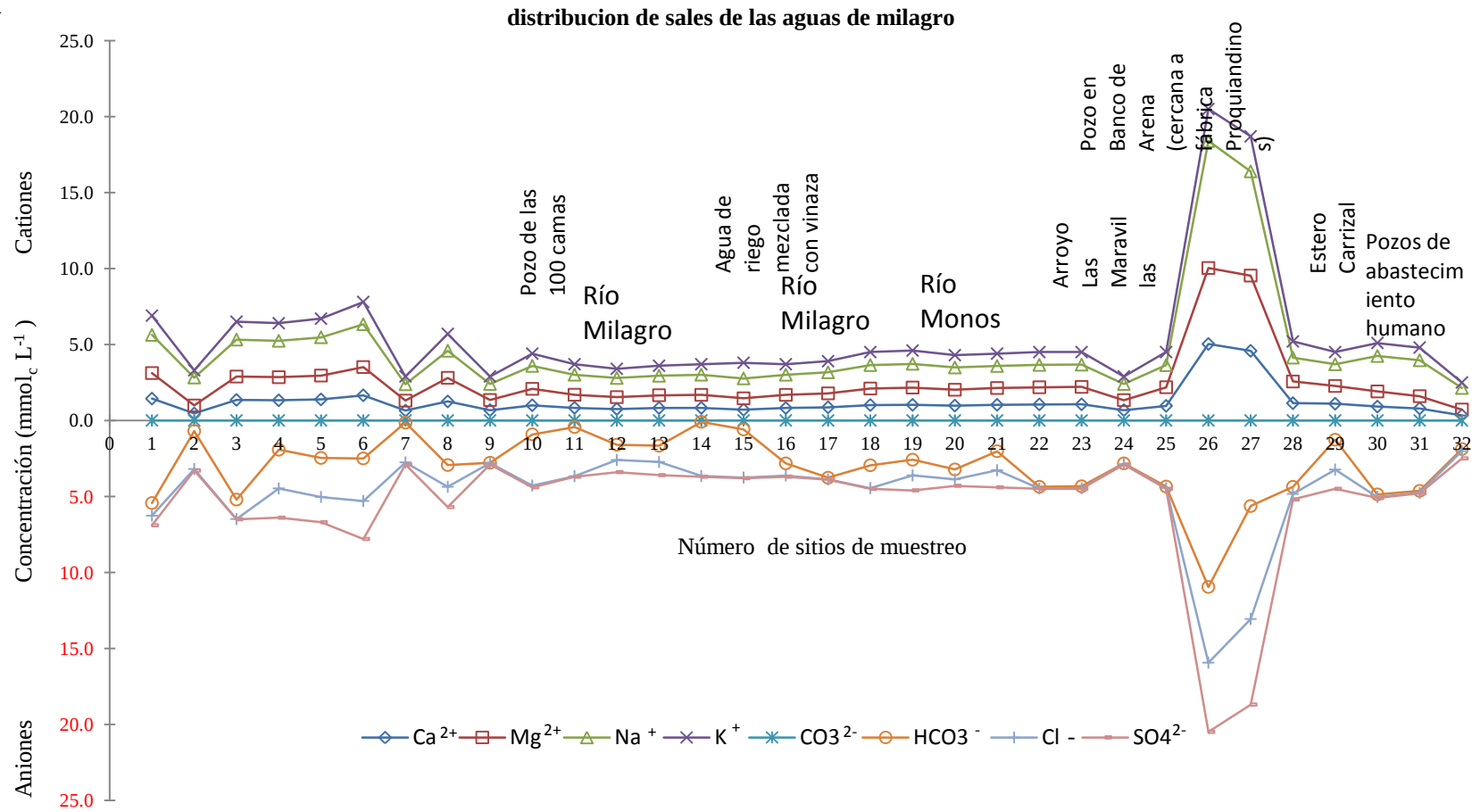


Figura 31. Composición iónica de las aguas en época de baja precipitación de la red hidrográfica del río Milagro

3.1.4.9 Clasificación de las aguas en base a la salinidad

Las sales tienen efectos adversos sobre las propiedades físicas y químicas, y sobre los procesos microbiológicos del suelo. Los suelos afectados por sales representan cerca del 15% de las tierras áridas y semiáridas del mundo, y además representan 40% de las tierras irrigadas. La salinidad en los suelos es un problema para la agricultura del mundo, siendo el factor que más limita la productividad de los cultivos. La respuesta de las plantas a las condiciones de salinidad, no sólo depende de la concentración de sales sino también del tipo de sales presentes en el suelo. El tipo de salinidad sódica es la más perjudicial (Gili et al., 2003).

El tipo de agua que se utilice como agua de riego tiene dos efectos importantes, a corto plazo influye en la producción y la calidad del cultivo; a largo plazo ciertas aguas pueden perjudicar el suelo hasta hacerlo totalmente inservible para la agricultura (Pérez, 2011).

Los efectos de la salinidad en las plantas es muy diverso y variable. La salinidad afecta cada aspecto de la fisiología de la planta y su metabolismo. La alta concentración de sales le ocasiona un desequilibrio iónico y estrés osmótico. Un fuerte estrés salino rompe la homeostasis del potencial hídrico y la distribución de iones. El estrés salino, como otros tipos de estrés, inhibe el crecimiento de la planta, de hecho el bajo crecimiento de vegetales en zonas salinas es una característica adaptativa de las plantas para sobrevivir a este tipo de estrés. En la naturaleza la capacidad de tolerar la salinidad o la sequía parece estar inversamente relacionada a la tasa decrecimiento. Una causa de la reducción del crecimiento es la inadecuada fotosíntesis debida al cierre estomático y en consecuencia la limitación de la entrada de CO₂. Más importante es, sin embargo, que el estrés inhibe la división celular y la expansión directamente (Alcaraz, 2012).

La Conductividad Eléctrica es una de las primeras mediciones que permite determinar la calidad del agua para riego en base a la concentración total de sales y predecir el grado de salinidad de acuerdo a la clasificación de aguas de Richards *et al.* (1959).

En el Anexo 3 se muestra los resultados de la composición iónica de las aguas del río Milagro para el primer muestreo, en época de lluvias, en donde se observa que la conductividad eléctrica varía entre 28 y 388,5 $\mu\text{S cm}^{-1}$ hay un pico importante en la zona sur oriente del cantón, que corresponde a la zona conocida como Banco de Arena en donde se encuentra una planta de producción de ácido sulfúrico, presenta un conductividad de 388,5 $\mu\text{S cm}^{-1}$ lo que significa que se requiere de lavado ligero para evitar la salinidad del suelo.

Las directrices para evaluar la calidad del agua dada por Ayer y Wescot (1987) se basan fundamentalmente en la conductividad y los sólidos totales disueltos, en los suelos y en los rendimientos de los cultivos. Para las aguas del cantón Milagro en el primer muestreo, época de precipitación, el 100% de las aguas no tienen ninguna restricción. Con respecto a los sólidos totales disueltos el 12,5% presentan una restricción moderada que corresponden básicamente a puntos de drenaje y la zona de Banco de Arena, el resto no tienen ninguna restricción.

Para el segundo muestreo en época de estiaje, la restricción con respecto a la conductividad eléctrica es del 9,3% con restricción moderada y el 90,63% no tiene ninguna restricción. Con respecto a los sólidos totales la tendencia es la misma que en el muestreo en época de lluvia.

3.1.4.10 Índices de salinidad efectiva

El índice de salinidad efectiva es una estimación más real del peligro que presentan las sales solubles del agua de riego al formar parte de la solución del suelo, pues considera la precipitación de los carbonatos de calcio y magnesio y de los sulfatos de calcio, y que por tanto dejan de tener efecto en la presión osmótica de la solución del suelo. Este proceso es más relevante cuando las aguas tienen un alto contenido de carbonatos y bicarbonatos (Uvalle et al., 2000).

Los resultados del índice de salinidad del muestreo en época de lluvia, se encuentran en el Cuadro 17. El agua de riego del cantón Milagro no tiene ninguna restricción con respecto a la salinidad efectiva. Sin embargo en la época de estiaje

hay cambios significativos en el agua como se puede observar en el Cuadro 18, donde el 43,75% de las aguas ya se encuentran con un grado de restricción debido a la salinidad efectiva.

Cuadro 17. Clasificación de las aguas del primer muestreo, época de precipitaciones, de las aguas del cantón Milagro en base a la salinidad efectiva.

No.	Índice de Salinidad Efectiva	Clasificación Salinidad Efectiva	No.	Índice de Salinidad Efectiva	Clasificación Salinidad Efectiva
1	0,414	Buena	21	0,225	Buena
2	0,190	Buena	22	0,188	Buena
3	0,442	Buena	23	0,285	Buena
4	0,396	Buena	24	0,206	Buena
5	0,566	Buena	25	0,285	Buena
6	0,525	Buena	26	0,177	Buena
7	0,169	Buena	27	0,240	Buena
8	0,178	Buena	28	0,148	Buena
9	0,207	Buena	29	0,253	Buena
10	0,166	Buena	30	0,248	Buena
11	0,240	Buena	31	0,872	Buena
12	0,314	Buena	32	0,477	Buena
13	0,118	Buena	33	0,653	Buena
14	0,187	Buena	34	0,376	Buena
15	0,240	Buena	35	0,303	Buena
16	0,347	Buena	36	0,188	Buena
17	0,229	Buena	37	0,439	Buena
18	0,173	Buena	38	0,313	Buena
19	0,290	Buena	39	0,094	Buena
20	0,169	Buena	40	0,116	Buena

Un alto porcentaje de las aguas de riego del cantón Milagro está condicionada para su uso y pueden mezclarse con las sales del suelo, ocasionando severos problemas a los cultivos y a los suelos.

Estos condicionamientos probablemente tengan sus orígenes en los problemas de anegamiento en la zona, pues corresponde a una llanura aluvial.

Cuadro 18. Clasificación de las aguas del segundo muestreo, época de estiaje, de las aguas del cantón Milagro en base a la salinidad efectiva.

No.	Índice de Salinidad Efectiva	Clasificación Salinidad Efectiva	No.	Índice de Salinidad Efectiva	Clasificación Salinidad Efectiva
1	3,782	Condicionada	17	2,119	Buena
2	2,608	Buena	18	2,399	Buena
3	3,611	Condicionada	19	2,434	Buena
4	4,475	Condicionada	20	2,280	Buena
5	4,233	Condicionada	21	2,375	Buena
6	5,300	Condicionada	22	2,317	Buena
7	2,617	Buena	23	2,292	Buena
8	2,895	Buena	24	1,562	Buena
9	1,554	Buena	25	2,315	Buena
10	3,399	Condicionada	26	10,466	Condicionada
11	3,233	Condicionada	27	13,067	Condicionada
12	1,866	Buena	28	2,636	Buena
13	1,941	Buena	29	3,233	Condicionada
14	3,567	Condicionada	30	3,192	Condicionada
15	3,167	Condicionada	31	3,204	Condicionada
16	2,017	Buena	32	1,783	Buena

En la Figura 32 se puede observar que el cantón en general no tiene problemas de salinidad efectiva, para el muestreo en época de lluvias. La Figura 33 presenta la distribución espacial de la salinidad efectiva en época de estiaje, muestra que hay aguas que están condicionadas, en la zona del río Belin y del Pozo Banco de Arena, la presencia de la fábrica de ácido sulfúrico tiene una influencia importante en la zona sur oriente del cantón provocando cambios en las aguas de riego en especial en épocas de bajas lluvias. Esto significa que el monitoreo y el estudio de las agua son esenciales.

Figura 32. Distribución espacial de la calidad del agua de la microcuenca del río Milagro en base a la Salinidad efectiva, en época de lluvias.

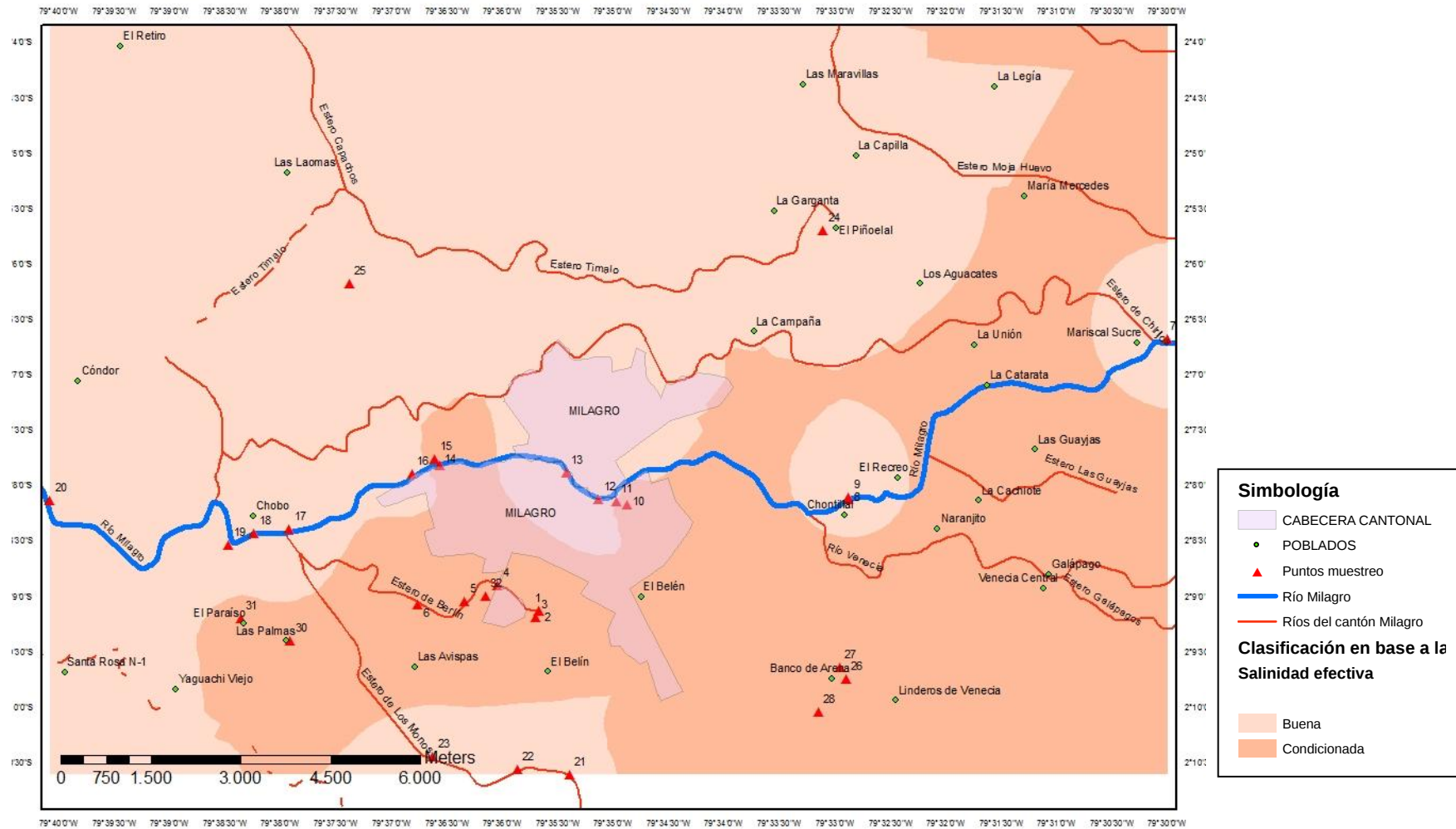


Figura 33. Distribución espacial de la calidad del agua de la microcuenca del río Milagro en base a la Salinidad efectiva, en época de estiaje.

3.1.4.11 Índices de salinidad potencial

La salinidad potencial es un índice para estimar el peligro de cloruros y parte de sulfatos a bajos niveles de humedad, por debajo del 50% y que por lo tanto aumentan considerablemente la presión osmótica (Uvalle et al., 2000).

Como se observa en el Cuadro 19, las aguas no presentan ninguna restricción de su uso con referencia a la salinidad potencial. La Figura 34 muestra la distribución de las aguas en base a la salinidad potencial en época de lluvia.

Cuadro 19. Clasificación de las aguas del muestreo en época de lluvias de las aguas del cantón Milagro en base a la salinidad potencial.

No.	Índice de Salinidad Potencial	Clasificación Salinidad Potencial	No.	Índice de Salinidad Potencial	Clasificación Salinidad Potencial
1	0,451	Buena	21	0,274	Buena
2	0,174	Buena	22	0,190	Buena
3	0,481	Buena	23	0,337	Buena
4	0,459	Buena	24	0,329	Buena
5	0,554	Buena	25	0,362	Buena
6	0,478	Buena	26	0,245	Buena
7	0,211	Buena	27	0,282	Buena
8	0,217	Buena	28	0,203	Buena
9	0,253	Buena	29	0,279	Buena
10	0,215	Buena	30	0,287	Buena
11	0,300	Buena	31	2,159	Buena
12	0,356	Buena	32	0,570	Buena
13	0,155	Buena	33	1,583	Buena
14	0,218	Buena	34	0,428	Buena
15	0,288	Buena	35	0,344	Buena
16	0,367	Buena	36	0,238	Buena
17	0,296	Buena	37	0,473	Buena
18	0,237	Buena	38	0,391	Buena
19	0,348	Buena	39	0,154	Buena
20	0,226	Buena	40	0,157	Buena

Nuevamente el porcentaje de restricciones aumentan en la época de estiaje, con un porcentaje de 28,13%, como se muestra en el Cuadro 20, sin embargo no hay ningún

punto en el que las aguas no sea recomendables su uso, por eso se puede decir que en general estas aguas pueden ser utilizadas para riego, pues la concentración de cloruros y sulfatos no es alta.

Los puntos de aguas condicionadas en época de estiaje, como se muestra en la Figura 35, son los puntos de Banco de Arena, cuya influencia se extiende de acuerdo a la interpolación realizada, hasta el Estero los Monos. Las emisiones a la atmósfera de anhídrido sulfuroso y vapor de ácido sulfúrico provenientes de la fábrica de ácido sulfúrico de la zona, podría ser uno de los problemas ambientales más preocupantes de este tipo de procesos, lo que justificaría que en época de estiaje, con humedades por del debajo del 50%, por la falta de agua de lluvia concentre los iones sulfato en la zona y sus alrededores.

Cuadro 20. Clasificación de las aguas del muestreo en época de estiaje de las aguas del cantón Milagro en base a la salinidad potencial.

No.	Índice de Salinidad Potencial	Clasificación Salinidad Potencial	No.	Índice de Salinidad Potencial	Clasificación Salinidad Potencial
1	1,150	Buena	17	0,125	Buena
2	2,558	Buena	18	1,525	Buena
3	1,288	Buena	19	1,525	Buena
4	3,513	Condicionada	20	0,863	Buena
5	3,400	Condicionada	21	1,813	Buena
6	4,050	Condicionada	22	0,125	Buena
7	2,688	Buena	23	0,150	Buena
8	2,100	Buena	24	0,063	Buena
9	0,067	Buena	25	0,125	Buena
10	3,425	Condicionada	26	7,263	Condicionada
11	3,250	Condicionada	27	10,250	Condicionada
12	1,400	Buena	28	0,650	Buena
13	1,500	Buena	29	2,600	Buena
14	3,588	Condicionada	30	0,200	Buena
15	3,188	Condicionada	31	0,150	Buena
16	0,837	Buena	32	0,375	Buena

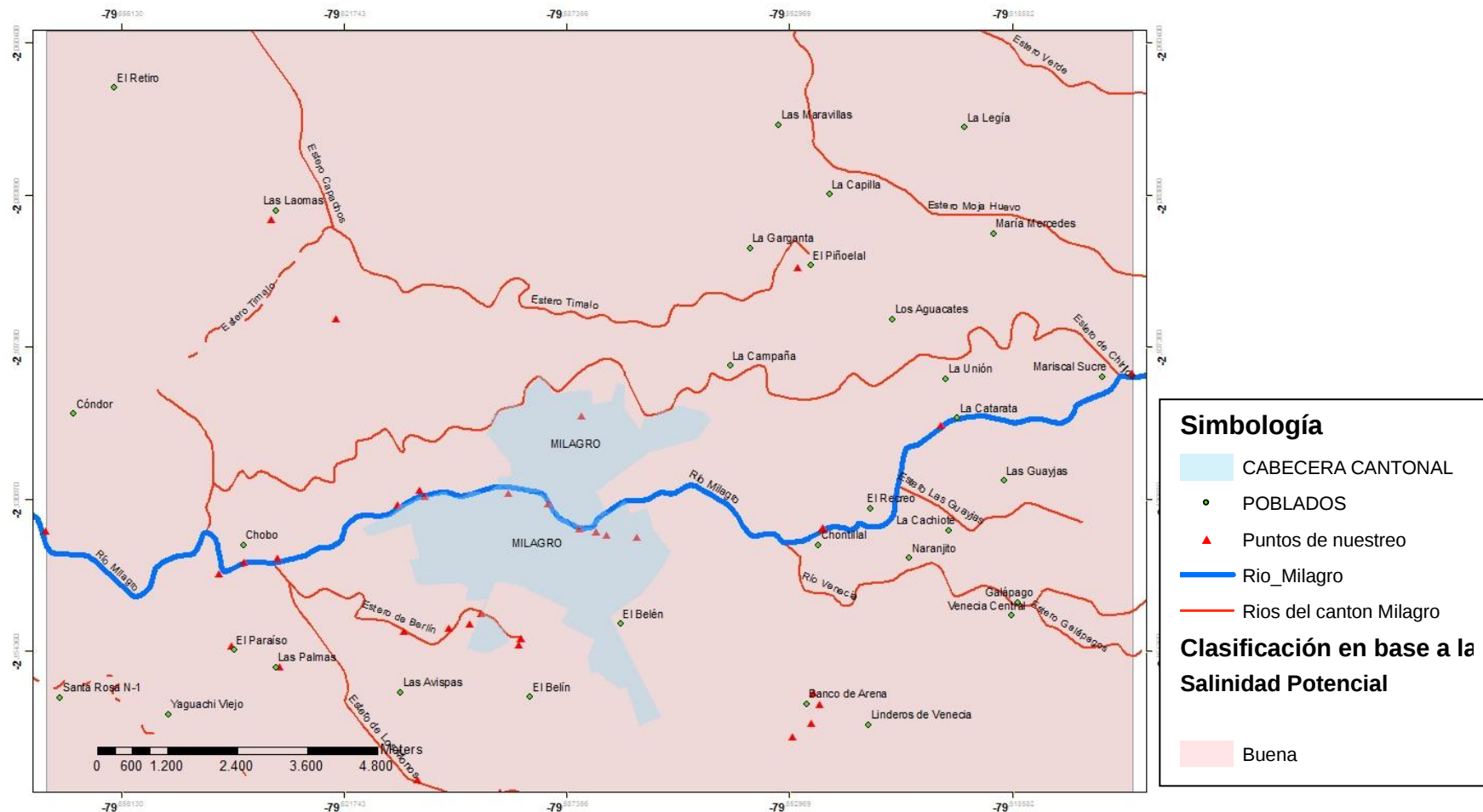


Figura 34. Distribución espacial de la calidad del agua de la microcuenca del río Milagro en base a la Salinidad potencial, en época de lluvias.



Figura 35. Distribución espacial de la calidad del agua de la microcuenca del río Milagro en base a la Salinidad potencial, en época de estiaje.

3.1.4.12 Clasificación de las aguas en base a la sodicidad

La sodicidad mide el efecto probable de sodio sobre las propiedades físicas del suelo. Cuando el sodio se encuentra en altas concentraciones en el agua de riego y el calcio y el magnesio se precipitan en la solución del suelo por la acción de carbonatos y bicarbonatos, entonces el sodio se acumula y substituye al calcio y al magnesio en el intercambio de cationes, dando lugar a un desequilibrio eléctrico de las partículas coloidales del suelo debido al predominio de cargas negativas, las partículas del suelo se repelen, el suelo se deflocula y pierde estructura, por lo que existe menos entrada de oxígeno al suelo, disminuye la permeabilidad, se fomenta la compactación y encostramiento, afectando el desarrollo normal de los cultivos (Uvalle et al., 2000).

La medida del RAS de las aguas de riego están íntimamente relacionada con la relación de adsorción de sodio de la solución del suelo, el RAS del agua de riego es considerado un buen indicador del riesgo de sodificación del suelo y por lo tanto también puede deducirse el PSI, porcentaje de sodio intercambiable, esperable en el largo plazo a partir del RAS del agua de riego (Prieto, 2008).

Según Rengasamy (2006), citado en Ramirez (2009), ninguna zona climática del mundo entero está libre de la salinización, aunque la percepción general es enfocada en regiones áridas y semiáridas, en donde el dominio de sales de sodio es muy común.

El índice de RAS original no toma en cuenta los procesos de dilución y precipitación que se producen en el suelo por dilución de la solución del suelo o presencia de CO_2 , o la presencia de abundantes cantidades de calcio, carbonatos CO_3^{2-} , bicarbonatos HCO_3^- o sulfatos SO_4^{2-} . Para esto el Laboratorio de Salinidad del USDA propuso (USDA, 1951) el Carbonato de Sodio Residual (CSR), con el mismo objetivo Ayers y Westcot(1976) introdujeron el concepto de RAS ajustado (RAS_{aj}) propuesto originalmente por Rhoades (1972) en cuyo cálculo se tenía en cuenta la concentración de CO_3^{2-} y HCO_3^- no toma en cuenta la precipitación del calcio y el magnesio.

Las diferentes conceptualizaciones del RAS se pueden apreciar en las Figuras 36, 37 y 38 que presentan los diagramas CE y RAS, según Richards *et al.* (1954). La Figura 36 indica los valores del RAS original, la Figura 37 el RAS ajustado y la Figura 38 el RAS corregido, en donde se puede observar que para el muestreo en época de lluvias el 100% de las muestras de agua cae dentro de la clasificación S1 para las tres formas de expresar el RAS, lo que significa que las aguas son bajas en sodio y pueden ser utilizadas casi sin restricción para cualquier tipo de suelo y de cultivo, sin que ello lleve a un inminente aumento del sodio intercambiable en el complejo del intercambio.

En el Cuadro 21 se encuentran resumidos los valores del RAS.

Cuadro 21. Clasificación de las aguas del muestreo en época de precipitación del río Milagro, con base a la sodicidad.

No.	Clasificación en base al RAS					
	RAS original	Tipo	RAS ajustado	Tipo	RAS corregido	Tipo
1	0,11	S1	0,05	S1	0,03	S1
2	0,29	S1	-0,21	S1	0,12	S1
3	0,09	S1	0,04	S1	0,05	S1
4	0,09	S1	0,03	S1	0,05	S1
5	0,11	S1	-0,02	S1	0,07	S1
6	0,12	S1	0,03	S1	0,08	S1
7	0,06	S1	-0,04	S1	0,03	S1
8	0,07	S1	-0,06	S1	0,03	S1
9	0,11	S1	-0,11	S1	0,04	S1
10	0,13	S1	-0,11	S1	0,04	S1
11	0,11	S1	-0,05	S1	0,04	S1
12	0,09	S1	-0,03	S1	0,03	S1
13	0,06	S1	-0,05	S1	0,02	S1
14	0,09	S1	-0,10	S1	0,02	S1
15	0,08	S1	-0,06	S1	0,02	S1
16	0,09	S1	-0,06	S1	0,03	S1

Continuación... Clasificación de las aguas del segundo muestreo del río Milagro.

Clasificación en base al RAS						
No.	RAS original	Tipo	RAS ajustado	Tipo	RAS corregido	Tipo
18	0,08	S1	-0,04	S1	0,03	S1
19	0,09	S1	-0,01	S1	0,04	S1
20	0,09	S1	-0,04	S1	0,04	S1
21	0,09	S1	-0,06	S1	0,03	S1
22	0,09	S1	-0,01	S1	0,04	S1
23	0,08	S1	-0,04	S1	0,03	S1
24	0,07	S1	-0,06	S1	0,02	S1
25	0,07	S1	0,00	S1	0,03	S1
26	0,07	S1	0,02	S1	0,03	S1
27	0,08	S1	-0,04	S1	0,03	S1
28	0,08	S1	-0,05	S1	0,02	S1
29	0,18	S1	-0,08	S1	0,08	S1
30	0,07	S1	-0,03	S1	0,02	S1
31	0,08	S1	0,08	S1	0,06	S1
32	0,04	S1	0,01	S1	0,02	S1
34	0,04	S1	0,02	S1	0,03	S1
35	0,04	S1	0,00	S1	0,01	S1
36	0,05	S1	0,01	S1	0,03	S1
37	0,04	S1	0,01	S1	0,02	S1
38	0,04	S1	0,00	S1	0,01	S1
39	0,07	S1	-0,05	S1	0,02	S1
40	0,06	S1	-0,04	S1	0,02	S1

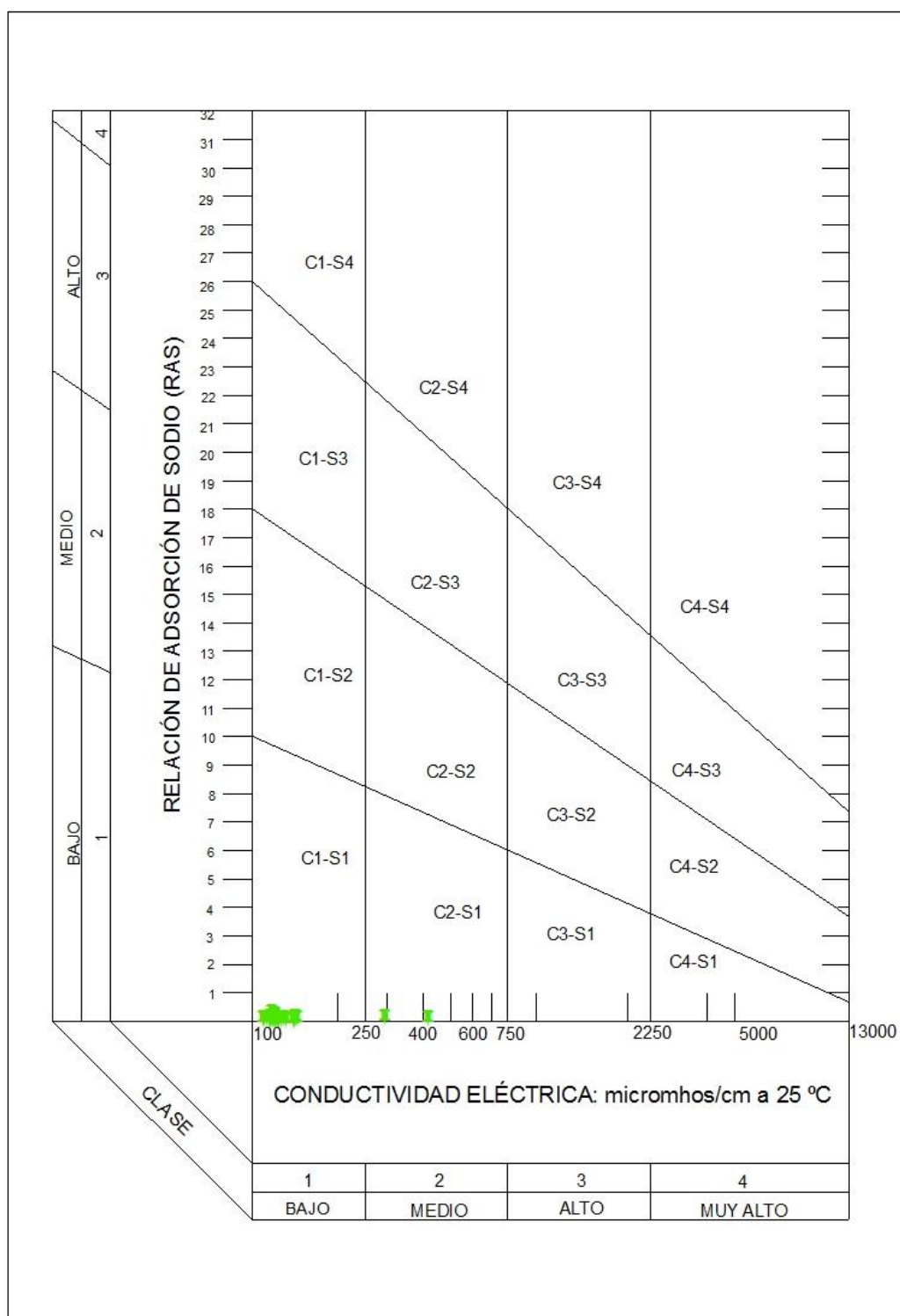


Figura 36. Diagrama de clasificación de las aguas para riego citada por Richards *et al.* (1954), época de precipitaciones de la microcuenca del río Milagro (RAS original).

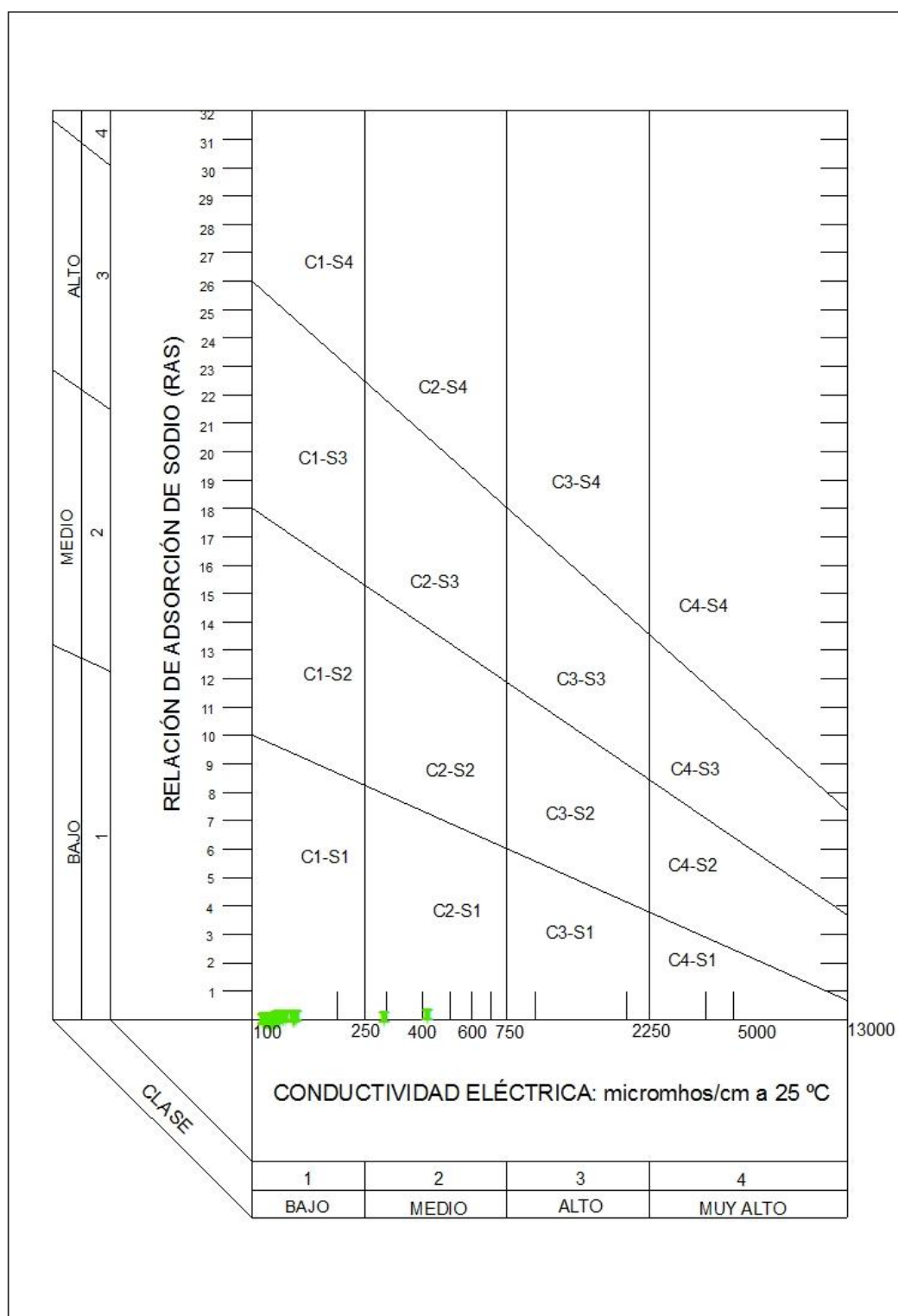


Figura 37. Diagrama de clasificación de las aguas para riego citada por Richards *et al.* (1954), época de precipitaciones de la microcuenca del río Milagro (RAS_{aj}).

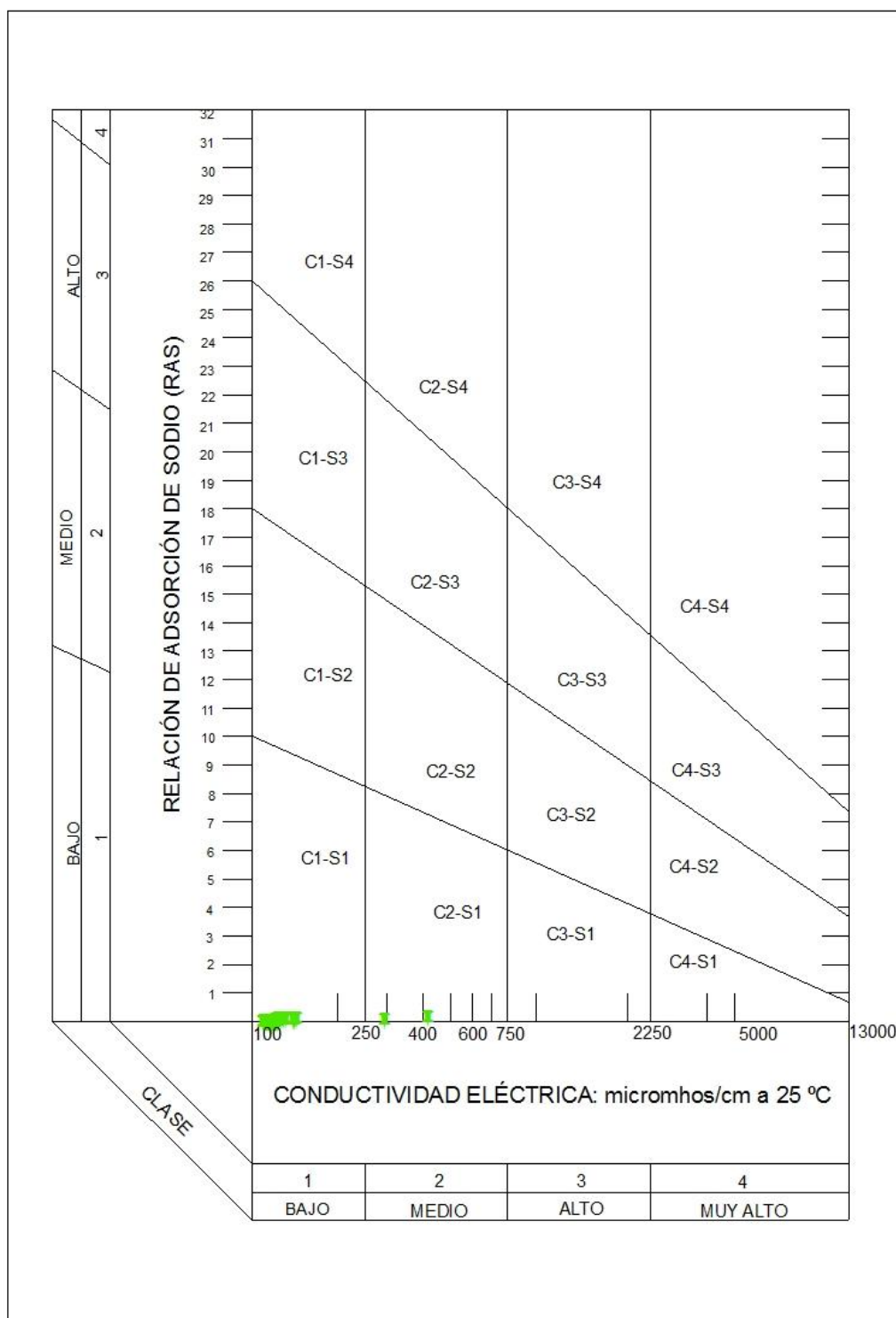


Figura 38. Diagrama de clasificación de las aguas para riego citada por Richards *et al.* (1959), época de precipitaciones de la microcuenca del río Milagro (RAS).

Las Figuras 39, 40 y 41 nos ilustran las tendencias de las modificaciones del RAS, para el grupo de muestras en época de estiaje, así como el Cuadro 22 resume los mismos valores. En el segundo muestreo, época de estiaje, tomando el RAS original y corregido el 100 % de las aguas tienen clasificación S1 con respecto a la sodicidad, sin embargo con referencia al RAS ajustado el 42,87 % de las aguas pertenecen a S1, pero ya aparecen aguas con clasificación S2 correspondientes a un 46,88 %, esto indica que un alto porcentaje de las aguas son aguas con contenido de sodio medio, lo que representa un peligro en suelos de textura fina con alta capacidad de intercambio catiónico, también hay aguas clasificadas S3 6,25 % aguas altas en sodio, necesita prácticas especiales de manejo y S4 4 %, aguas muy altas en sodio, inadecuadas excepto cuando su salinidad es baja.

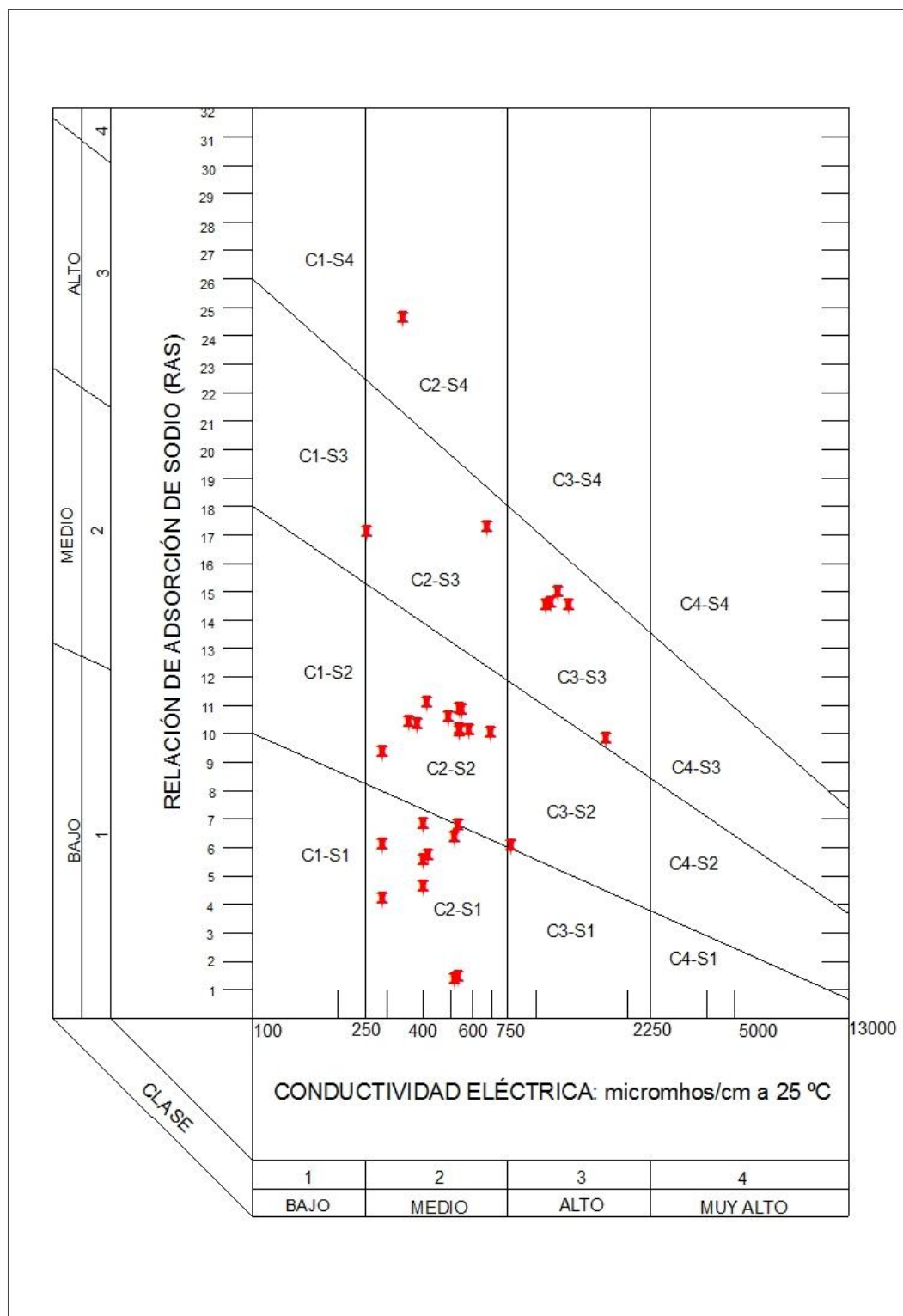


Figura 40. Diagrama de clasificación de las aguas para riego citada por Richards *et al.* (1954), del muestreo en época de estiaje del río Milagro (RAS_{aj}).

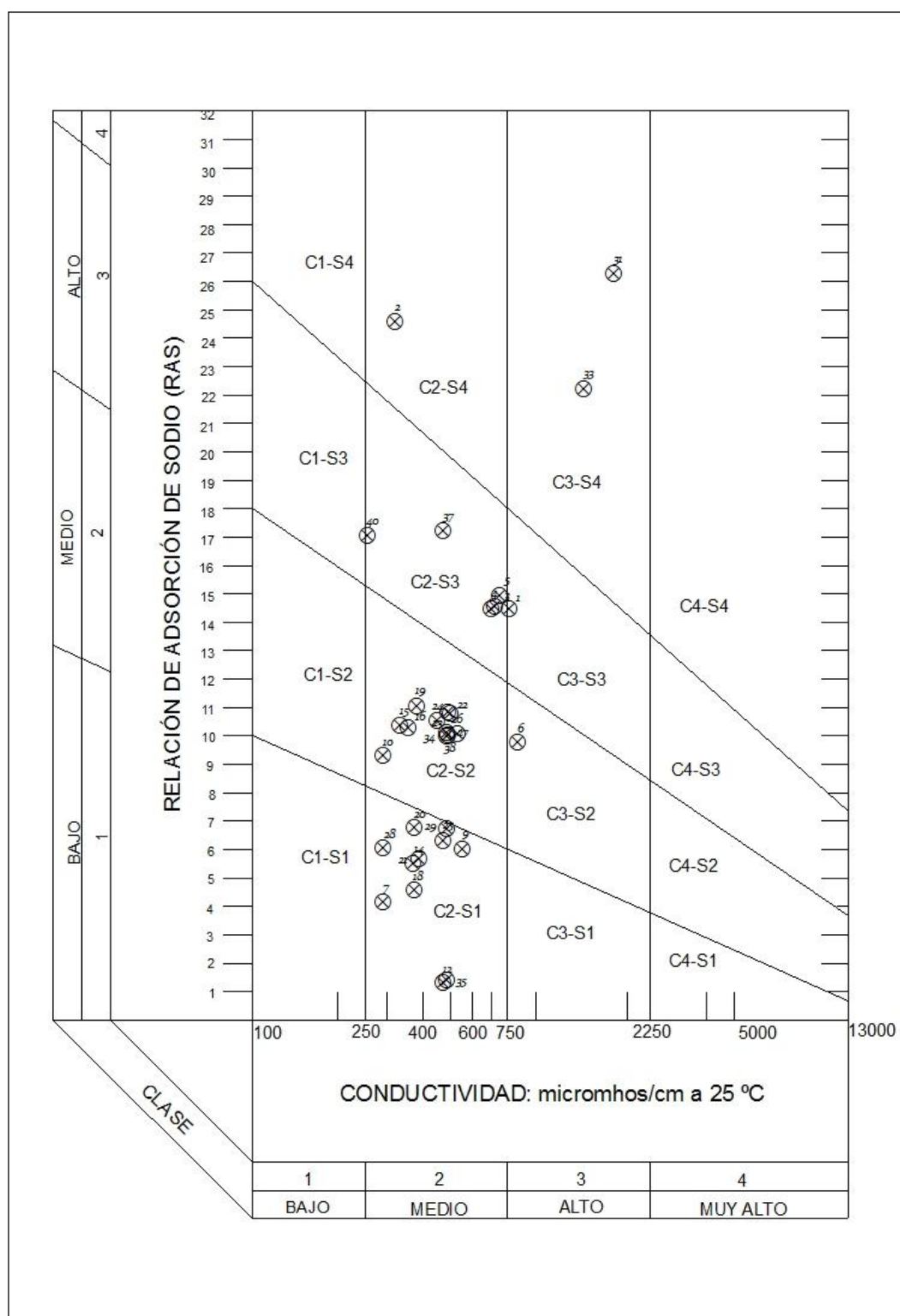


Figura 41. Diagrama de clasificación de las aguas para riego citada por Richards *et al.* (1954), del segundo muestreo, época de estiaje, microcuenca del río Milagro (RAS°).

Cuadro 22. Clasificación de las aguas del muestreo en época de estiaje del río Milagro.

No.	Clasificación en base al RAS					
	RAS original	Tipo	RAS ajustado	Tipo	RAS corregido	Tipo
1	2,01	S1	14,47	S2	0,92	S1
2	2,62	S1	24,58	S3	1,76	S1
3	2,03	S1	14,55	S2	1,81	S1
4	2,01	S1	14,48	S2	1,78	S1
5	2,07	S1	14,94	S2	1,89	S1
6	2,13	S1	9,76	S1	2,07	S1
7	1,34	S1	4,14	S1	0,88	S1
8	1,51	S1	6,02	S1	1,24	S1
9	1,29	S1	9,29	S1	0,78	S1
11	1,43	S1	5,50	S1	0,94	S1
12	1,44	S1	10,34	S2	0,89	S1
13	1,41	S1	10,26	S2	0,92	S1
14	1,45	S1	4,56	S1	0,78	S1
15	1,54	S1	11,04	S2	0,96	S1
16	1,45	S1	6,75	S1	0,96	S1
17	1,47	S1	5,65	S1	1,09	S1
18	1,50	S1	10,82	S2	1,08	S1
19	1,50	S1	10,78	S2	1,24	S1
20	1,46	S1	10,53	S2	1,08	S1
21	1,40	S1	6,32	S1	1,07	S1
22	1,41	S1	10,11	S2	1,00	S1
23	1,39	S1	10,00	S2	1,14	S1
24	1,30	S1	6,04	S1	0,75	S1
25	1,39	S1	6,72	S1	0,77	S1
26	3,73	S1	26,24	S4	3,97	S1
27	3,14	S1	22,21	S3	2,28	S1
28	1,39	S1	9,97	S1	1,17	S1
29	1,34	S1	1,41	S1	1,87	S1
30	2,39	S1	17,21	S2	3,31	S1
31	2,65	S1	10,08	S2	3,73	S1
32	2,37	S1	17,04	S2	1,01	S1

Se puede observar que comparando los dos muestreos se incrementó el sodio intercambiable del muestreo en época de estiaje con respecto a la época de lluvias,

situación que representa una de las alteraciones más frecuentes después del riego con aguas residuales, además de altos contenidos de sales, materia orgánica que probablemente proviene del riego con vinaza en el ingenio Valdez y cuerpos sólidos suspendidos, según Heidarpour *et al.* (2007), Pereira *et al.*, (2009), citados en Ramírez (2009). Los valores más críticos se obtuvieron con el RAS_{aj}, el río Belin tiene una clasificación S2, aguas provenientes de bananeras, lo que significa que la precipitación de la calcita es un factor influyente, son zonas de conos de esparcimiento, existen zonas clasificadas como S3 y S4, en la zona de Banco de Arena.

Cuando la concentración de calcio y magnesio son altas, la posibilidad de que precipiten dichos iones como carbonatos es alta pues alcanzan rápidamente su solubilidad máxima a la temperatura del medio, lo que hace que la concentración del sodio aumente provocando un aumento en la alcalinidad del suelo, esto puede provocar que el crecimiento y el rendimiento de los cultivos disminuya, puesto que las plantas compensan la alta sodicidad con menor crecimiento de la raíz (Torres *et al.*, 2012).

Las Figura 42 y 43 indican la distribución espacial de la salinidad en base al RAS_{aj} para el muestreo en época de lluvias y de estiaje respectivamente.

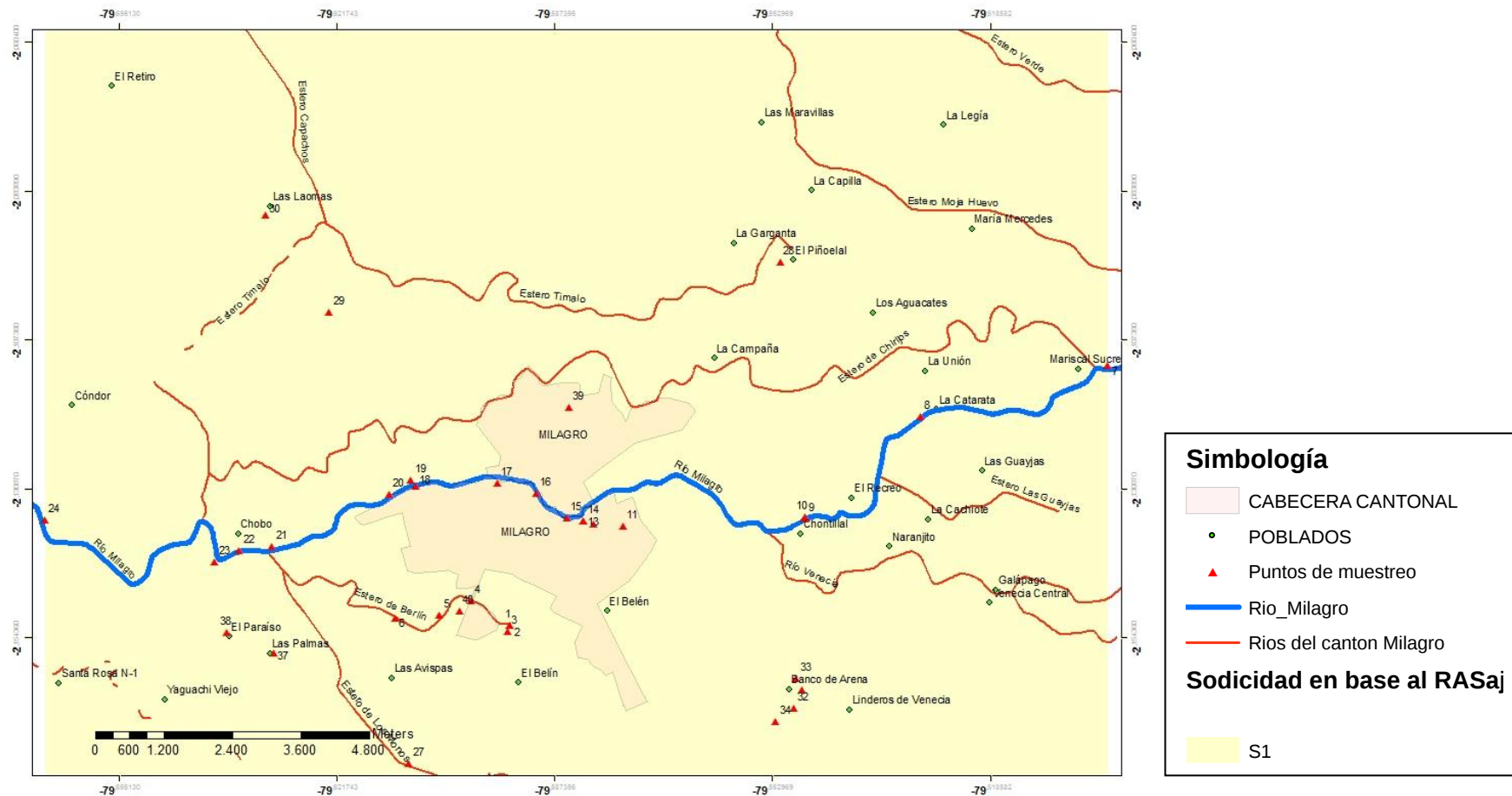


Figura 42. Distribución espacial de la salinidad del agua de la microcuenca del río Milagro en base al RAS_{aj}, en época de precipitaciones.

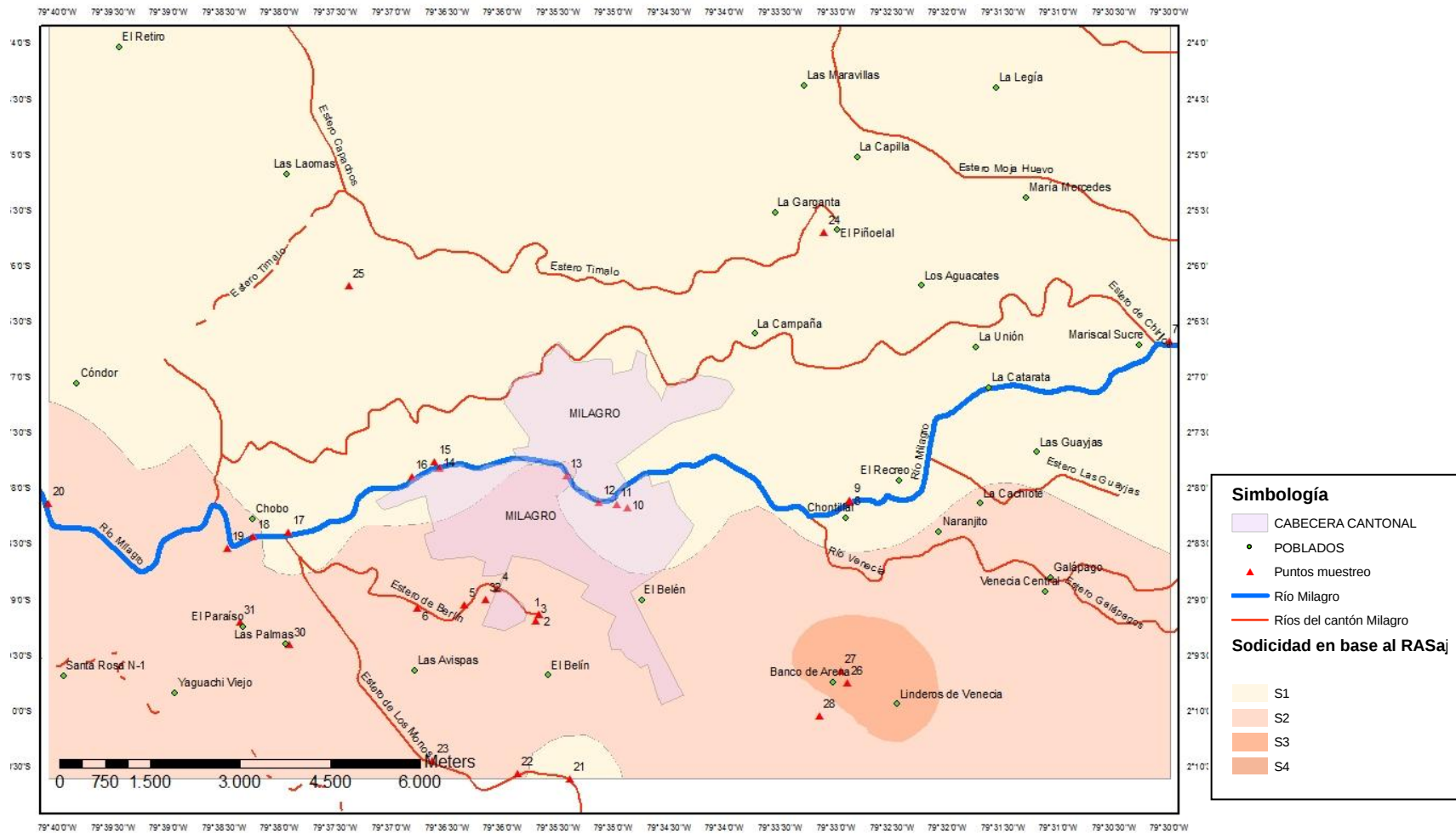


Figura 43. Distribución espacial de la salinidad del agua de la microcuenca del río Milagro en base al RAS_{aj}, en época de estiaje.

El RAS de las aguas nos permite inferir el PSI de los suelos para condiciones de saturación y en equilibrio con las aguas de riego. En la Figura 44 se observa las relación PSI - RAS para todas las modificaciones del RAS del primer muestreo en época de lluvias y la Figura 45 del segundo muestreo, época de estiaje del río Milagro. Como cita Carrera (2009), el RAS se deriva de la ecuación de intercambio de Gapon, para la que los valores de coeficiente de selectividad iónica (K_G) para un suelo arcilloso-arenoso-limoso son: $K_1 = 0.0072444$, $K_2 = 0.011861$ y $K_3 = 0.0168999 \text{ (mmol L}^{-1}\text{)}^{-1/2}$.

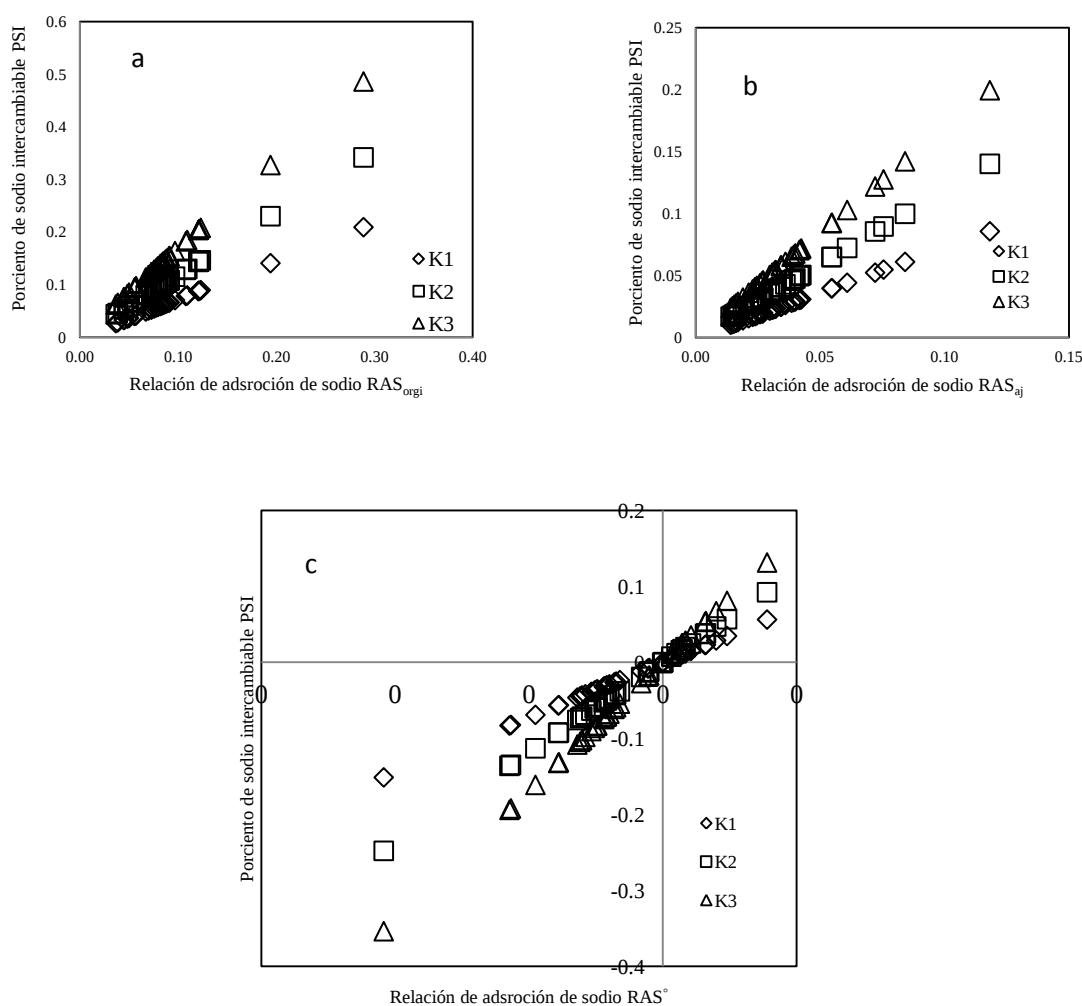


Figura 44. Relaciones PSI-RAS del muestreo en época de lluvias, para las expresiones a) PSI-RAS_{orig} b) PSI-RAS_{aj} c) PSI-RAS°.

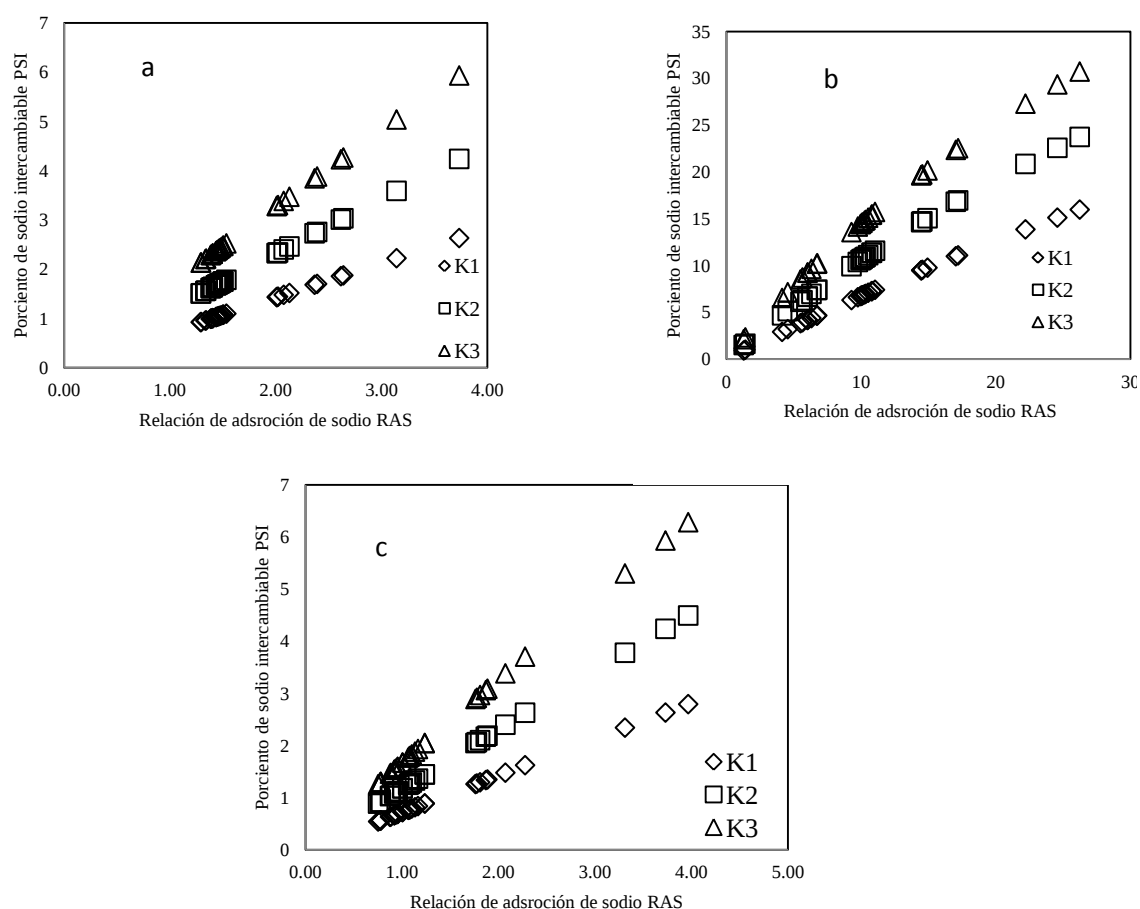


Figura 45. Relaciones PSI-RAS del muestreo en época de estiaje, para las expresiones a) $\text{PSI-RAS}_{\text{orig}}$ b) $\text{PSI-RAS}_{\text{aj}}$ c) PSI-RAS° .

El coeficiente K_G , expresa directamente la complejidad de las estructuras cristalino-químicas de los sistemas arcillosos y orgánicos coloide-dispersos de los suelos, es decir, las características topográficas de los sistemas coloidales de los suelos.

Velásquez *et al.*(2002) explican que cuando las aguas de riego tienen grandes cantidades de bicarbonatos, éstos son fácilmente hidrolizados y como resultado aumenta el pH de las aguas. Se puede observar que en general todos los puntos se encuentran en una misma familia, sin variaciones significativas.

3.1.4.13 Efecto de las concentraciones CO_3^{2-} y HCO_3^-

Alto contenido de carbonato y bicarbonato puede aumentar el índice RAS. Estos aniones se combinan con el calcio y el magnesio, precipitando en forma de carbonato cálcico o magnésico, cuando la solución del suelo se concentra bajo condiciones secas. Cuando el calcio y el magnesio precipitan en el suelo, aumenta la proporción relativa de sodio presente en el suelo, es decir, aumentará el valor de RAS y por tanto, el riesgo de sodificación del suelo, a pesar de que la cantidad presente de sodio no haya variado (Martínez, 2009).

La concentración de iones calcio y magnesio disminuye en relación al sodio y el RAS es mayor. Esto provoca la alcalinización y aumento del pH, lo que indica que hay altos contenidos de carbonatos y bicarbonatos (Gardner, 2004). Los principales responsables de la alcalinidad en agua son los carbonatos y bicarbonatos disueltos. El aumento de pH puede afectar la disponibilidad de nutrientes a través de las raíces, puesto que a valores altos de pH pueden precipitar ciertos nutrientes (NUTRITERRA, 2010).

3.1.4.14 Porcentaje de sodio encontrado

Los efectos de la sodicidad son numerosos y aún mucho más perjudiciales. La sodicidad o alcalinización se desarrolla cuando en la solución del suelo existe una concentración elevada de sales sódicas capaces de sufrir hidrólisis alcalina, de tipo carbonato y bicarbonato de sodio. Junto a estas sales de base fuerte NaOH y ácido débil (H_2CO_3), existen importantes cantidades de sales sódicas neutras carentes de propiedades alcalinizantes (principalmente cloruros y sulfatos) y sales de calcio y magnesio (Villegas, 1995).

El peligro del intercambio de iones sodio por calcio y magnesio en el complejo de intercambio catiónico, empieza cuando la concentración de iones sodio en solución presenta más de la mitad de los cationes disueltos (Carrera *et al.*, 2011).

El Cuadro 23 presenta los resultados de la probabilidad de generar suelos sódicos con las aguas del riego del primer muestreo en época de lluvia de la microcuenca del río Milagro, esto nos demuestra que solo el 5% de las muestras tiene la probabilidad de generar suelos sódicos, correspondiente al pozo de la Bananera Álvarez, es decir las aguas son de buena calidad.

Cuadro 23. Posible efecto del sodio encontrado de las aguas del muestreo en época de lluvias del río Milagro

No.	Porcentaje de Na encontrado	Clasificación	No.	Porcentaje de Na encontrado	Clasificación
1	8,072	No hay problema de suelos sódicos	21	9,206	No hay problema de suelos sodicos
2	28,000	Probabilidad de suelos sódicos	22	8,465	No hay problema de suelos sódicos
3	6,095	No hay problema de suelos sódicos	23	7,014	No hay problema de suelos sódicos
4	6,538	No hay problema de suelos sódicos	24	6,618	No hay problema de suelos sódicos
5	7,965	No hay problema de suelos sódicos	25	6,242	No hay problema de suelos sódicos
6	8,149	No hay problema de suelos sódicos	26	6,230	No hay problema de suelos sódicos
7	7,040	No hay problema de suelos sódicos	27	7,190	No hay problema de suelos sódicos
8	7,948	No hay problema de suelos sódicos	28	8,569	No hay problema de suelos sódicos
9	11,823	No hay problema de suelos sódicos	29	16,613	Probabilidad de suelos sódicos
10	13,445	No hay problema de suelos sódicos	30	7,555	No hay problema de suelos sódicos
11	10,257	No hay problema de suelos sódicos	31	2,857	No hay problema de suelos sódicos
12	8,230	No hay problema de suelos sódicos	32	2,960	No hay problema de suelos sódicos
13	8,220	No hay problema de suelos sódicos	33	4,237	No hay problema de suelos sódicos
14	11,126	No hay problema de suelos sódicos	34	2,984	No hay problema de suelos sódicos
15	8,019	No hay problema de suelos sódicos	35	4,064	No hay problema de suelos sódicos
16	8,443	No hay problema de suelos sódicos	36	4,539	No hay problema de suelos sódicos
17	9,532	No hay problema de suelos sódicos	37	3,218	No hay problema de suelos sódicos
18	7,525	No hay problema de suelos sódicos	38	3,861	No hay problema de suelos sódicos
19	7,282	No hay problema de suelos sódicos	39	8,270	No hay problema de suelos sódicos
20	8,655	No hay problema de suelos sódicos	40	6,800	No hay problema de suelos sódicos

Sin embargo en el segundo muestreo, época de estiaje, se nota un cambio brusco de sodicidad, aquí el 100 % de las aguas pueden causar problemas de acumulación de sodio intercambiable en el suelo, provocado principalmente por la precipitación del calcio y magnesio como carbonato, que son sales de muy baja solubilidad, aumentando de esta manera la concentración de sodio en la fase sólida del suelo. La escasez de lluvias en esta época pueden causar la precipitación del calcio y el magnesio aumentando la concentración de sodio, por ello es necesario mantener el suelo húmedo. El Cuadro 24 indica los resultados del posible efecto del sodio encontrado, en época de estiaje.

Cuadro 24. Posible efecto del sodio encontrado de las aguas del muestreo en época de estiaje de la microcuenca del río Milagro.

No.	Porcentaje de Na encontrado	Clasificación	No.	Porcentaje de Na encontrado	Clasificación
1	44,638	Probabilidad de suelos sódicos	17	43,768	Probabilidad de suelos sódicos
2	65,166	Probabilidad de suelos sódicos	18	42,333	Probabilidad de suelos sódicos
3	45,728	Probabilidad de suelos sódicos	19	41,893	Probabilidad de suelos sódicos
4	45,713	Probabilidad de suelos sódicos	20	42,055	Probabilidad de suelos sódicos
5	46,000	Probabilidad de suelos sódicos	21	40,477	Probabilidad de suelos sódicos
6	44,497	Probabilidad de suelos sódicos	22	40,268	Probabilidad de suelos sódicos
7	45,258	Probabilidad de suelos sódicos	23	39,870	Probabilidad de suelos sódicos
8	38,885	Probabilidad de suelos sódicos	24	44,290	Probabilidad de suelos sódicos
9	44,001	Probabilidad de suelos sódicos	25	39,944	Probabilidad de suelos sódicos
10	42,050	Probabilidad de suelos sódicos	26	45,456	Probabilidad de suelos sódicos
11	43,814	Probabilidad de suelos sódicos	27	41,830	Probabilidad de suelos sódicos
12	45,159	Probabilidad de suelos sódicos	28	38,022	Probabilidad de suelos sódicos
13	43,573	Probabilidad de suelos sódicos	29	38,648	Probabilidad de suelos sódicos
14	44,082	Probabilidad de suelos sódicos	30	55,006	Probabilidad de suelos sódicos
15	47,402	Probabilidad de suelos sódicos	31	59,684	Probabilidad de suelos sódicos
16	44,089	Probabilidad de suelos sódicos	32	66,454	Probabilidad de suelos sódicos

Aguas residuales comúnmente presentan altas concentraciones de sodio en comparación con otros cationes, lo cual concuerda con los valores obtenidos en el presente trabajo, ya que las aguas que presentan mayor cantidad de sodio, son aquellas tomadas en ríos, esteros y arroyos, que reciben descargas de aguas residuales tanto de poblaciones como de industrias que hay a lo largo del cauce (Ramírez, 2009).

3.1.4.15 Porcentaje de sodio posible

El Na^+ en altas concentraciones en aguas de riego, genera una peligrosidad sódica dada por aumento de este elemento en las posiciones de intercambio de las arcillas, destruyendo la estructura del suelo, debido a la dispersión de las mismas (Llorente, 2002).

Las aguas del muestreo en época de lluvias, no presentan restricciones en su uso, solo el 10 % de ellas son condicionadas, esto significa que hay que tener cuidado en los suelos que se usan y seleccionar adecuadamente los cultivos. En el Cuadro 25 se muestra el porcentaje de sodio posible del muestreo en época de precipitaciones, en la que se verifica que la mayoría de aguas (90 %) son aguas en buenas condiciones con respecto al sodio. El río Belin, el río Milagro y el estero Carrizal son los ríos que tienen condición en su uso, son aguas de reciente infiltración, en donde el anión predominante es el bicarbonato.

El Cuadro 26 indica las condiciones de las aguas del segundo muestreo, época de estiaje, se puede observar que el 50 % de las aguas presentan condicionamiento para su uso y el otro 50 % son buenas. Si se toma en cuenta la procedencia de esas aguas se observa que la mayoría de los condicionamientos se da en aguas que reciben descargas de las zonas urbanas.

3.1.4.16 Carbonato de sodio residual

El riesgo de carbonato de sodio residual se reduce a través de la eliminación de carbonatos y bicarbonatos con tratamiento ácido ya sea sulfúrico, nítrico o fosfórico (Ramírez, 2009).

Cuadro 25. Porcentaje de sodio posible de las aguas del muestreo en época de precipitaciones de la microcuenca del río Milagro.

No.	Porcentaje de Na posible	Clasificación	No.	Porcentaje de Na posible	Clasificación
1	0,341	Buena	21	0,246	Buena
2	-4,842	Buena	22	0,769	Condicionada
3	0,466	Buena	23	0,157	Buena
4	0,341	Buena	24	0,119	Buena
5	0,769	Condicionada	25	0,110	Buena
6	1,466	Condicionada	26	0,161	Buena
7	0,285	Buena	27	0,245	Buena
8	0,299	Buena	28	0,179	Buena
9	0,357	Buena	29	1,102	Condicionada
10	0,463	Buena	30	0,190	Buena
11	0,262	Buena	31	0,041	Buena
12	0,184	Buena	32	0,049	Buena
13	0,197	Buena	33	0,056	Buena
14	0,184	Buena	34	0,158	Buena
15	0,231	Buena	35	0,071	Buena
16	0,307	Buena	36	0,129	Buena
17	0,277	Buena	37	0,076	Buena
18	0,243	Buena	38	0,065	Buena
19	0,204	Buena	39	0,178	Buena
20	0,338	Buena	40	0,174	Buena

El carbonato de sodio permanece en la solución del suelo aún luego de precipitar carbonato de calcio y magnesio, bajo estas condiciones, existe suficiente sodio para desplazar el calcio y el magnesio del complejo de intercambio, produciendo la floculación del suelo (Ramírez, 2009).

Las aguas del muestreo en época de precipitaciones del río Milagro, son aguas que contienen baja concentración de carbonato de sodio residual, lo que indica que son buenas para el riego como se puede apreciar en el Cuadro 27.

Cuadro 26. Porcentaje de sodio posible de las aguas del muestreo en época de estiaje del río Milagro.

No.	Porcentaje de Na posible	Clasificación	No.	Porcentaje de Na posible	Clasificación
1	11,013	Condicionada	17	-0,850	Buena
2	2,506	Condicionada	18	-5,919	Buena
3	-21,192	Buena	19	7,003	Condicionada
4	0,788	Condicionada	20	-2,038	Buena
5	0,876	Condicionada	21	2,387	Condicionada
6	0,641	Condicionada	22	-0,891	Buena
7	0,888	Condicionada	23	-0,919	Buena
8	1,637	Condicionada	24	-0,736	Buena
9	-0,756	Buena	25	-0,903	Buena
10	0,881	Condicionada	26	0,233	Buena
11	0,860	Condicionada	27	0,208	Buena
12	9,084	Condicionada	28	-1,597	Buena
13	5,606	Condicionada	29	0,951	Condicionada
14	0,708	Condicionada	30	-1,429	Buena
15	1,195	Condicionada	31	-1,215	Buena
16	-1,544	Buena	32	-1,407	Buena

Cuadro 27. Carbonato de sodio residual del muestreo en época de precipitaciones de la microcuenca del río Milagro.

No.	Carbonato de sodio residual	Clasificación
1	-0,36	Aguas bajas en CSR-Buenas para el riego
2	-0,05	Aguas bajas en CSR-Buenas para el riego
3	-0,46	Aguas bajas en CSR-Buenas para el riego
4	-0,43	Aguas bajas en CSR-Buenas para el riego
5	-0,52	Aguas bajas en CSR-Buenas para el riego
6	-0,42	Aguas bajas en CSR-Buenas para el riego
7	-0,20	Aguas bajas en CSR-Buenas para el riego
8	-0,20	Aguas bajas en CSR-Buenas para el riego
9	-0,23	Aguas bajas en CSR-Buenas para el riego
10	-0,20	Aguas bajas en CSR-Buenas para el riego
11	-0,28	Aguas bajas en CSR-Buenas para el riego
12	-0,32	Aguas bajas en CSR-Buenas para el riego
13	-0,16	Aguas bajas en CSR-Buenas para el riego
14	-0,21	Aguas bajas en CSR-Buenas para el riego
15	-0,27	Aguas bajas en CSR-Buenas para el riego
16	-0,31	Aguas bajas en CSR-Buenas para el riego
17	-0,27	Aguas bajas en CSR-Buenas para el riego
18	-0,25	Aguas bajas en CSR-Buenas para el riego
19	-0,33	Aguas bajas en CSR-Buenas para el riego
20	-0,22	Aguas bajas en CSR-Buenas para el riego
21	-0,25	Aguas bajas en CSR-Buenas para el riego
22	-0,16	Aguas bajas en CSR-Buenas para el riego
23	-0,34	Aguas bajas en CSR-Buenas para el riego
24	-0,45	Aguas bajas en CSR-Buenas para el riego
25	-0,37	Aguas bajas en CSR-Buenas para el riego
26	-0,26	Aguas bajas en CSR-Buenas para el riego
27	-0,26	Aguas bajas en CSR-Buenas para el riego
28	-0,20	Aguas bajas en CSR-Buenas para el riego
29	-0,19	Aguas bajas en CSR-Buenas para el riego

Continuación... Carbonato de sodio residual del muestreo en época de precipitaciones de la microcuenca del río Milagro.

No.	Carbonato de sodio residual	Clasificación
30	-0,28	Aguas bajas en CSR-Buenas para el riego
31	-3,38	Aguas bajas en CSR-Buenas para el riego
32	-0,62	Aguas bajas en CSR-Buenas para el riego
33	-2,45	Aguas bajas en CSR-Buenas para el riego
34	-0,42	Aguas bajas en CSR-Buenas para el riego
35	-0,35	Aguas bajas en CSR-Buenas para el riego
36	-0,24	Aguas bajas en CSR-Buenas para el riego
37	-0,47	Aguas bajas en CSR-Buenas para el riego
38	-0,42	Aguas bajas en CSR-Buenas para el riego
39	-0,17	Aguas bajas en CSR-Buenas para el riego
40	-0,16	Aguas bajas en CSR-Buenas para el riego

Para el segundo muestreo, época de estiaje, el Cuadro 28 muestra que el 25% de las aguas son dudosas para el riego pero en un alto porcentaje 69% son aptas para el riego, es decir no presentan concentraciones perjudiciales de carbonato de sodio residual para los cultivos.

En la etapa de estiaje, existen aguas que no pueden ser usadas para el riego por su alto contenido de carbonato de sodio residual, representan el 6% del total, corresponden a las aguas del punto 31 correspondiente al pozo en Banco de Arena donde se encuentra la Fábrica Proquiandinos que se dedica a la producción de ácido sulfúrico y otros químicos. El 25% tienen una cantidad media de CSR convirtiéndose en dudosas para el agua de riego sin un tratamiento previo o tomando en cuenta el tipo de suelo en el que se va a utilizar y el 69 % son aguas aptas para el riego. El río Belín y el río Milagro son aguas dudosas para riego, probablemente porque son aguas que reciben las descargas de zonas urbanas. El bajo CRS quiere decir que son aguas de pH neutro, es decir, entre 7 y 8, que es el caso de las aguas de la red hidrográfica del río Milagro, datos confirmados en los resultados de las mediciones realizadas en el laboratorio y presentados en el Anexo 2.

Cuadro 28. Carbonato de sodio residual de las aguas del muestreo en época de estiaje de la microcuenca del río Milagro.

No.	Carbonato de sodio residual	Clasificación
1	2,32	Aguas medias en CSR-Dudosas para el riego
2	-0,29	Aguas bajas en CSR-Buenas para el riego
3	2,32	Aguas medias en CSR-Dudosas para el riego
4	-0,92	Aguas bajas en CSR-Buenas para el riego
5	-0,49	Aguas bajas en CSR-Buenas para el riego
6	-1,01	Aguas bajas en CSR-Buenas para el riego
7	-1,16	Aguas bajas en CSR-Buenas para el riego
8	0,13	Aguas bajas en CSR-Buenas para el riego
9	1,44	Aguas medias en CSR-Dudosas para el riego
10	-1,16	Aguas bajas en CSR-Buenas para el riego
11	-1,26	Aguas bajas en CSR-Buenas para el riego
12	0,07	Aguas bajas en CSR-Buenas para el riego
13	0,01	Aguas bajas en CSR-Buenas para el riego
14	-1,59	Aguas bajas en CSR-Buenas para el riego
15	-0,86	Aguas bajas en CSR-Buenas para el riego
17	1,99	Aguas medias en CSR-Dudosas para el riego
18	0,85	Aguas bajas en CSR-Buenas para el riego
19	0,42	Aguas bajas en CSR-Buenas para el riego
20	1,20	Aguas bajas en CSR-Buenas para el riego
21	-0,11	Aguas bajas en CSR-Buenas para el riego
22	2,18	Aguas medias en CSR-Dudosas para el riego
23	2,13	Aguas medias en CSR-Dudosas para el riego
24	1,49	Aguas medias en CSR-Dudosas para el riego
25	2,16	Aguas medias en CSR-Dudosas para el riego
26	0,92	Aguas bajas en CSR-Buenas para el riego
27	-3,90	Aguas bajas en CSR-Buenas para el riego
28	1,80	Aguas medias en CSR-Dudosas para el riego
29	-1,00	Aguas bajas en CSR-Buenas para el riego
30	2,96	Aguas altas en CSR-No son buenas para el riego
31	3,04	Aguas altas en CSR-No son buenas para el riego
32	1,17	Aguas bajas en CSR-Buenas para el riego

3.1.4.17 Clasificación de las aguas por su efecto sobre la infiltración

La infiltración del agua en el suelo depende de la calidad del agua, de las características físicas del suelo (como estructura, grado de compactación, contenido de materia orgánica, textura, tipo de minerales en las arcillas) y de sus características químicas, como los cationes intercambiables. Cuando el agua tiene un alto contenido de sodio, produce un PSI alto en el suelo lo que provoca una disminución de la infiltración del agua en el suelo, reduciendo significativamente el crecimiento de las plantas (Balks et al., 1998).

Los factores de calidad que suelen influir en la infiltración son el contenido total de sales (salinidad) y el contenido de sodio en relación a los de calcio y magnesio (sodicidad). La infiltración, en general, aumenta con la salinidad y disminuye con la reducción de ésta o con un aumento en el contenido de sodio en relación al calcio y magnesio (Ayers y Westcot, 1976).

Entre los índices para evaluar los problemas relacionados con la infiltración del agua en el suelo, con el fin de predecir el riesgo de sodificación o alcalinización que las aguas de riego puedan provocar, están PS, PSE, PSA, CSR, RAS, RASaj, y RAS°. estos introducen las precipitaciones, disoluciones que tienen lugar en el suelo y establecen una relación con el porcentaje de sodio intercambiable (Suarez, 1981).

Para valorar la calidad de un agua destinada a riego es importante tener en cuenta el incremento de PSI del suelo, debido a los fenómenos de adsorción de sodio desde el agua por intercambio catiónico (Suarez, 1981).

El PSI es el parámetro que mejor puede correlacionarse con la posible alteración del estado estructural del suelo (disminuyendo su permeabilidad) y con los efectos tóxicos en los cultivos debido al sodio. Por ello una evaluación racional del riesgo de sodicidad potencial de un agua debe realizarse en base a un parámetro que se correlacione de forma satisfactoria con el PSI del suelo que resulta del riego con ese agua. El RAS corregido es el que, aparentemente, mejor se correlaciona con el PSI del suelo, por lo que aparece como el parámetro más real de determinación del riesgo de sodicidad de un agua de riego (Suarez, 1981).

Las aguas del río Milagro en los dos muestreos presentan severas reducciones en la infiltración, lo que provocaría que el rendimiento de los cultivos sea bajo. En la Figura 46 se indica los problemas de infiltración con respecto a RAS original, la Figura 47 con respecto al RAS ajustado y la Figura 48 con respecto al RAS corregido.

Ayers y Wescot (1987), explica que la infiltración aumenta con la salinidad y disminuye con la reducción en la salinidad, como las aguas del cantón en general presentan bajas conductividades eléctricas provocan una reducción severa en la infiltración en los suelos. Bajos valores de PSI pueden inducir una dispersión de arcillas principalmente cuando se combinan con aguas de cajo contenido salino. Debido a que las fuerzas de repulsión entre partículas de arcilla aumentan cuando se reduce la salinidad, favoreciendo con esto la dispersión y la formación de una costra debido a la obstrucción de los poros cuando las arcillas se mueven (Carrera *et al.*, 2011).

En varios estudios se ha demostrado que la presencia de materia orgánica disuelta en aguas residuales, junto con alta sodicidad, desarrollan valores de defloculación altos en las arcillas, aumentando la dispersión del suelo, a la vez altas cantidades de materia orgánica en las aguas de riego bloquean los poros, reduciendo así la infiltración (Carrera *et al.*, 2011).

La salinidad de las aguas pueden afectar las propiedades físicas de los suelos, provocando que el agua de riego no atraviesa la superficie del suelo a una velocidad aceptable para la renovación del agua consumida por el cultivo entre riegos, esto reduce el agua en los cultivos desde la superficie hacia la zona radical.

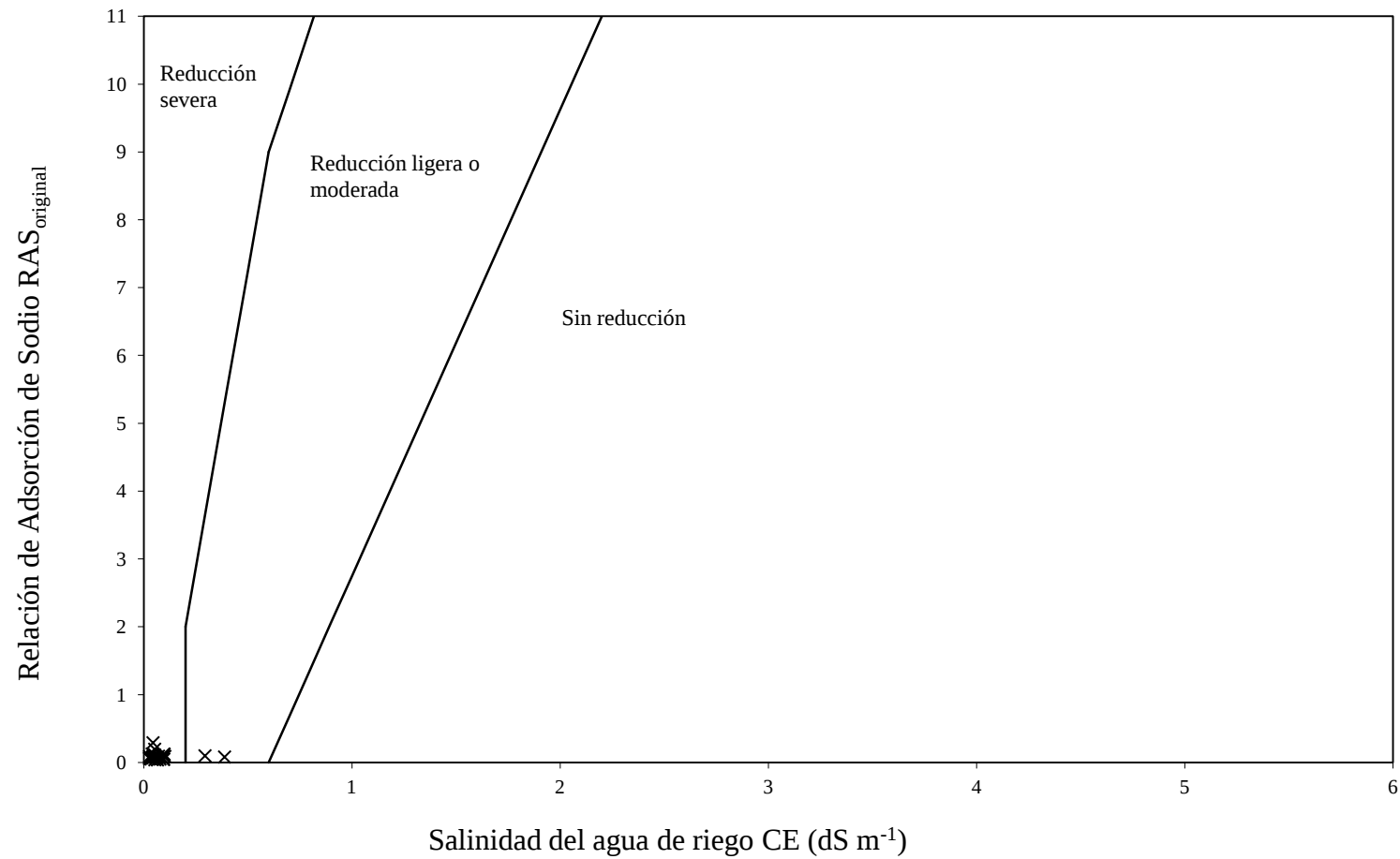


Figura 46. Reducción relativa de la infiltración de las aguas del primer muestreo, época de precipitaciones de la microcuenca del río Milagro provocada por la salinidad y la adsorción de sodio original.

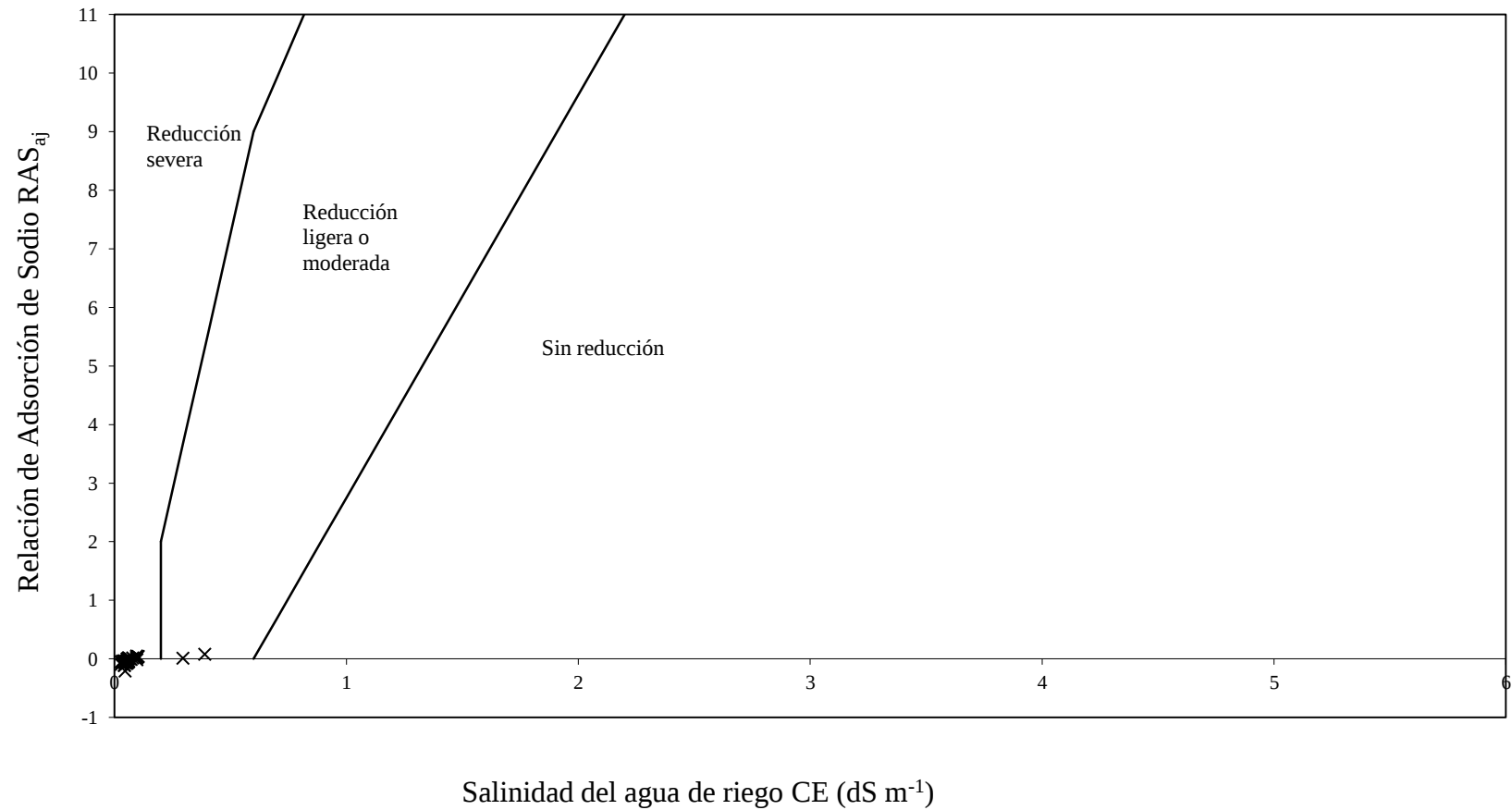


Figura 47. Reducción relativa de la infiltración de las aguas del primer muestreo, época de precipitaciones de la microcuenca del río Milagro provocada por la salinidad y la adsorción de sodio ajustado.

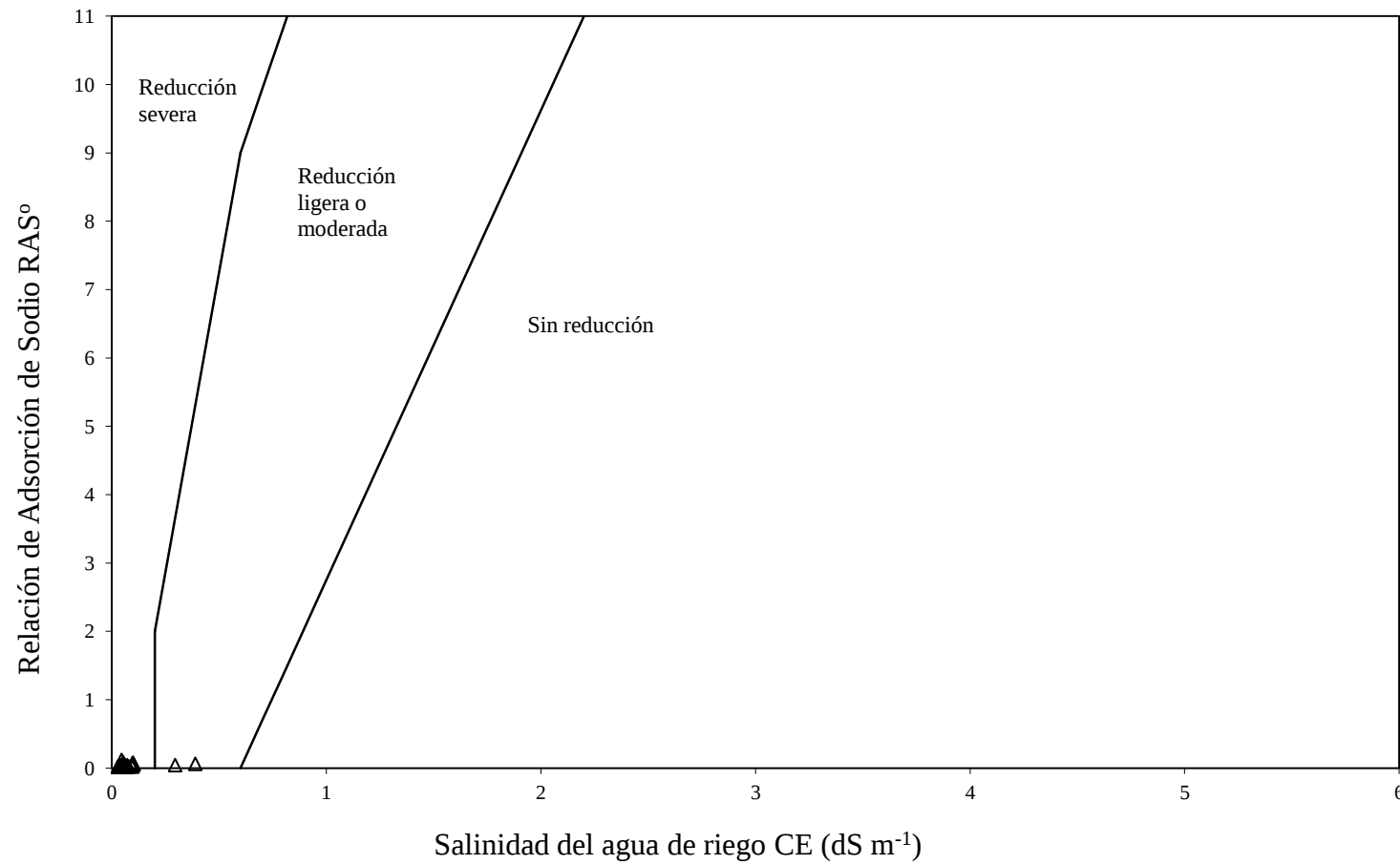


Figura 48. Reducción relativa de la infiltración de las aguas del primer muestreo, época de precipitaciones en la microcuenca del río Milagro provocada por la salinidad y la adsorción de sodio corregido.

El Cuadro 29 muestra los resultados del muestreo en época de lluvias de las aguas del río Milagro en relación a las tres modificaciones de RAS.

Cuadro 29. Clasificación de las aguas en base al efecto sobre la infiltración del muestreo en época de precipitaciones del río Milagro.

No.	RAS _{orig}	RAS _{aj}	RAS ^o
1	Reducción severa	Reducción severa	Reducción severa
2	Reducción severa	Reducción severa	Reducción severa
3	Reducción severa	Reducción severa	Reducción severa
4	Reducción severa	Reducción severa	Reducción severa
5	Reducción severa	Reducción severa	Reducción severa
6	Reducción severa	Reducción severa	Reducción severa
7	Reducción severa	Reducción severa	Reducción severa
8	Reducción severa	Reducción severa	Reducción severa
9	Reducción severa	Reducción severa	Reducción severa
10	Reducción severa	Reducción severa	Reducción severa
11	Reducción severa	Reducción severa	Reducción severa
12	Reducción severa	Reducción severa	Reducción severa
13	Reducción severa	Reducción severa	Reducción severa
14	Reducción severa	Reducción severa	Reducción severa
15	Reducción severa	Reducción severa	Reducción severa
16	Reducción severa	Reducción severa	Reducción severa
17	Reducción severa	Reducción severa	Reducción severa
18	Reducción severa	Reducción severa	Reducción severa
19	Reducción severa	Reducción severa	Reducción severa
20	Reducción severa	Reducción severa	Reducción severa
21	Reducción severa	Reducción severa	Reducción severa
22	Reducción severa	Reducción severa	Reducción severa
23	Reducción severa	Reducción severa	Reducción severa
24	Reducción severa	Reducción severa	Reducción severa
25	Reducción severa	Reducción severa	Reducción severa
26	Reducción severa	Reducción severa	Reducción severa
27	Reducción severa	Reducción severa	Reducción severa
28	Reducción severa	Reducción severa	Reducción severa
29	Reducción severa	Reducción severa	Reducción severa
30	Reducción severa	Reducción severa	Reducción severa
31	Reducción ligera o moderada	Reducción ligera o moderada	Reducción ligera o moderada

Continuación... Clasificación de las aguas en base al efecto sobre la infiltración para el muestreo en época de precipitaciones de la microcuenca del río Milagro.

No.	RAS _{original}	RAS _{aj}	RAS ^o
32	Reducción severa	Reducción severa	Reducción severa
33	Reducción ligera o moderada	Reducción ligera o moderada	Reducción ligera o moderada
34	Reducción severa	Reducción severa	Reducción severa
35	Reducción severa	Reducción severa	Reducción severa
36	Reducción severa	Reducción severa	Reducción severa
37	Reducción severa	Reducción severa	Reducción severa
38	Reducción severa	Reducción severa	Reducción severa
39	Reducción severa	Reducción severa	Reducción severa
40	Reducción severa	Reducción severa	Reducción severa

Para el segundo muestreo, época de estiaje, los resultados son mostrados en las Figuras 49, 50 y 51 para las mismas variables que en el muestreo uno. En el Cuadro 30 se puede apreciar la reducción de la infiltración provocada por los problemas causados por las aguas de riego. Se observa que un alto porcentaje del área del cantón corresponde a una reducción severa de la infiltración y es el área de cultivo de caña de azúcar, lo que nos indicaría que el rendimiento de este producto no sería el máximo.

Los altos contenidos de iones de sodio en las aguas de riego, afectan la permeabilidad del suelo y causa problemas de infiltración. Esto es porque el sodio cuando está presente en el suelo es intercambiable por otros iones. El calcio y el magnesio son cationes que forman parte de los complejos estructurales que forman el suelo generando una estructura granular apropiada para los cultivos. El exceso de iones de sodio desplaza el calcio (Ca) y magnesio (Mg) y provoca la dispersión y desagregación del suelo. El suelo se vuelve duro y compacto en condiciones secas y reduce la infiltración de agua y aire a través de los poros que conforman el suelo. Este problema está igualmente relacionado con otros factores como el nivel de salinidad y el tipo de suelo. Por ejemplo, alto contenido de sodio en suelos arenosos no afecta tanto ya que éstos tienen una gran superficie de drenaje, en contra de otros suelos más compactos (Aldana, 2011). El suelo del cantón Milagro corresponde a

una llanura aluvial de una capacidad de drenaje moderada, lo que significa que el efecto del sodio intercambiable no afecta significativamente en la infiltración.

Como se puede observar en los resultados de este estudio las aguas presentan porcentajes altos de reducción ligera o moderada y sin reducción, porque los suelos tienen una pobre estructura por su baja salinidad. Para que el agua llegue a la rizosfera tiene que estar en una concentración óptima con respecto a los elementos que caracterizan el suelo como son el calcio, magnesio, sodio y potasio.

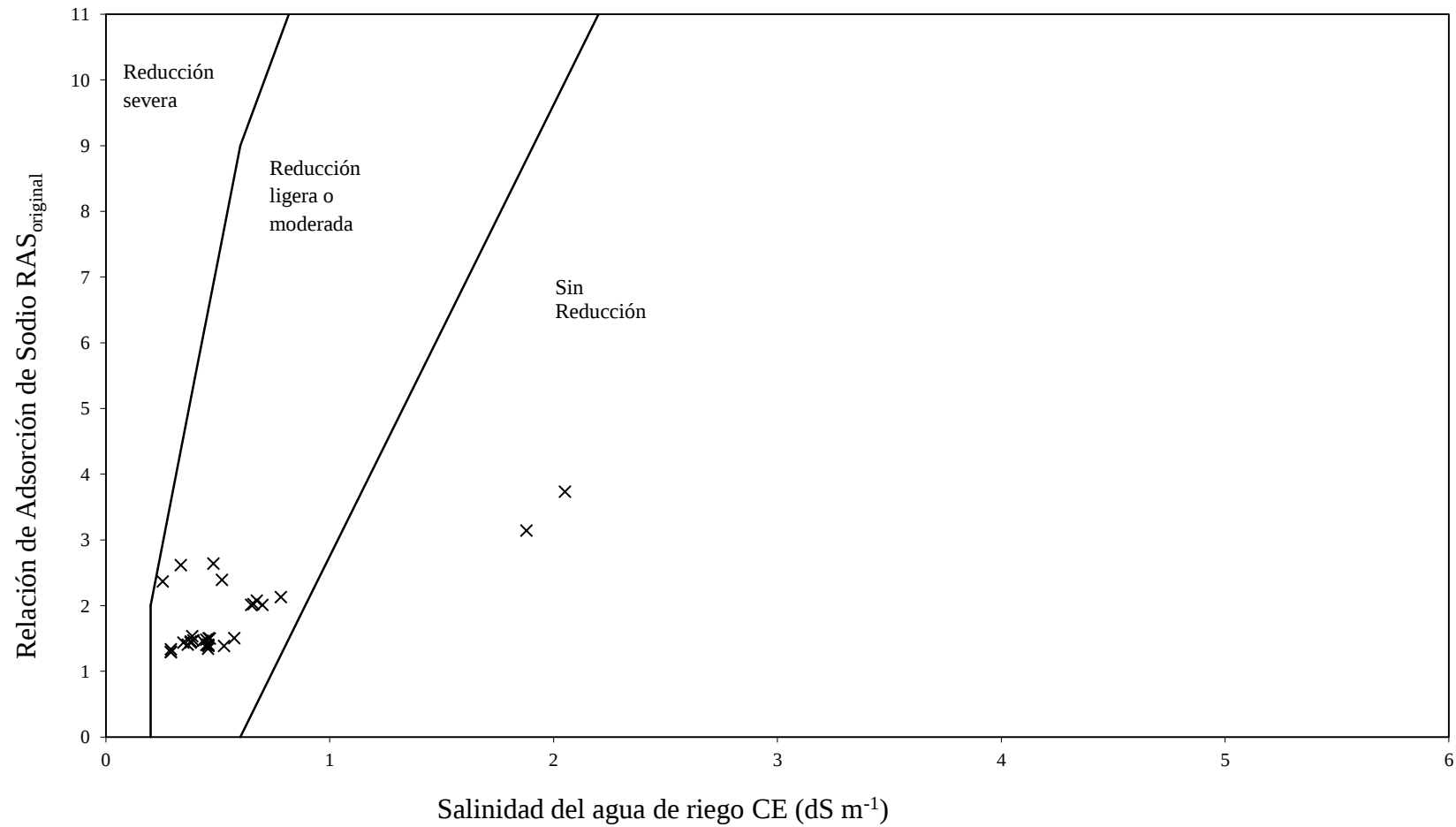


Figura 49. Reducción relativa de la infiltración de las aguas del muestreo en época de estiaje del río Milagro provocada por la salinidad y la adsorción de sodio original

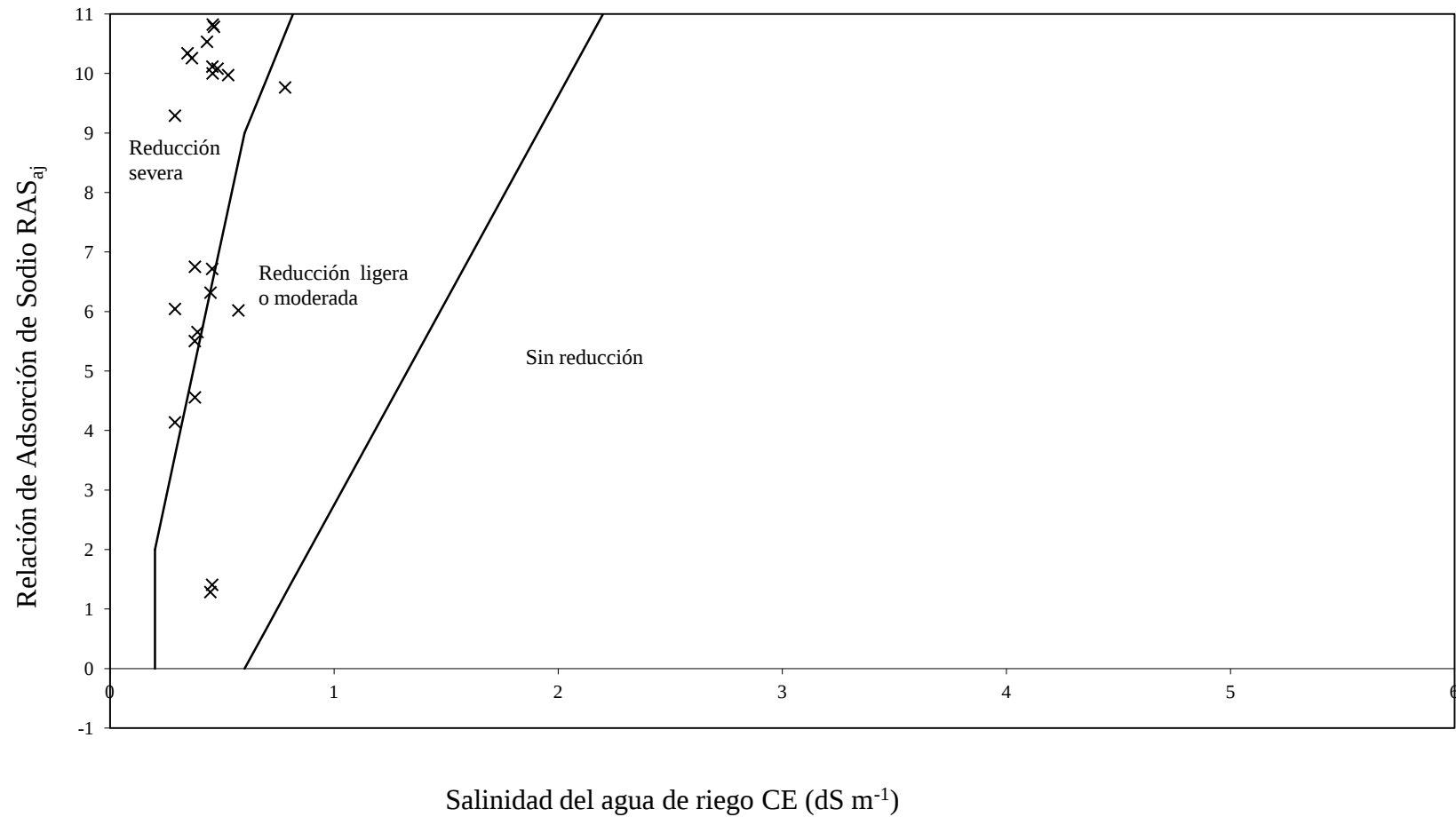


Figura 50. Reducción relativa de la infiltración de las aguas en época de estiaje del río Milagro provocada por la salinidad y la adsorción de sodio ajustado.

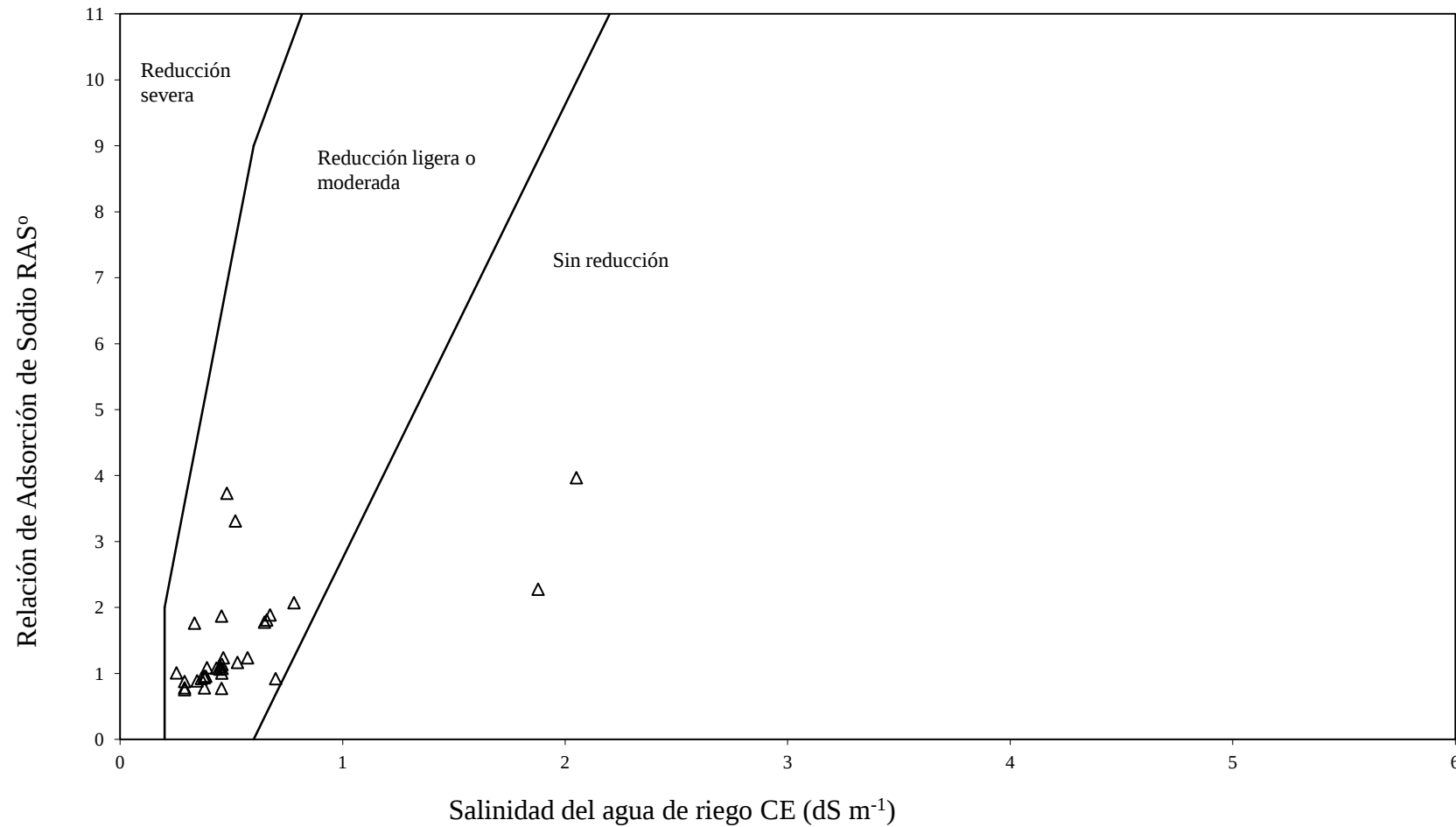


Figura 51. Reducción relativa de la infiltración de las aguas en época de estiaje del río Milagro provocada por la salinidad y la adsorción de sodio corregido.

Cuadro 30. Clasificación de las aguas en base al efecto de la infiltración, del muestreo en época de estiaje en la microcuenca del río Milagro.

No.	RASorig	RAS _{aj}	RAS ^o
1	Reducción ligera o moderada	Reducción severa	Reducción ligera o moderada
2	Reducción ligera o moderada	Reducción severa	Reducción ligera o moderada
3	Reducción ligera o moderada	Reducción severa	Reducción ligera o moderada
4	Reducción ligera o moderada	Reducción severa	Reducción ligera o moderada
5	Reducción ligera o moderada	Reducción severa	Reducción ligera o moderada
6	Reducción ligera o moderada	Reducción ligera o moderada	Reducción ligera o moderada
7	Reducción ligera o moderada	Reducción severa	Reducción ligera o moderada
8	Reducción ligera o moderada	Reducción ligera o moderada	Reducción ligera o moderada
9	Reducción ligera o moderada	Reducción severa	Reducción ligera o moderada
10	Reducción ligera o moderada	Reducción ligera o moderada	Reducción ligera o moderada
11	Reducción ligera o moderada	Reducción ligera o moderada	Reducción ligera o moderada
12	Reducción ligera o moderada	Reducción severa	Reducción ligera o moderada
13	Reducción ligera o moderada	Reducción severa	Reducción ligera o moderada
14	Reducción ligera o moderada	Reducción ligera o moderada	Reducción ligera o moderada
15	Reducción ligera o moderada	Reducción severa	Reducción ligera o moderada
16	Reducción ligera o moderada	Reducción ligera o moderada	Reducción ligera o moderada
17	Reducción ligera o moderada	Reducción ligera o moderada	Reducción ligera o moderada
18	Reducción ligera o moderada	Reducción severa	Reducción ligera o moderada
19	Reducción ligera o moderada	Reducción severa	Reducción ligera o moderada
20	Reducción ligera o moderada	Reducción severa	Reducción ligera o moderada
21	Reducción ligera o moderada	Reducción ligera o moderada	Reducción ligera o moderada
22	Reducción ligera o moderada	Reducción severa	Reducción ligera o moderada
23	Reducción ligera o moderada	Reducción severa	Reducción ligera o moderada
24	Reducción ligera o moderada	Reducción severa	Reducción ligera o moderada
25	Reducción ligera o moderada	Reducción severa	Reducción ligera o moderada
26	Sin reducción	Reducción severa	Sin reducción
27	Sin reducción	Reducción severa	Sin reducción
28	Reducción ligera o moderada	Reducción severa	Reducción ligera o moderada
29	Reducción ligera o moderada	Reducción ligera o moderada	Reducción ligera o moderada
30	Reducción ligera o moderada	Reducción severa	Reducción ligera o moderada
31	Reducción ligera o moderada	Reducción severa	Reducción ligera o moderada
32	Reducción ligera o moderada	Reducción severa	Reducción ligera o moderada

3.1.4.18 Clasificación de las aguas por toxicidad de iones específicos.

Los iones que se encuentran con frecuencia en exceso en suelos salinos incluyen cloruro, sulfato, bicarbonato, sodio, calcio, y magnesio. Menos frecuentemente encontrado en cantidades excesivas son el potasio y el nitrato. Los efectos de todos estos iones sobre el crecimiento de la planta están siendo investigados por la comparación de respuesta de la planta a las soluciones isosmóticas de diferentes sales. Parece, sin embargo, que las diferencias en tolerancia de las plantas a concentraciones excesivas de iones en el sustrato están relacionadas, en cierto grado, a la selectividad específica en la absorción de iones y los requerimientos de nutrientes de las plantas.

Además de estos factores, también existe una marcada diferencia entre especies en las cantidades de iones tales como sodio y cloruro de que se pueden acumular sin efectos tóxicos (Richards et al., 1959).

Los iones tóxicos más comunes presentes en las aguas residuales son Boro (B), Cloro (Cl) y Sodio (Na). El sodio y el cloro son normalmente absorbidos por la raíz. La absorción a través de las hojas produce una mayor acumulación de estos compuestos en las plantas. Una absorción directa normalmente ocurre a través de los sistemas hidratantes de rociado a altas temperaturas y valores de humedad bajos (Aldana, 2011).

Cloruros.- Concentraciones elevadas de cloruros en el agua de riego pueden provocar problemas de toxicidad en los cultivos. En general, aguas con un contenido de cloruro inferior a 140 mg L^{-1} no presentan problemas, de 140 a 350 mg L^{-1} los problemas aumentan y valores superiores a 350 mg L^{-1} pueden causar problemas de toxicidad graves. Cuando se emplea riego por aspersión, el contenido de cloruro del agua debe ser inferior a 100 mg L^{-1} para evitar problemas de fitotoxicidad (Ruiz A., 2010).

El cloruro forma sales muy solubles, suele asociarse con el Na^+ , esto ocurre en aguas muy salinas.

El Cuadro 31 indica que las aguas del río Milagro, durante el primer muestreo, época de precipitación, son clasificadas como buenas para el riego, no presentan ninguna restricción.

Cuadro 31. Clasificación de las aguas del río Milagro en época de precipitaciones según el contenido de cloruros.

No.	Cl^{-1} $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$	Clasificación	No.	Cl^{-1} $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$	Clasificación
1	0,41	Buena	21	0,22	Buena
2	0,16	Buena	22	0,14	Buena
3	0,41	Buena	23	0,29	Buena
4	0,40	Buena	24	0,15	Buena
5	0,48	Buena	25	0,29	Buena
6	0,41	Buena	26	0,18	Buena
7	0,17	Buena	27	0,24	Buena
8	0,18	Buena	28	0,15	Buena
9	0,21	Buena	29	0,24	Buena
10	0,16	Buena	30	0,25	Buena
11	0,24	Buena	31	0,76	Buena
12	0,32	Buena	32	0,48	Buena
13	0,12	Buena	33	0,51	Buena
14	0,19	Buena	34	0,38	Buena
15	0,24	Buena	35	0,30	Buena
16	0,35	Buena	36	0,19	Buena
17	0,23	Buena	37	0,44	Buena
18	0,17	Buena	38	0,31	Buena
19	0,29	Buena	39	0,10	Buena
20	0,16	Buena	40	0,12	Buena

El segundo muestreo presenta variaciones en los resultados, el 56,25 % de las muestras no son recomendables para riego, la mayoría de estas aguas son de descargas de las zona urbana y más aún en las cercanías de la zonas industriales. El 3,13 % no son recomendadas por los niveles altos de cloruros, correspondiente al pozo Banco de Arena, con una concentración de $7,42 \text{ mmol}_c \text{L}^{-1}$ correspondientes a $263,41 \text{ mg L}^{-1}$ que de acuerdo a Ruiz y Molina (2010), está en el rango de problemas en las aguas de riego, resultados que coinciden con Ayer y Westcot (1987) en su

Tabla 1 que indica que valores de las concentraciones de cloruros que incrementa problemas se encuentran entre 4-10 mmol_c L⁻¹ (Cuadro 32).

Cuadro 32. Clasificación de las aguas del río Milagro en época de estiaje según el contenido de cloruros.

No.	Cl ⁻¹ mmol _c L ⁻¹	Clasificación	No.	Cl ⁻¹ mmol _c L ⁻¹	Clasificación
1	0,83	Buena	17	0,12	Buena
2	2,51	Condicionada	18	1,50	Condicionada
3	1,28	Condicionada	19	1,03	Condicionada
4	2,55	Condicionada	20	0,65	Buena
5	2,57	Condicionada	21	1,25	Condicionada
6	2,80	Condicionada	22	0,12	Buena
7	2,62	Condicionada	23	0,13	Buena
8	1,43	Condicionada	24	0,05	Buena
9	0,02	Buena	25	0,10	Buena
10	3,37	Condicionada	26	4,98	Condicionada
11	3,23	Condicionada	27	7,43	No recomendable
12	1,00	Condicionada	28	0,47	Buena
13	1,07	Condicionada	29	1,97	Condicionada
14	3,57	Condicionada	30	0,17	Buena
15	3,17	Condicionada	31	0,13	Buena
16	0,80	Buena	32	0,13	Buena

Sodio.- Muchos cultivos son sensibles incluso a bajas concentraciones de sodio. Los cultivos anuales no son tan sensitivos, pero si pueden ser sensibles a altas concentraciones (Ayers y Westcot, 1976).

El exceso de sodio es directamente tóxico a los tejidos de las plantas y produce clorosis marginal de la hoja, disminución del área fotosintética y aumento de la respiración de la planta, con esto se incrementa los requerimientos de carbohidratos para producir la energía necesaria para el transporte, compartimentalización de iones y reparación de daños celulares (Rodríguez, 2006 citado en Carrera, 2009).

Las aguas del cantón Milagro se han clasificado de acuerdo al grado de restricción para su uso en el riego por aspersión y superficial, según las directrices

del Cuadro 2, se utilizó el RAS_{aj} por tener los valores más altos y tomando los rangos del Cuadro, menos de 3 no hay restricción, de 3 a 9 hay una restricción ligera y moderada y si es mayor a 9 la restricción es severa. Para aspersión, el agua no tiene restricción cuando presenta menos de $3 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ de Na^+ , pero cuando la concentración es mayor la restricción es ligera o moderada. Los Cuadros 33 y 34 muestran los resultados de la clasificación.

El análisis del Cuadro 33, indica que el 100% de las aguas en época de lluvias, no tienen ninguna restricción de uso con respecto al sodio, sin embargo para la época de estiaje, como indica el Cuadro 34, el 5% no presenta ninguna restricción de uso para riego de superficie, el 25% tienen una restricción ligera o moderada de uso y el 70% presenta una restricción severa hay que tener cuidado de usar estas aguas sin un análisis previo para verificar que no vayan a afectar los cultivos provocando su pérdida. Para riego por aspersión solo el 5% de las aguas presentan una restricción ligera o moderada.

Fosfatos.- El ión fosfato PO_4^{-3} en general forma sales muy poco solubles y precipita fácilmente como fosfato cálcico. Como procede de un ácido débil contribuye a la alcalinidad del agua. No suele haber en el agua más de 1 ppm, salvo en los casos de contaminación por fertilizantes. Los fosfatos son constituyentes fundamentales de las reacciones metabólicas. Las fuentes y los excesos de fosfatos pueden causar un crecimiento excesivo de las plantas y una floración de algas que provocará una competencia con la vegetación acuática sumergida, una mayor actividad bacteriana y una disminución del oxígeno disuelto (UNESCO, 2003).

Los fosfatos son en todos los casos abonos minerales importantes, poderosos excitantes de la vegetación en los terrenos ácidos y siempre agentes esenciales de la fermentación de los abonos (Aragó, 1873).

Cuadro 33. Clasificación de las aguas del cantón Milagro primer muestreo, época de precipitaciones, de acuerdo al contenido de sodio.

No.	RASaj	Clasificación riego	Na ⁺ mmol _c L ⁻¹	Clasificación riego aspersión
		Superficial		Aspersión
1	0,05	Sin restricción	0,07	Sin restricción
2	-0,21	Sin restricción	0,11	Sin restricción
3	0,04	Sin restricción	0,06	Sin restricción
4	0,03	Sin restricción	0,06	Sin restricción
5	-0,02	Sin restricción	0,08	Sin restricción
6	0,03	Sin restricción	0,08	Sin restricción
7	-0,04	Sin restricción	0,03	Sin restricción
8	-0,06	Sin restricción	0,03	Sin restricción
9	-0,11	Sin restricción	0,05	Sin restricción
10	-0,11	Sin restricción	0,05	Sin restricción
11	-0,05	Sin restricción	0,05	Sin restricción
12	-0,03	Sin restricción	0,04	Sin restricción
13	-0,05	Sin restricción	0,02	Sin restricción
14	-0,10	Sin restricción	0,03	Sin restricción
15	-0,06	Sin restricción	0,03	Sin restricción
16	-0,06	Sin restricción	0,04	Sin restricción
17	-0,08	Sin restricción	0,04	Sin restricción
18	-0,04	Sin restricción	0,04	Sin restricción
19	-0,01	Sin restricción	0,05	Sin restricción
20	-0,04	Sin restricción	0,04	Sin restricción
21	-0,06	Sin restricción	0,04	Sin restricción
22	-0,01	Sin restricción	0,04	Sin restricción
23	-0,04	Sin restricción	0,04	Sin restricción
24	-0,06	Sin restricción	0,04	Sin restricción
25	0,00	Sin restricción	0,04	Sin restricción
26	0,02	Sin restricción	0,04	Sin restricción
27	-0,04	Sin restricción	0,04	Sin restricción
28	-0,05	Sin restricción	0,03	Sin restricción
29	-0,08	Sin restricción	0,09	Sin restricción
30	-0,03	Sin restricción	0,03	Sin restricción
31	0,08	Sin restricción	0,11	Sin restricción
32	0,01	Sin restricción	0,03	Sin restricción
33	0,01	Sin restricción	0,11	Sin restricción
34	0,02	Sin restricción	0,03	Sin restricción
35	0,00	Sin restricción	0,02	Sin restricción
37	0,01	Sin restricción	0,03	Sin restricción
38	0,00	Sin restricción	0,02	Sin restricción
39	-0,05	Sin restricción	0,02	Sin restricción
40	-0,04	Sin restricción	0,02	Sin restricción

Cuadro 34. Clasificación de las aguas del cantón Milagro segundo muestreo, época de estiaje, de acuerdo al contenido de sodio.

No.	RASaj	Clasificación riego	Na ⁺ mmol _c L ⁻¹	Clasificación riego aspersión
		Superficial		Aspersión
1	14,47	Restricción severa	2,51	Sin restricción
2	24,58	Restricción severa	1,84	Sin restricción
3	14,55	Restricción severa	2,43	Sin restricción
4	14,48	Restricción severa	2,4	Sin restricción
5	14,94	Restricción severa	2,52	Sin restricción
6	9,76	Restricción severa	2,82	Sin restricción
7	4,14	Restricción ligera o moderada	1,08	Sin restricción
8	6,02	Restricción ligera o moderada	1,78	Sin restricción
9	9,29	Restricción ligera o moderada	1,06	Sin restricción
10	1,29	Sin restricción	1,51	Sin restricción
11	5,50	Restricción ligera o moderada	1,32	Sin restricción
12	10,34	Restricción severa	1,26	Sin restricción
13	10,26	Restricción severa	1,28	Sin restricción
14	4,56	Restricción ligera o moderada	1,33	Sin restricción
15	11,04	Restricción severa	1,31	Sin restricción
16	6,75	Restricción ligera o moderada	1,33	Sin restricción
17	5,65	Restricción ligera o moderada	1,39	Sin restricción
18	10,82	Restricción severa	1,54	Sin restricción
19	10,78	Restricción severa	1,56	Sin restricción
20	10,53	Restricción severa	1,47	Sin restricción
21	6,32	Restricción ligera o moderada	1,45	Sin restricción
22	10,11	Restricción severa	1,47	Sin restricción
23	10,00	Restricción severa	1,46	Sin restricción
24	6,04	Restricción ligera o moderada	1,06	Sin restricción
25	6,72	Restricción ligera o moderada	1,45	Sin restricción
26	26,24	Restricción severa	8,36	Restricción ligera o moderada
27	22,21	Restricción severa	6,86	Restricción ligera o moderada
29	1,41	Sin restricción	1,43	Sin restricción
30	17,21	Restricción severa	2,33	Sin restricción
31	10,08	Restricción severa	2,36	Sin restricción
32	17,04	Restricción severa	1,42	Sin restricción

Las condiciones de clasificación del fósforo como fosfato son las establecidas por Ayer y Westcot (1987), que indica que los contenidos de fósforo entre los rangos 0,0 y 2,0 mg L⁻¹ son normales en las aguas de riego, sin embargo, las concentraciones superiores a 0,1 mg L⁻¹ según normas Europeas, puede causar eutrofización acelerada

de las aguas, la norma ecuatoriana no contempla concentraciones de Fósforo a ser tomadas en cuenta.

Las concentraciones de fósforo presentes en las aguas del cantón Milagro en ambos muestreos, presentan concentraciones mayores de $0,1 \text{ mg L}^{-1}$, lo que determina que todas las aguas presentan problemas de eutrofización acelerada, lo que se puede verificar en los Cuadros 35 y 36 y en las Figuras 52 y 53, en donde se puede visualizar que las aguas con mayor concentración de fosfatos son las aguas que se encuentran dentro de la zona urbana del cantón y aumenta en los predios del Ingenio Valdez, probablemente porque las aguas que riegan estos cultivos están enriquecidas con vinaza, producto que contiene una buena concentración de nutrientes para la planta. Esto demuestra que, aunque los contenidos naturales de fósforo son bajos, se ven incrementados por las actividades antropogénicas por el uso de detergentes y fertilizantes. Por ello es necesario monitorear constantemente los contenidos de fósforo de las aguas, de tal manera que se evite posibles problemas en las plantas, como los colores verdes oscuro en el follaje y morados en las hojas o tallos cortos y delgados, etc. y los problemas de eutrofización de las aguas del cantón.

Cuadro 35. Clasificación de las aguas del muestreo en época de precipitaciones de las aguas del cantón Milagro de acuerdo a la concentración de fosfatos.

No.	P mg L ⁻¹	P O ₄ ³⁻ mg L ⁻¹	Peligro de Eutrofización	Concentración 0,0 - 0,2 mg L ⁻¹
1	0,437	1,340	Acelera la eutrofización	Mayor
2	0,219	0,670	Acelera la eutrofización	Mayor
3	0,183	0,560	Acelera la eutrofización	Mayor
4	0,447	1,370	Acelera la eutrofización	Mayor
5	0,444	1,360	Acelera la eutrofización	Mayor
6	0,440	1,350	Acelera la eutrofización	Mayor
7	0,007	0,023	No hay eutrofización	Normal
8	0,106	0,325	Acelera la eutrofización	Mayor
9	0,277	0,850	Acelera la eutrofización	Mayor
10	0,161	0,495	Acelera la eutrofización	Mayor
11	0,140	0,430	Acelera la eutrofización	Mayor
12	0,119	0,365	Acelera la eutrofización	Mayor
13	0,313	0,960	Acelera la eutrofización	Mayor
14	0,016	0,050	No hay eutrofización	Normal
15	0,108	0,330	Acelera la eutrofización	Mayor
16	0,098	0,300	Acelera la eutrofización	Mayor
17	0,142	0,435	Acelera la eutrofización	Mayor
18	8,251	25,300	Acelera la eutrofización	Mayor
19	3,865	11,850	Acelera la eutrofización	Mayor
20	6,213	19,050	Acelera la eutrofización	Mayor
21	9,572	29,350	Acelera la eutrofización	Mayor
22	7,045	21,600	Acelera la eutrofización	Mayor
23	7,012	21,500	Acelera la eutrofización	Mayor
24	6,653	20,400	Acelera la eutrofización	Mayor
25	6,213	19,050	Acelera la eutrofización	Mayor
26	5,447	16,700	Acelera la eutrofización	Mayor
27	5,104	15,650	Acelera la eutrofización	Mayor
28	2,935	9,000	Acelera la eutrofización	Mayor
29	8,659	26,550	Acelera la eutrofización	Mayor
30	6,115	18,750	Acelera la eutrofización	Mayor
31	6,572	20,150	Acelera la eutrofización	Mayor
32	7,387	22,650	Acelera la eutrofización	Mayor
33	7,273	22,300	Acelera la eutrofización	Mayor
34	6,343	19,450	Acelera la eutrofización	Mayor
35	3,473	10,650	Acelera la eutrofización	Mayor
36	7,257	22,250	Acelera la eutrofización	Mayor
37	8,724	26,750	Acelera la eutrofización	Mayor
38	16,193	49,650	Acelera la eutrofización	Mayor
39	10,045	30,800	Acelera la eutrofización	Mayor
40	7,876	24,150	Acelera la eutrofización	Mayor

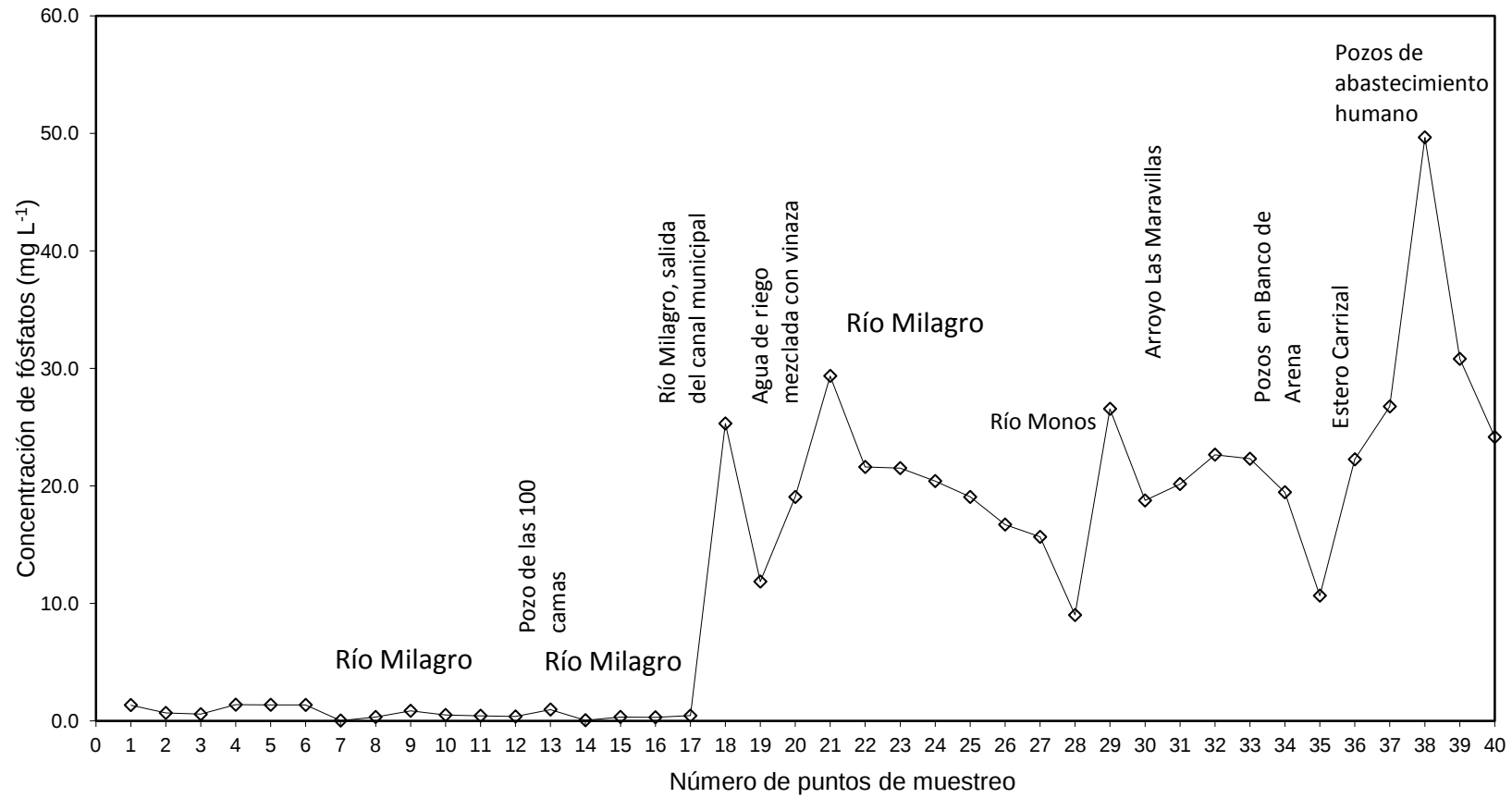


Figura 52. Concentración de fosforos (mg L^{-1}) del muestreo en época de precipitaciones de las aguas del cantón Milagro

Cuadro 36. Clasificación de las aguas del segundo muestreo, época de estiaje, de las aguas del cantón Milagro de acuerdo a la concentración de fosfatos

No.	P mg L ⁻¹	P O ₄ ³⁻ mg L ⁻¹	Peligro de Eutrofización	Concentración 0,0 - 0,2 mg L ⁻¹
1	0,688	2,110	Acelera la eutrofización	Mayor
2	0,489	1,500	Acelera la eutrofización	Mayor
3	0,339	1,040	Acelera la eutrofización	Mayor
4	0,424	1,300	Acelera la eutrofización	Mayor
5	0,528	1,620	Acelera la eutrofización	Mayor
6	0,815	2,500	Acelera la eutrofización	Mayor
7	0,062	0,190	Acelera la eutrofización	Mayor
8	0,192	0,590	Acelera la eutrofización	Mayor
9	0,209	0,640	Acelera la eutrofización	Mayor
10	0,209	0,640	Acelera la eutrofización	Mayor
11	0,307	0,940	Acelera la eutrofización	Mayor
12	0,192	0,590	Acelera la eutrofización	Mayor
13	0,241	0,740	Acelera la eutrofización	Mayor
14	0,062	0,190	Acelera la eutrofización	Mayor
15	0,091	0,280	Acelera la eutrofización	Mayor
16	0,023	0,070	No hay eutrofización	Mayor
17	0,294	0,900	Acelera la eutrofización	Mayor
18	0,290	0,890	Acelera la eutrofización	Mayor
19	0,274	0,840	Acelera la eutrofización	Mayor
20	0,294	0,900	Acelera la eutrofización	Mayor
21	0,114	0,350	Acelera la eutrofización	Mayor
22	0,130	0,400	Acelera la eutrofización	Mayor
23	0,124	0,380	Acelera la eutrofización	Mayor
24	0,010	0,030	No hay eutrofización	Mayor
25	0,489	1,500	Acelera la eutrofización	Mayor
26	0,062	0,190	Acelera la eutrofización	Mayor
27	0,157	0,480	Acelera la eutrofización	Mayor
28	0,307	0,940	Acelera la eutrofización	Mayor
29	0,052	0,160	Acelera la eutrofización	Mayor
30	0,404	1,240	Acelera la eutrofización	Mayor
31	0,688	2,110	Acelera la eutrofización	Mayor
32	0,310	0,950	Acelera la eutrofización	Mayor

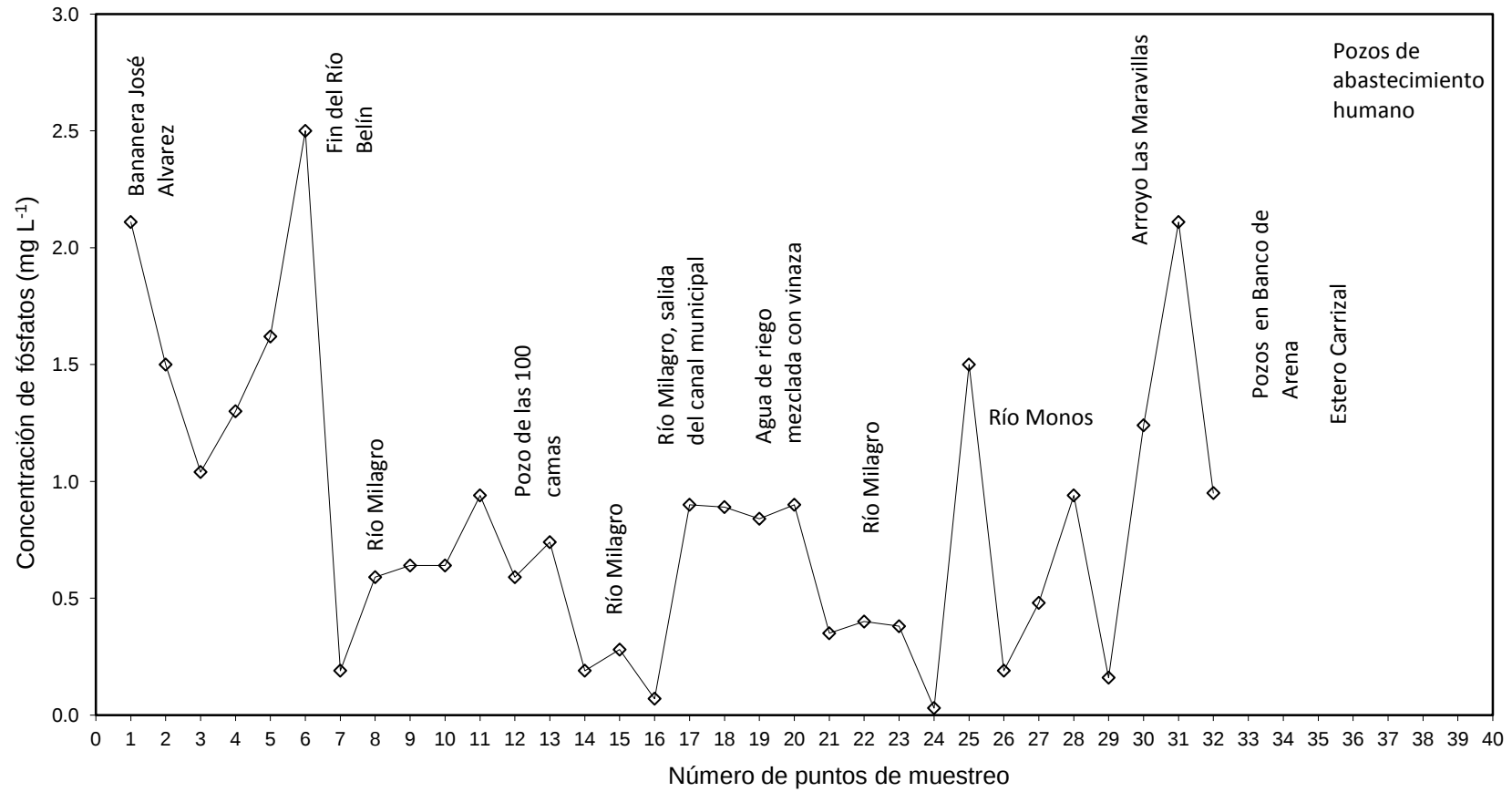


Figura 53. Concentración de fosforos (mg L⁻¹) del segundo muestreo, época de estiaje, de las aguas del cantón Milagro.

Nitratos.- En aguas superficiales, el nitrógeno contribuye, junto con el fósforo y la materia orgánica al proceso de eutrofización.

Dos factores fundamentales determinan la cantidad de nutrientes lixiviados desde el suelo: los nutrientes acumulados en el suelo en exceso sobre la cantidad requerida por las plantas y el volumen de agua de drenaje. La calidad de agua está por factores tales como la geología, las características del terreno, el clima así como también las prácticas agrícolas. Elevadas entradas de nutrientes, el laboreo frecuente, los períodos relativamente cortos de crecimientos de las plantas y la recuperación poco eficiente de los nutrientes por las cosechas, hacen que los sistemas de producción vegetal sean altamente vulnerables a lixiviación de nutrientes (López M. , 2007).

La escorrentía y filtración de aguas con alta concentración de nitrógeno procedente de las prácticas de fertilización agrícola, genera un grave problema de contaminación. Como consecuencia, se alcanzan concentraciones de nitrato en las reservas de agua que pueden afectar a la salud humana y a la calidad del ambiente (Carrera, 2009).

Si por una reducción en la infiltración los suelos se inundan y carecen de una buena aireación, gran parte del nitrógeno del suelo, en forma de nitrato, se puede desnitrificar rápidamente y perderse a la atmósfera en forma de gas. Esto puede ocurrir aún cuando la inundación dure pocos días. Como consecuencia de esto, los cultivos muestran áreas amarillentas, situación que se puede mejorar con la aplicación de fertilizantes nitrogenados (Ayers y Westcot, 1976).

En la actualidad no existe un problema generalizado de contaminación en los acuíferos del cantón por nitratos, esto se puede verificar en los Cuadros 37 y 38 correspondientes a los dos muestreos de las aguas del cantón, resultados que también se pueden visualizar en las Figuras 54 y 55. El 7,5% de las aguas tiene una ligera restricción con respecto a su uso para riego, uno de los puntos con restricción corresponden a las aguas de riego enriquecidas con vinaza en los predios del Ingenio

Valdez, confirmando nuevamente el exceso de nutrientes que esta mezcla proporciona al cultivo.

Cuadro 37. Clasificación de las aguas del muestreo en época de precipitaciones de las aguas del cantón Milagro de acuerdo a la concentración de nitratos.

No.	N-NO ₃ ⁻ mg L ⁻¹	Grado de restricción de uso	No.	N-NO ₃ ⁻ mg L ⁻¹	Grado de restricción de uso
1	3,550	Ninguna	21	4,700	Ninguna
2	3,400	Ninguna	22	4,050	Ninguna
3	1,400	Ninguna	23	3,400	Ninguna
4	4,150	Ninguna	24	2,450	Ninguna
5	5,200	Ligera a moderada	25	1,700	Ninguna
6	3,500	Ninguna	26	1,850	Ninguna
7	0,323	Ninguna	27	3,200	Ninguna
8	1,950	Ninguna	28	2,150	Ninguna
9	1,700	Ninguna	29	3,600	Ninguna
10	4,000	Ninguna	30	3,000	Ninguna
11	3,950	Ninguna	31	3,350	Ninguna
12	3,000	Ninguna	32	2,800	Ninguna
13	2,350	Ninguna	33	2,400	Ninguna
14	0,277	Ninguna	34	1,700	Ninguna
15	1,950	Ninguna	35	2,150	Ninguna
16	3,250	Ninguna	36	2,750	Ninguna
17	3,300	Ninguna	37	3,400	Ninguna
18	5,450	Ligera a moderada	38	2,350	Ninguna
19	5,650	Ligera a moderada	39	2,650	Ninguna
20	3,650	Ninguna	40	1,900	Ninguna

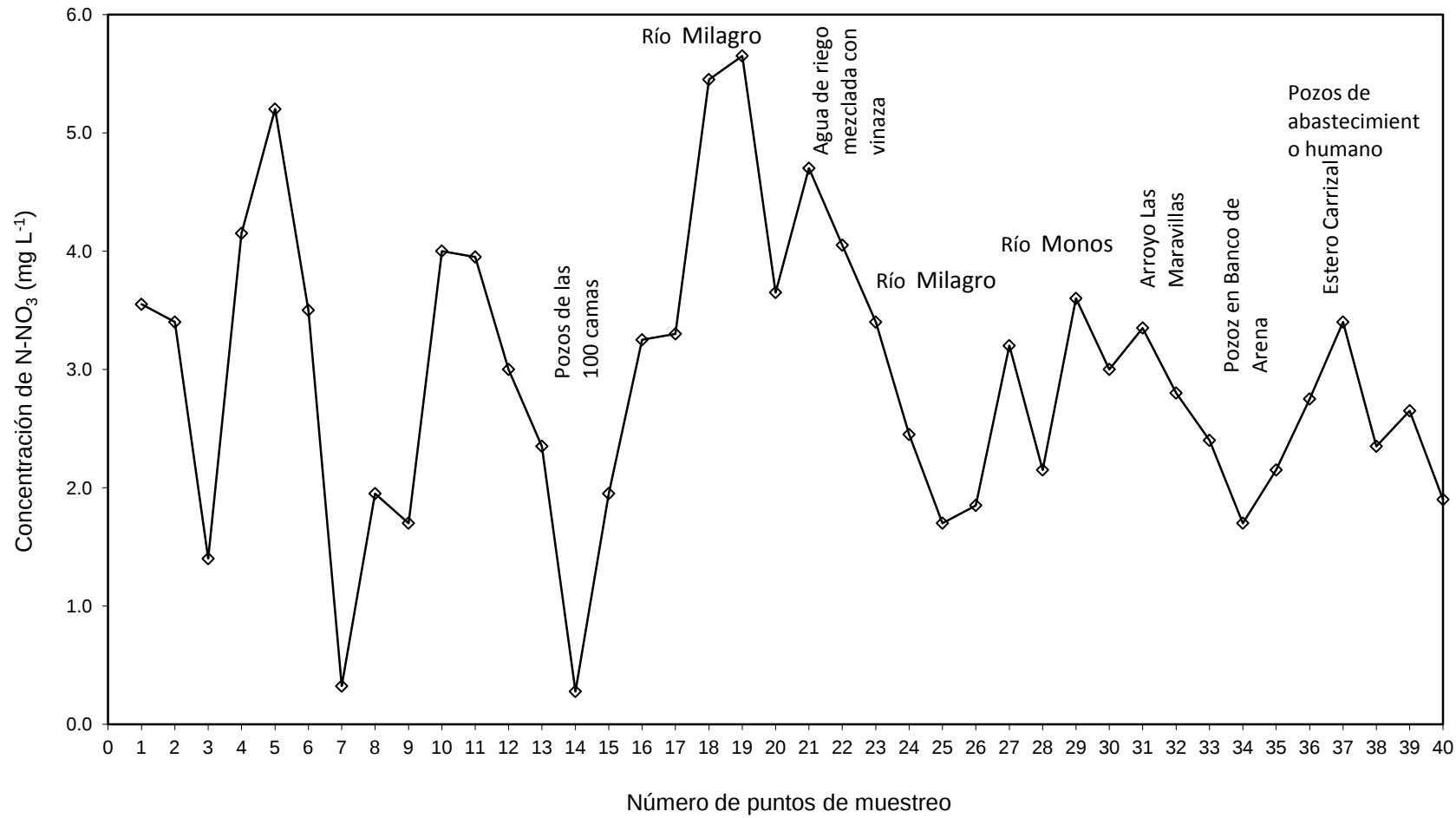


Figura 54. Concentración de nitratos (mg L⁻¹) del muestreo en época de precipitaciones en las aguas del cantón Milagro.

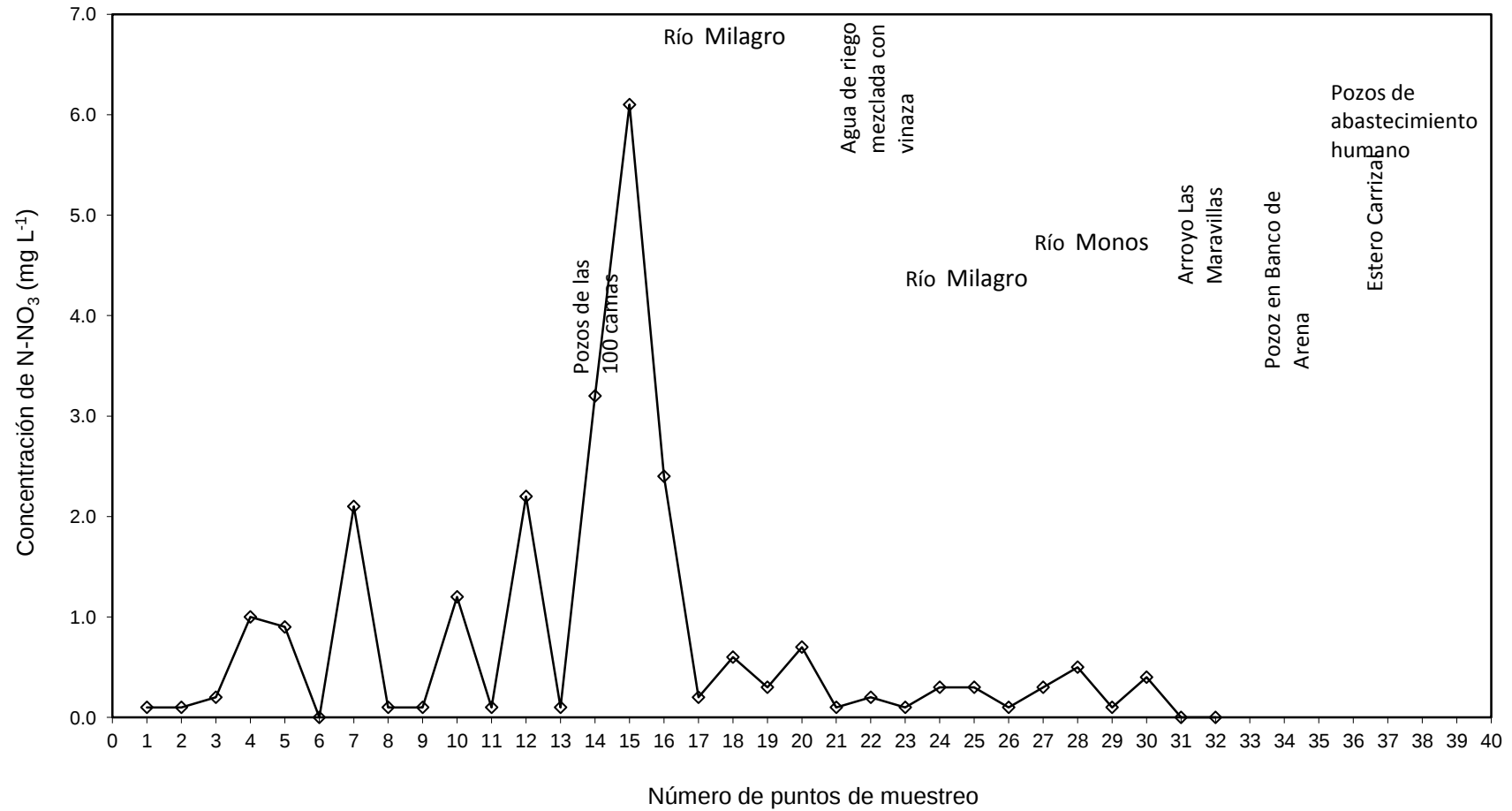


Figura 55. Concentración de nitratos (mg L⁻¹) del muestreo en época de estiaje de las aguas del cantón Milagro.

Cuadro 38. Clasificación de las aguas del segundo muestreo, época de estiaje de las aguas del cantón Milagro de acuerdo a la concentración de nitratos.

No.	N-NO ₃ ⁻ mg L ⁻¹	Grado de restricción de uso	No.	N-NO ₃ ⁻ mg L ⁻¹	Grado de restricción de uso
1	0,100	Ninguna	17	0,200	Ninguna
2	0,100	Ninguna	18	0,600	Ninguna
3	0,200	Ninguna	19	0,300	Ninguna
4	1,000	Ninguna	20	0,700	Ninguna
5	0,900	Ninguna	21	0,100	Ninguna
6	0,000	Ninguna	22	0,200	Ninguna
7	2,100	Ninguna	23	0,100	Ninguna
8	0,100	Ninguna	24	0,300	Ninguna
9	0,100	Ninguna	25	0,300	Ninguna
10	1,200	Ninguna	26	0,100	Ninguna
11	0,100	Ninguna	27	0,300	Ninguna
12	2,200	Ninguna	28	0,500	Ninguna
13	0,100	Ninguna	29	0,100	Ninguna
14	3,200	Ninguna	30	0,400	Ninguna
15	6,100	Ligera a moderada	31	0,000	Ninguna
16	2,400	Ninguna	32	0,000	Ninguna

3.1.4.19 Clasificación de las aguas por su dureza

Otro índice que se suele encontrar en los estudios de aguas es el de grado de dureza, que se refiere al contenido en calcio de aquellas. En general, las aguas muy duras son poco recomendables en suelos fuertes y compactos. Una forma de disminuir la dureza del agua es airearla, ya que de esta forma se puede inducir una precipitación del calcio (Odetti, 2006).

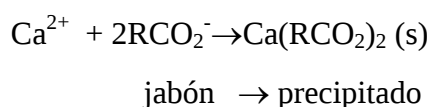
Cuando el agua natural contiene cantidades apreciables de calcio y magnesio al ser hervida o tratada con jabón, se forman sustancias de baja solubilidad. El agua que presenta este comportamiento es llamada agua dura y representa un problema industrial y doméstico. La dureza del agua es una propiedad que resulta de la mayor o menor cantidad de sales disueltas presentes, fundamentalmente Ca²⁺ y Mg²⁺ y en menor cantidad Fe²⁺, Al³⁺, Sr²⁺, Zn²⁺, Mn²⁺, etc. El grado de dureza es directamente proporcional a la concentración de sales de calcio y magnesio presentes. El Ca²⁺ y Mg²⁺, pueden encontrarse junto a distintos aniones, si están acompañados de HCO₃⁻

constituyen la dureza temporaria o carbónica y si lo está de SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- , etc. constituyen la dureza permanente o no carbonatada (Odetti, 2006).

Según Odetti y Bottani (2006), el grado de dureza del agua se puede clasificar de la siguiente manera:

Blanda	< 60 ppm
Medianamente dura	60 - 120 ppm
Dura	121 - 180 ppm
Muy dura	> 180 ppm

Como la concentración de Ca^{2+} y Mg^{2+} , de ordinario, es mucho mayor que la de otros alcalino térreos, la dureza es prácticamente igual a $[\text{Ca}^{2+}]$ y $[\text{Mg}^{2+}]$. La dureza se expresa, por lo general, por el número de equivalente miligramos de CaCO_3 por litro. El agua dura reacciona con el jabón formando grumos insolubles



El Ca^{2+} y el Mg^{2+} pueden consumir una cantidad importante del jabón que se utiliza en limpieza. El agua dura deja depósitos sólidos o costras en las tuberías cuando se evapora. No se teme que el agua dura sea perjudicial para la salud. La dureza del agua es beneficiosa en agua de riego, porque los alcalinotérreos tienden a flocular las partículas coloidales del suelo y por consiguiente aumentar la permeabilidad del suelo al agua. Cuando se trata de rescatar suelos con excesivo contenido en sodio, es muy aconsejable, de ser posible, el empleo de aguas duras (Harris, 2007).

La calidad de las aguas está en relación con las tierras que deben regar, es así como aguas duras, ricas en sulfato cálcico, son un buen correctivo de las tierras arcillosas (Prieto, 2008).

Los resultados de dureza para los dos muestreos se presentan en los Cuadros 39 y 40. El Cuadro 39 muestra que el 2,5% de las aguas en época de lluvias, presenta una dureza moderada el resto 97,5% es agua blanda, es decir que la concentración de Ca^{2+} y Mg^{2+} , no supera las 60 ppm. Estas aguas según Ayers y Wescot (1987), son aguas altamente corrosivas y su estudio es muy complejo, se ha comprobado que causa daños

en materiales como el hierro y el hormigón, son aguas blandas porque están sobre materiales difíciles de intemperizar. Las aguas de la microcuenca del río Milagro son aguas agresivas como lo indica el IS.

Cuadro 39. Clasificación de las aguas por su dureza y la posibilidad de precipitación de CaCO_3 en época de lluvias de las aguas del cantón Milagro.

No.	Ca mg L^{-1}	Ca como CaCO_3 mg L^{-1}	Clasificación	IS	Clasificación
1	13,26	33,12	Blanda	-0.56	Insaturada
2	4,13	10,30	Blanda	-1.72	Insaturada
3	12,06	30,11	Blanda	-0.54	Insaturada
4	12,00	29,95	Blanda	-0.65	Insaturada
5	8,25	20,60	Blanda	-1.13	Insaturada
6	9,71	24,25	Blanda	-0.73	Insaturada
7	4,70	11,73	Blanda	-1.60	Insaturada
8	4,76	11,89	Blanda	-1.88	Insaturada
9	4,76	11,89	Blanda	-1.95	Insaturada
10	4,63	11,57	Blanda	-1.92	Insaturada
11	6,60	16,48	Blanda	-1.46	Insaturada
12	7,49	18,70	Blanda	-1.39	Insaturada
13	4,25	10,62	Blanda	-1.94	Insaturada
14	4,38	10,94	Blanda	-2.12	Insaturada
15	5,46	13,63	Blanda	-1.86	Insaturada
16	4,95	12,36	Blanda	-1.72	Insaturada
17	5,46	13,63	Blanda	-1.86	Insaturada
18	7,62	19,02	Blanda	-1.49	Insaturada
19	10,03	25,04	Blanda	-1.11	Insaturada
20	6,98	17,43	Blanda	-1.52	Insaturada
21	6,66	16,64	Blanda	-1.68	Insaturada
22	7,04	17,59	Blanda	-1.13	Insaturada
23	8,31	20,76	Blanda	-1.53	Insaturada
24	7,81	19,49	Blanda	-1.78	Insaturada
25	10,66	26,63	Blanda	-1.00	Insaturada
26	10,54	26,31	Blanda	-0.78	Insaturada
27	7,49	18,70	Blanda	-1.51	Insaturada
28	6,47	16,17	Blanda	-1.70	Insaturada
29	6,03	15,06	Blanda	-1.40	Insaturada
30	5,08	12,68	Blanda	-1.50	Insaturada
31	62,68	156,54	Dura	-0.02	Insaturada
32	16,69	41,68	Blanda	-0.86	Insaturada
33	42,89	107,11	Moderadamente dura	-0.89	Insaturada
34	12,88	32,17	Blanda	-0.53	Insaturada
35	10,22	25,52	Blanda	-1.01	Insaturada
36	10,41	25,99	Blanda	-0.76	Insaturada
37	12,69	31,70	Blanda	-0.70	Insaturada
38	10,98	27,42	Blanda	-1.00	Insaturada
39	4,51	11,25	Blanda	-1.88	Insaturada
40	5,71	14,26	Blanda	-1.72	Insaturada

El Cuadro 40 muestra que el 3,13% presenta una dureza moderada en el río Belin zona de alta densidad poblacional, pues la concentración de carbonato de calcio está entre 60 y 120 ppm, 6,25% son aguas duras, correspondiente a pozos de Banco de Arena y 90,62% son aguas blandas. Sin embargo por la bajas precipitaciones en esta época del muestreo la precipitación del carbonato de calcio se hace inminente, como se observa en los resultados del IS del Cuadro 40 que supera el valor de 0,5 pasando a aguas incrustantes, en un 93% de los casos del muestreo.

La distribución espacial de la dureza en el Cantón Milagro se puede observar en las Figuras 56 y 57 para los dos muestreos respectivamente.

Cuadro 40. Clasificación de las aguas por su dureza y a la posibilidad de precipitación del CaCO_3 del muestreo en época de estiaje de las aguas del cantón Milagro.

No.	Ca mg L ⁻¹	Ca como CaCO_3 mg L ⁻¹	Clasificación	IS	Clasificación
1	28,80	71,91	Blanda	6.20	Sobresaturada
2	9,17	22,91	Blanda	8.40	Sobresaturada
3	27,08	67,63	Blanda	6.20	Sobresaturada
4	26,57	66,36	Blanda	6.20	Sobresaturada
5	27,72	69,23	Blanda	6.20	Sobresaturada
6	33,15	82,79	Moderadamente dura	3.59	Sobresaturada
7	12,97	32,39	Blanda	2.10	Sobresaturada
8	25,09	62,65	Blanda	3.00	Sobresaturada
9	13,64	34,05	Blanda	6.20	Sobresaturada
10	20,07	50,11	Blanda	-0.13	Sobresaturada
11	16,67	41,62	Blanda	2.83	Sobresaturada
12	15,14	37,81	Blanda	6.20	Sobresaturada
13	16,43	41,04	Blanda	6.30	Sobresaturada
14	16,52	41,25	Blanda	2.14	Sobresaturada
15	14,14	35,32	Blanda	6.20	Sobresaturada
16	16,35	40,84	Blanda	3.67	Sobresaturada
17	17,34	43,31	Blanda	2.85	Sobresaturada
18	20,34	50,79	Blanda	6.20	Sobresaturada
19	20,58	51,40	Blanda	6.20	Sobresaturada
20	19,62	49,01	Blanda	6.20	Sobresaturada
21	20,61	51,48	Blanda	3.51	Sobresaturada
22	21,16	52,85	Blanda	6.20	Sobresaturada
23	21,25	53,08	Blanda	6.20	Sobresaturada
24	13,61	33,98	Blanda	3.67	Sobresaturada
25	19,27	48,13	Blanda	3.84	Sobresaturada
26	100,87	251,90	Dura	6.03	Sobresaturada
27	91,79	229,22	Dura	6.07	Sobresaturada
28	22,77	56,86	Blanda	6.20	Sobresaturada
29	22,02	55,00	Blanda	0.05	Sobresaturada
30	18,32	45,74	Blanda	6.20	Sobresaturada
31	15,93	39,79	Blanda	2.82	Sobresaturada
32	6,84	17,09	Blanda	6.20	Sobresaturada



Figura 56. Mapa de distribución espacial en base a la dureza del muestreo en época de lluvia de la microcuenca del río Milagro.



Figura 57. Mapa de distribución espacial en base a la dureza del muestreo en época de estiaje de la microcuenca del río Milagro.

3.1.4.20 Clasificación hidrogeoquímica

El agua es un buen solvente, el cual penetra en las superficies profundas de las rocas infrayacentes y surge en otro lugar. Si el agua circulante pasa a través de una mineralización o debajo de la superficie de la tierra, y particularmente en la zona de meteorización, ciertos elementos se disuelven y se movilizan lejos, se dispersan de la mineralización. Esto permitiría un incremento de esos elementos por encima del nivel de los valores de background normal en aguas (Carrera, 2009).

Según lo que indica Carrera (2011), los datos de laboratorio se pueden expresar de diversas maneras, de acuerdo con los índices que se utilicen, pero para determinados propósitos es mejor presentarlos en forma gráfica. El gráfico más utilizado en estudio de aguas, es el de Piper, que es diagrama trilineal que permite la clasificación hidrogeoquímica de las aguas naturales.

Los diagramas triangulares se utilizan para representar la proporción de tres componentes en la composición de un conjunto o de una sustancia. En hidroquímica se utiliza un triángulo para los cationes principales y otro para lo aniones (Sánchez, 2004).

La clasificación de las aguas se puede ver en el Cuadro 41 y en la Figura 58 para el muestreo en época de lluvia de la microcuenca del río Milagro, en la que se observa que el 90% los puntos de muestreo son de tipo cálcico con respecto al catión predominante y el 10% son mixtas en las que el 5% son de tipos cálcico-magnésica, el 2,5% son de tipo magnésica-cálcica y el 2,5% sódicas-cálcicas.

Con respecto a los aniones predominantes el 22,5% son cloradas, el 7,5% son bicarbonatadas, el 57,5% son mixtas entre las que el 35% pertenecen a la clasificación, cloradas-bicarbonatadas, el 22,5% bicarbonatadas-cloradas y el 2,5% entre cloradas-sulfatadas y sulfatadas-cloradas. La clasificación hidrogeoquímica total presenta un 35% cloruradas-bicarbonatadas cálcicas, 20% de aguas bicarbonatadas cloruradas cálcicas, 17,5% sulfatadas y/o cloruradas cálcicas o magnésicas, 10% cloruradas cálcicas, 2,5% de bicarbonatadas sódicas magnésicas y

un 2,5% de sulfatadas cálcicas. Las aguas de la microcuenca del río Milagro tienen un catión y un anión predominante que son el Ca^{2+} y el HCO_3^- respectivamente, probablemente por el terreno de la región que está en contacto con las aguas que es de tipo arcilloso, como lo indica Custodio y Lamas (1996) referido en Carrera (2009).

Los resultados de las aguas del segundo muestreo se presentan en el Cuadro 42 y la Figura 59. Con respecto a los cationes las muestras presentan la siguiente distribución: 75% de las aguas son sódica-magnésica, el 3% tipo sodio o potasio y el 3% tipo cálcica. Con respecto a los aniones 28,13% son bicarbonatadas, el 28,13% de tipo cloruradas, el 18,75% cloruradas bicarbonatadas, el 15,63% bicarbonatadas cloruradas, el 6,25% cloruradas sulfatadas y el 3,13% de tipo sulfatadas. La precipitación del CaCO_3 en época de estiaje disminuye la concentración de Ca^{2+} , lo que puede provocar un aumento de Na^+ en las aguas, como se puede observar en los resultados de esta época en la microcuenca del río Milagro.

Con respecto a la clasificación hidrogeoquímica total se puede reconocer los siguientes tipos de aguas para el segundo muestreo: 31,25% bicarbonatadas sódicas magnésicas, 25% cloruradas sódicas magnésicas, 15,63% cloruradas bicarbonatadas sódicas magnésicas, 9,38% son aguas bicarbonatadas cloruradas sódicas magnésicas, 9,38% son cloruradas sulfatadas sódicas magnésicas.

Cuadro 41. Clasificación hidrogeoquímica de las aguas del primer muestreo, época de precipitaciones de la microcuenca del río Milagro.

No.	Cationes	Aniones	Hidrogeoquímica
1	Tipo de calcio	HCO ₃ -Cl	Bicarbonatadas- cloruradas cálcicas
2	Na-Ca	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatadas sódicas- magnésicas
3	Tipo de calcio	HCO ₃ -Cl	Bicarbonatadas-cloruradas cálcicas
4	Tipo de calcio	HCO ₃ -Cl	Bicarbonatadas-cloruradas cálcicas
5	Mg-Ca	Cl-HCO ₃	Cloruradas-bicarbonatadas magnésicas-cálcicas
6	Ca-Mg	HCO ₃ -Cl	Bicarbonatadas-cloruradas cálcicas-magnésicas
7	Tipo de calcio	Cl-HCO ₃	Cloruradas-bicarbonatadas cálcicas
8	Tipo de calcio	Cl-HCO ₃	Cloruradas-bicarbonatadas cálcicas
9	Tipo de calcio	Cl-HCO ₃	Cloruradas-bicarbonatadas cálcicas
10	Tipo de calcio	Cl-HCO ₃	Cloruradas-bicarbonatadas cálcicas
11	Tipo de calcio	Cl-HCO ₃	Cloruradas-bicarbonatadas cálcicas
12	Tipo de calcio	Tipo de cloruro	Cloruradas cálcicas
13	Tipo de calcio	Cl-HCO ₃	Cloruradas-bicarbonatadas cálcicas
14	Tipo de calcio	Tipo de cloruro	Cloruradas cálcicas
15	Tipo de calcio	Tipo de cloruro	Cloruradas cálcicas
16	Ca-Mg	Tipo de cloruro	Cloruradas cálcicas-magnésicas
17	Tipo de calcio	Cl-SO ₄	Cloruradas-sulfatadas cálcicas
18	Tipo de calcio	HCO ₃ -Cl	Bicarbonatadas-cloruradas cálcicas
19	Tipo de calcio	Cl-HCO ₃	Cloruradas-bicarbonatadas cálcicas
20	Tipo de calcio	HCO ₃ -Cl	Bicarbonatadas-cloruradas cálcicas
21	Tipo de calcio	Cl-HCO ₃	Cloruradas-bicarbonatadas cálcicas
22	Tipo de calcio	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatadas cálcicas
23	Tipo de calcio	Tipo de cloruro	Cloruradas cálcicas
24	Tipo de calcio	Tipo de sulfato	Sulfatadas cálcicas
25	Tipo de calcio	Cl-HCO ₃	Cloruradas-bicarbonatadas cálcicas
26	Tipo de calcio	HCO ₃ -Cl	Bicarbonatadas-cloruradas cálcicas
27	Tipo de calcio	Cl-HCO ₃	Cloruradas-bicarbonatadas cálcicas
28	Tipo de calcio	Cl-HCO ₃	Cloruradas-bicarbonatadas cálcicas
29	Tipo de calcio	Cl-HCO ₃	Cloruradas-bicarbonatadas cálcicas
30	Tipo de calcio	Tipo de cloruro	Sulfatadas y o cloruradas cálcicas y o magnésicas
31	Tipo de calcio	Tipo de sulfato	Sulfatadas y o cloruradas cálcicas y o magnésicas
32	Tipo de calcio	Tipo de cloruro	Sulfatadas y o cloruradas cálcicas y o magnésicas
33	Tipo de calcio	Tipo de sulfato	Sulfatadas y o cloruradas cálcicas y o magnésicas
34	Tipo de calcio	HCO ₃ -Cl	Bicarbonatadas-cloruradas cálcicas
35	Tipo de calcio	Tipo de cloruro	Sulfatadas y o cloruradas cálcicas y o magnésicas
36	Tipo de calcio	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatadas cálcicas o magnésicas
37	Tipo de calcio	Tipo de cloruro	Sulfatadas y o cloruradas cálcicas y o magnésicas
38	Tipo de calcio	Cl-HCO ₃	Cloruradas-bicarbonatadas cálcicas
39	Tipo de calcio	SO ₄ -Cl	Sulfatadas y o cloruradas cálcicas y o magnésicas
40	Tipo de calcio	HCO ₃ -Cl	Bicarbonatadas-cloruradas cálcicas

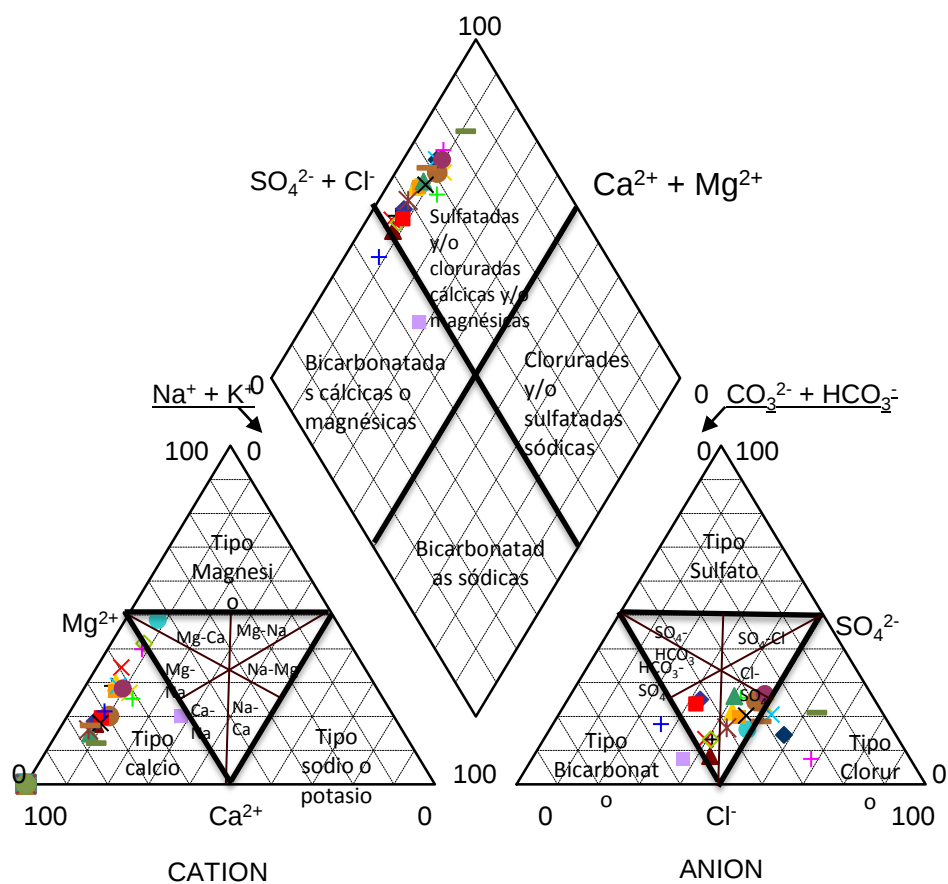


Figura 58. Clasificación hidrogeoquímica de las aguas del muestreo en época de precipitaciones de las aguas del cantón Milagro.

Como lo indica Custodio y Lamas (1996) referido en Ramírez (2009), las aguas de terrenos cálcicos son bicarbonatadas cálcicas o cálcicas magnésicas, las de los terrenos yesosos son sulfatadas cálcicas, las de terrenos formados por granito son bicarbonatadas sódicas y cálcicas, las de terreno de origen sedimentario marino algo arcillosos son cloradas sódicas con escaso calcio y magnesio, las de terrenos sedimentarios de origen continental algo arcillosos son bicarbonatadas cálcicas, las aguas del área de estudio separadas por cada sistema hidrográfico presentan diferentes comportamientos en términos de clasificación hidrogeoquímica. En el primer muestreo, época de lluvia, el río Belín no presenta un catión predominante, en los aniones el HCO_3^- y Cl^- son los importantes, la clasificación hidrogeoquímica resultó sulfatadas y/o cloruradas cálcicas o magnésicas. El río Milagro tiene una clasificación hidrogeoquímica sulfatadas y/o cloruradas cálcicas o magnésica excepto el punto 22 que presentan una clasificación bicarbonatada cálcicas o magnésica, de baja salinidad. El río Monos y el arroyo Las Maravillas tienen un comportamiento similar al río Milagro. Los pozos muestreados en el poblado Banco de Arena son los de mayor concentración 4 veces más que el resto de aguas, los aniones predominantes en los pozos son los Cl^- y SO_4^{2-} , claramente se puede inferir que la presencia de la fábrica de ácido sulfúrico en la zona afecta los cuerpos de agua. Las aguas del poblado Carrizal presentan el Ca^{2+} como catión predominante y aniones predominantes al $\text{Cl}^- - \text{HCO}_3^-$. Los pozos muestreados en los poblados Las Palomas, Paraíso y Milagro tienen un comportamiento similar a los otros sistemas hidrográficos.

Para el segundo muestreo, época de estiaje, el río Belín y los otros sistemas hidrográficos presentan un ión predominante que es el sodio y el anión predominante varía de acuerdo al sistema, resultando aguas cloruradas sódicas o magnésicas en el río Belín, en el río Milagro aguas bicarbonatadas sódicas y magnésicas y también cloruradas sódicas y magnésicas, Los Monos y Las Maravillas presentan la misma clasificación hidrogeoquímica que el río Milagro. En los pozos del sector Banco de Arena se clasifican como cloruradas bicarbonatadas sódicas magnésicas, y los otros sistemas hidrográficos presentan un comportamiento similar.

Cuadro 42. Clasificación hidrogeoquímica de las aguas en época de estiaje del cantón Milagro.

No.	Cationes	Aniones	Hidrogeoquímica
1	Tipo de sodio o potasio	HCO ₃ -Cl	Bicarbonatadas cloruradas sódicas o potásicas
2	Sódica-Magnésica	Tipo cloruro	Cloruradas y o sulfatadas sódicas o magnésicas
3	Sódica-Magnésica	Cl-SO ₄	Cloruradas y o sulfatadas sódicas o magnésicas
4	Sódica-Magnésica	Tipo bicarbonatada	Bicarbonatadas sódicas o magnésicas
5	Sódica-Magnésica	Cl-HCO ₃	Clorada bicarbonatada sódica o magnésicas
6	Sódica-Magnésica	Cl-SO ₄	Cloruradas y o sulfatadas sódicas o magnésicas
7	Sódica-Magnésica	Tipo cloruro	Cloruradas sódica o magnésicas
8	Sódica-Magnésica	Tipo bicarbonatada	Bicarbonatadas sódicas o magnésicas
9	Sódica-Magnésica	Tipo bicarbonatada	Bicarbonatadas sódicas o magnésicas
10	Sódica-Magnésica	Tipo cloruro	Cloruradas sódicas o magnésicas
11	Sódica-Magnésica	Tipo cloruro	Cloruradas sódicas o magnésicas
12	Sódica-Magnésica	HCO ₃ -Cl	Bicarbonatadas cloruradas sódica o magnésicas
13	Sódica-Magnésica	HCO ₃ -Cl	Bicarbonatadas cloruradas sódicas o magnésicas
14	Sódica-Magnésica	Tipo cloruro	Cloruradas sódicas o magnésicas
15	Sódica-Magnésica	Tipo cloruro	Cloruradas sódicas o magnésicas
16	Sódica-Magnésica	Tipo bicarbonatada	Bicarbonatadas sódicas o magnésicas
17	Sódica-Magnésica	Tipo bicarbonatada	Bicarbonatadas sódicas o magnésicas
18	Sódica-Magnésica	Tipo bicarbonatada	Bicarbonatadas sódicas o magnésicas
19	Sódica-Magnésica	Tipo bicarbonatada	Bicarbonatadas sódicas o magnésicas
20	Sódica-Magnésica	HCO ₃ -Cl	Bicarbonatadas sódicas o magnésicas
21	Sódica-Magnésica	Cl-HCO ₃	Cloruradas bicarbonatadas sódicas o magnésicas
22	Sódica-Magnésica	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatadas sódicas o magnésicas
23	Sódica-Magnésica	Tipo cloruro	Cloruradas sódicas o magnésicas
24	Sódica-Magnésica	Tipo de sulfato	Sulfatadas sódicas o magnésicas
25	Tipo cálcica	Cl-HCO ₃	Cloruradas Bicarbonatadas cálcicas
26	Sódica-Magnésica	HCO ₃ -Cl	Bicarbonatadas cloruradas sódicas o magnésicas
27	Sódica-Magnésica	Cl-HCO ₃	Cloruradas bicarbonatadas sódica o magnésicas
28	Sódica-Magnésica	Cl-HCO ₃	Cloruradas bicarbonatadas sódicas o magnésicas
29	Sódica-Magnésica	Cl-HCO ₃	Cloruradas bicarbonatadas sódicas o magnésicas
30	Sódica-Magnésica	Tipo de cloruro	Cloruradas sódicas o magnésicas
31	Sódica-Magnésica	Tipo de bicarbonato	Bicarbonatadas sódicas o magnésicas
32	Sódica-Magnésica	Tipo de cloruro	Cloruradas sódicas o magnésicas

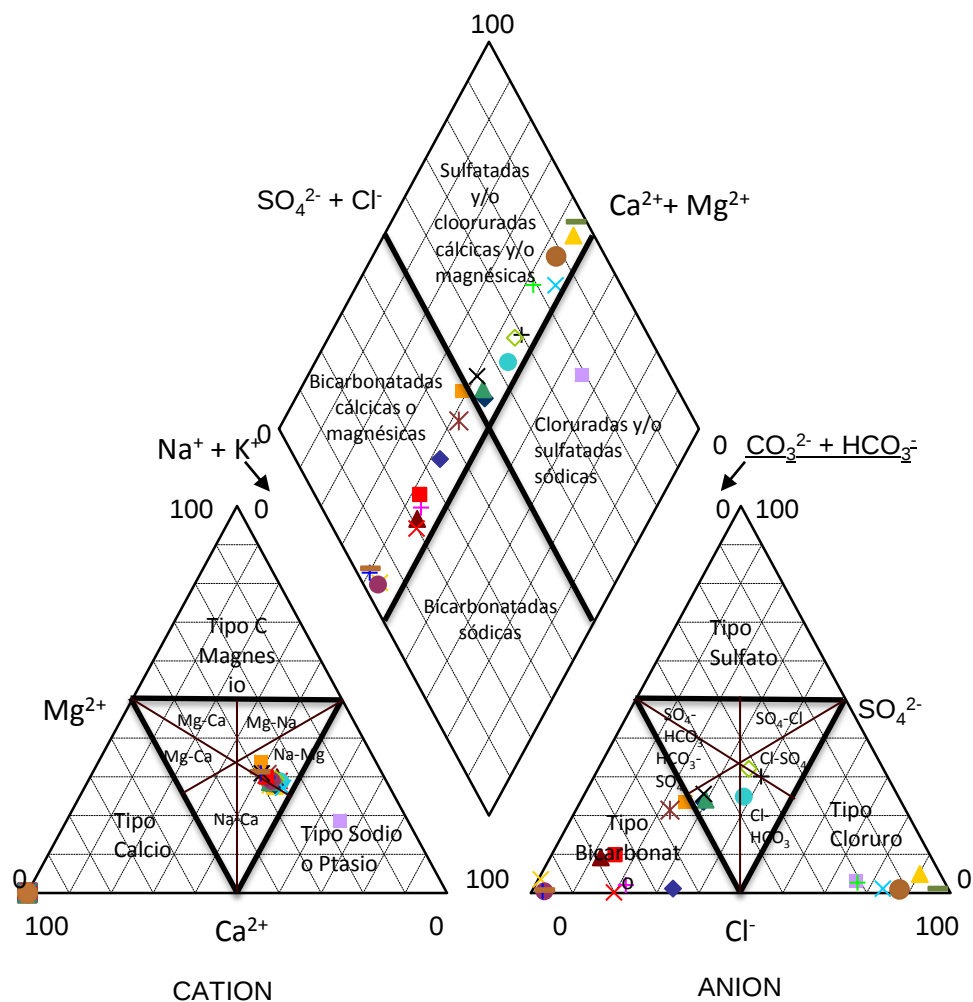


Figura 59. Clasificación hidrogeoquímica de las aguas del segundo muestreo del cantón Milagro

CAPÍTULO IV

4.1 PLAN DE MANEJO DE LA MICROCUENCA DEL RÍO MILAGRO

4.1.2 GENERALIDADES

Con el creciente nivel de desarrollo de los recursos hídricos en todo el mundo, resulta cada vez más importante que se elaboren proyectos que puedan servir simultáneamente para diversos usos, tomando en cuenta que los recursos naturales son limitados y que todo proyecto debe tomarlo en cuenta (OMM, 1994).

La disponibilidad de los recursos hídricos a futuro, dependerá del control de la cantidad y de la calidad del agua contenida en los sistemas naturales. La construcción de bases de datos adecuadas a través de la supervisión de los sistemas hidrológicos es un requisito previo fundamental de la evaluación y la gestión de los recursos hídricos (OMM, 1994). El objetivo de este plan es revisar si son adecuadas o no las redes y técnicas actuales de supervisión.

Según K. King (1977), Director del Departamento de Montes de la FAO, en la formulación de los planes de manejo de cuencas hidrográficas, se debe tomar en cuenta tanto atributos de la tierra y los recursos hídricos como los factores socioeconómicos que repercuten en el desarrollo de los seres humanos en esa zona en general y las prácticas de uso de la tierra en particular. Así mismo, debe contemplarse un apoyo operacional permanente. Sin un control social adecuado del uso de los recursos mundiales de tierras y agua, el desarrollo tecnológico excesivo, puede conducir, a largo plazo, al subdesarrollo regional o nacional. Es más, debe haber conciencia del sistema total de suelos y aguas, tanto río arriba como río abajo, y de los beneficios interrelacionados que se pueden obtener mediante la aplicación inteligente de la tecnología moderna.

El plan de gestión acostumbrado de desarrollo de una cuenca, es aprovechar básicamente todo el caudal que se puede regular adecuadamente. El agua disponible

se reparte entre las diferentes necesidades, de acuerdo con un sistema de prioridades (OMM, 1994).

El cantón Milagro, dentro de la división hidrográfica se encuentra inmerso en la cuenca del río Guayas, ocupando el 9,51% de la subcuenca del río Juján, 7,04% de la subcuenca del río Yaguachi y el 0,20% del Drenajes menores (CLIRSEN, 2009). La microcuenca del río Milagro tiene una área de 302,48 km² y cubre total o parcialmente los cantones de Naranjito, Coronel Antonio Elizalde y Milagro en la Provincia del Guayas (SENAGUA, 2011).

La composición geomorfológica del cantón Milagro, posee unidades cuyo origen principalmente es aluvial por la gran influencia del Océano Pacífico y de los diferentes ríos que atraviesan el cantón provenientes de la Cordillera de los Andes, sin dejar de lado al pie de monte representado por el cono de esparcimiento provocado por el río Chimbo. Es así, que la unidad geomorfológica que mayor superficie ocupa, es el nivel ligeramente ondulado (CLIRSEN, 2009).

Los diques o bancos aluviales juegan un rol importante en la protección de los suelos contra la erosión o degradación, la circulación o flujo continuo de agua limpia, en la reducción de los peligros de las inundaciones y en general en la preservación de la biodiversidad (Valencia, 2009).

Evitar las transformaciones geomorfológicas de las diferentes unidades, es una necesidad imperativa en el manejo de la cuenca, los factores humanos y naturales que actúan de manera conjunta deben promover un cuidado de las geoformas que integran el cantón Milagro, tomando en cuenta que son muy sensibles a las acciones de agentes naturales y antrópicos, especialmente por la expansión de los monocultivos como la caña de azúcar, que provocan una eliminación de los diques o bancos aluviales, ricos en materia orgánica, nutrientes del ecosistema, quedando suelos muy pobres en materia orgánica, lo que hace que aumente la necesidad de la aplicación de abonos inorgánicos, o el uso de abonos orgánicos como la vinaza, que ha provocado en el cantón procesos de eutrofización.

La actividad agroindustrial de finales y principios del siglo XX, devastó, no solo la extensa zona de bosque primario existentes, sino también áreas montañosas ubicadas al oeste del cantón, convertidas hoy en planicies de cultivo de caña de azúcar. A más de esto, la actividad agroindustrial ha propiciado el cambio de los cursos y caudales de ríos y esteros, por lo que, el antiguo sistema fluvial, en donde se navegaba y se ejercía la pesca, ha quedado imposibilitado para ello (PDOTM, 2011).

Actualmente, la actividad agropecuaria sigue ocasionando problemas ambientales, por el uso indiscriminado de abonos y pesticidas químicos, que afectan la calidad del suelo, y dada las condiciones particulares de su hidrogeología, la posibilidad de contaminación de sus aguas subterráneas, indispensable para el consumo humano en este territorio (PDOTM, 2011).

La disponibilidad hídrica de primer orden en el cantón Milagro es de 500 - 1000mm/año, información que se puede contrastar con la disponibilidad hídrica per cápita y valorar el nivel de stress sobre el recurso según su uso, que para el cantón está entre 1 - 10 ($\text{m}^3/\text{año km}^2$)/hab. La zona del cantón es propensa a inundaciones (desbordamiento de ríos o fuertes precipitaciones) y una moderada susceptibilidad a sequías, esto genera un nivel alto de vulnerabilidad a impactos por exceso de precipitaciones (SENAGUA, 2009).

Como herramienta de apoyo al sistema de gestión se ha implementado un Sistema de Información Geográfica de la región que se ha alimentado con la información levantada en el diagnóstico y en los estudios de los índices de salinidad del cantón.

4.2.3 MARCO LEGAL

El marco legal actual para la gestión del agua es la Ley de Aguas de 1972, actualizada mediante una codificación realizada en el año 2004 y 2008. La ley reconoce al agua como un bien público y concede el derecho de uso de agua con base en criterios definidos, en caso de ocurrir la falta de disponibilidad del agua, el uso humano y animal es prioritario. La Ley de Aguas y su reglamento establecen que

cuando hubiera cinco o más usuarios con derecho al aprovechamiento de aguas en un cauce común, existe la obligación de crear los Directorios de Agua. Estos directorios son una forma de autogestión del agua por parte de los usuarios, quienes se reúnen en una Junta General, que se integra con un representante por cada derecho de aprovechamiento. La Junta General es la máxima autoridad del Directorio de Aguas y sus funciones específicas son: nombrar al Consejo de Aguas y conocer el informe anual de las labores e inversiones del Directorio (FONAG, 2009).

Existe un Consejo de Aguas, que es el organismo ejecutivo del Directorio de Aguas y tiene las siguientes atribuciones: hacer cumplir las disposiciones técnicas y administrativas dictadas por el CNRH, hacer respetar los derechos que correspondan a cada uno de los usuarios, establecer turnos de riego, planificar y controlar la correcta operación y mantenimiento del acueducto y su mejoramiento, exigir que el caudal de agua que corresponda a cada usuario sea controlado por medio de dispositivos que permitan su cuantificación, aplicar las sanciones a los usuarios por incumplimiento de sus obligaciones.

La Secretaría Nacional del Agua planteó en el 2012, la estructuración de nueve demarcaciones hidrográficas, Esmeraldas, Guayas, Jubones, Manabí, Mira, Napo, Pastaza, Puyango-Catamayo y Santiago, que basadas en el enfoque de cuencas, serán los espacios de planificación y gestión del agua a nivel nacional (PNRD, 2011-2026).

Los actores claves para el desarrollo de un gestión de la microcuenca del río Milagro son (PDOTM, 2011):

- Gobierno Nacional y Municipal
- Empresas y emprendedores locales
- Asociaciones empresariales y profesionales
- Administración pública desconcentrada y descentralizada
- ONG's con enfoque ambiental
- Universidades y centros de investigación

Cada uno de estos actores aporta, de distinta manera, al desarrollo sustentable de la microcuenca. La principal función que tienen estas instituciones es de promover programas políticos de desarrollo, como se detalla a continuación:

Sector Público

-El Gobierno Nacional: Es el órgano principal de promover políticas y programas que equilibren la distribución del capital entre los municipios del país, la regulación y prestación de servicios públicos, la formulación de políticas y programas de protección ambiental local y regional y, como objetivo fundamental, tomar medidas para mantener la sustentabilidad del sector agroindustrial, a través de la Secretaría Nacional del agua.

Es responsable por la orientación de la inversión pública en el entorno local y a través de sus decisiones influir e impulsar en gran medida las condiciones para el desarrollo económico local, facilitando el acceso al crédito y a otros beneficios. Además propulsará la conformación de organizaciones campesinas con la que manejarán un trato preferencial para la comercialización de sus productos (CRE, 1998).

-Gobierno Municipal

La municipalidad debe contribuir al desarrollo de la gestión ambiental en general y de las aguas de riego en particular. En el cantón el gobierno municipal no tienen las competencias directas sobre la gestión ambiental, esto dificulta en gran manera el ejercicio del control y de la aplicación de normas reguladoras en materia ambiental que puedan aplicar directamente los municipios. Este es un tema que debe tratarse con las autoridades ambientales competentes (PDOTM, 2011).

Sector Privado

-Las micro, pequeñas y medianas empresas:

El conjunto de empresas a nivel local que forman parte del sistema productivo del territorio, El ingenio Valdes, Codana, Ecoelectric y Proquiandinos, deben ser actores fundamentales en el tratamiento de sus efluentes, tomando en cuenta que ello podría provocar problemas medio ambientales importantes.

- Las Organizaciones No-Gubernamentales

Los ONG's locales y departamentales tienen un gran conocimiento de estrategias de promoción de PYMES, desarrollo de asociaciones de protección del medioambiente, proyectos de mujeres, así como programas de trabajo comunitario que involucre a jóvenes y población desplazada. En ocasiones las ONG's prestan servicio donde el sector privado tiene poca o nula presencia.

- Gobiernos comunitarios

Son ciudadanos locales que participan en el diálogo con los municipios, para ayudar a definir dónde invertir los recursos municipales, como principales conocedores de las necesidades de su zona.

4.4 PROBLEMÁTICA POR EL USO DE LAS AGUAS

- La realidad agrícola del Ecuador busca, constantemente, obtener mayores ganancias mediante el incremento de las producciones, lo que ha provocado un comportamiento insostenible del ser humano con respecto a su entorno, ocasionando daños del recurso suelo y pérdida de la biodiversidad, reflejada con el crecimiento de la deforestación, a un ritmo de 3,5% anual, atentando al desarrollo sostenible (Saltos, 2009). La gran demanda de agua para riego, genera impactos cuantitativos relacionados con la escasez del agua. Sin embargo, la calidad del agua se ve afectada, entre otros, por el impacto ambiental a causa del ciclo de contaminación en las áreas urbanas (FONAG, 2009).
- Problemas socioeconómico derivados de la limitación física del recurso frente a una creciente demanda promovida por la presión demográfica o la expansión económica, determinado por crecimiento en la producción agroindustrial para la exportación, como es el caso del banano y caña de azúcar que demandan una gran cantidad de agua. Estimaciones muestran que el 1% de los usuarios del agua de riego controla el 70% del agua disponible y el 78% recibe apenas el 12% del agua de riego (FONAG, 2009).
- Deficiencias legales o poca claridad de competencias de los entes vinculados a la gestión del agua.

- La falta de información hidrológica de la disponibilidad hídrica y del consumo real de los usuarios produce conflictos reales o de percepción.

4.1.5 ESTRATEGIAS AMBIENTALES

- Dentro del desarrollo infantil, así como durante todo el proceso de educación formal, motivar el respeto y amor por la naturaleza.
- Generación de una Cultura Ambiental.
- Difundir y promover prácticas ambientales en las entidades públicas y privadas .
- Difundir y promover prácticas ambientales en los hogares.
- Vincular a la población en proyectos ambientales.
- Vincular a niños, niñas y jóvenes al cuidado del ambiente.
- Cuidado del Medio.
- Coordinación de actividades de conservación, rehabilitación o control ambiental con organizaciones ambientalistas.
- Control permanente de la calidad ambiental del cantón por parte del Gobierno Municipal y otras entidades estatales.
- Promover agriculturas familiares, éstas gestionan los recursos naturales, el medio ambiente y los territorios en formas más sustentables, mantiene un vínculo fuerte entre las familias y su territorio y por lo tanto una mayor preocupación en torno a la preservación de los ecosistemas y su fertilidad.
- Impulsar la creación de la estructura organizativa en la región por ser una zona de alta susceptibilidad a la generación de conflictos por escasez del recurso hídrico y por la problemática de inundaciones
- Transferencia de sistemas de riego públicos a los usuarios.
- Diseñar esquemas de sistemas de concesiones de construcción de obra pública y de servicios públicos, a base de la Ley de Modernización, que permita la construcción de infraestructura de usos de aguas y garantice la recuperación de la inversión (MAG, 1996).
- Seguimiento y control.

4.1.6 ACTIVIDADES

- Controlar y mantener periódicamente índices de salinidad en el tiempo, tomando la información presentada en esta trabajo como base para futuras comparaciones en los mapas de distribución espacial de los índices de salinidad.
- Incentivar la cooperación y concienciación de los pobladores más cercanos a los lugares que presentan índices altos de salinidad y con posibilidades de provocar la salinidad de los suelos como son los pozos de Banco de Arena y sus límites de influencia que para la interpolación en este trabajo fue tomado de 2 km.
- Evaluación de la propiedades hidrofísicas del suelo.
- Cuantificar flujos y procesos hidrológicos superficiales y subterráneos en el estado actual de degradación.

CAPÍTULO V

5.1 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.1 CONCLUSIONES

- Las fuentes de suministro de agua para riego, en un área de 24949 ha, en el cantón Milagro provienen del río Milagro que es parte de la subcuenca de río Yaguachi junto con el estero los Monos y el estero Capacho y de pozos con profundidades que van desde los 30 m hasta 130 m.
- Un adecuado proceso de gestión debe asegurar la disponibilidad de los recursos hídricos para los diferentes usos, a través del manejo racional, la protección y cuando corresponda, la recuperación de los mismos. Esto necesariamente implica conocer el estado de calidad del recurso a ser gestionado. La gestión del agua de riego eficiente permitirá optimizar el consumo de agua, energía y fertilizantes, reducir los problemas derivados de exceso y/o falta de agua, mejorar la regulación del crecimiento vegetativo del cultivo, maximizar la calidad de la producción y tener un mejor control de la salinidad y la erosión del suelo.
- Los resultados de este trabajo identificaron la zona con las mayores concentraciones de nutrientes, las variaciones de las fracciones de nitrógeno y fósforo fueron atribuidas a los diferentes usos de la tierra en la cuenca. Las mayores concentraciones de nutrientes en la cuenca coinciden con el paso del río por la ciudad de Milagro. La cuenca superior, con las concentraciones más bajas, drena una zona de actividad agropecuaria. La cuenca inferior (trayecto del curso de agua previo a la desembocadura en el río Chimbo), recibe los aportes de una zona agrícola, y presenta concentraciones intermedias, evidenciando que el río no alcanza a autodepurar totalmente los aportes recibidos en la cuenca media. Estos resultados constituyen un aporte al estado del conocimiento sobre la calidad del agua del río y la influencia del uso de la tierra en la cuenca.

- El uso integral de la geoinformación generada a partir de herramientas geoinformáticas, permitió manejar una gran cantidad de datos de manera rápida, ordenada y efectiva; lo que constituye una importante herramienta para caracterizar los patrones de cambio en la índices de salinidad en las aguas de riego del cantón Milagro.
- Una medida del grado de conversión ambiental es mediante el estudio de la dinámica espacio-temporal de los suelos y los índices de salinidad, ya que permite conocer las modificaciones en la vegetación debido al uso humano. La investigación realizada en este estudio sirvió para determinar las diferentes influencias antrópicas sobre los geocomplejos en el cantón Milagro, determinadas con el trabajo de campo y con la ayuda de sistemas de información geográfica.
- Las fuentes puntuales, como las descargas de aguas residuales municipales, se pueden controlar por eliminación de nutrientes en las mismas antes de su descarga en las aguas superficiales. Las cargas de fuentes no puntuales (difusas), como las escorrentías agrícolas, se reducen a través de técnicas de uso de la tierra que impiden la erosión del suelo y evitan el uso excesivo de fertilizantes.
- En la zona de estudio, los suelos regados complementariamente con aguas bicarbonatadas sódicas, modifican su composición química, pero dicha degradación no es irreversible, ya que alcanzan niveles umbrales de resiliencia edáfica, dada por la interrelación de procesos de recuperación físicos, químicos y biológicos, que determina el mantenimiento de la calidad del suelo y con ello, la sustentabilidad del sistema de manejo agronómico bajo riego.
- Aguas con altos valores de RAS, como son las aguas del cantón en especial en la época de sequía, pueden ocasionar problemas en el suelo porque aumentan su PSI lo que ocasionaría la degradación de la estructura del suelo. Por lo tanto es importante tener en cuenta que no existe un solo camino seguro para el uso del agua con restricciones. En la mayoría de los casos se deben adoptar conjuntamente distintas prácticas, para realizar un trabajo más eficiente y asegurar la sustentabilidad del proceso productivo.

- Las técnicas de riego son muy importantes de tomar en cuenta cuando estas aguas tienen niveles de salinidad y sodicidad altas. El riego por goteo es el método que puede utilizar aguas mas salinas. Esto se debe a que mantienen la zona radical a niveles muy altos de humedad y bajos de salinidad por la continua aplicación de agua. Por efecto del continuo lavado, el contenido de sal es muy bajo en el bulbo húmedo que se genera alrededor de los emisores mientras que la sal se concentra en la periferia del mismo. Esta distribución espacial de la salinidad debe tenerse presente cuando se utiliza este método con agua salina en regiones que pueden presentar lluvias importantes durante el ciclo de crecimiento del cultivo, ya que estas pueden provocar una entrada súbita de sales a la zona radical que dañe el cultivo. Este método será recomendable para el cantón Milagro, especialmente en la época de bajas precipitaciones.
- Todas las aguas para riego contienen más o menos cantidad de sales disueltas, como se ha determinado en este estudio y todas ellas tienen un efecto en la relación agua-suelo-planta, por ello es necesario que se conozca los efectos que la calidad del agua y las prácticas de riego tiene sobre algunos aspectos como: contenido de sales del suelo, concentración de sodio en el suelo, la rapidez con que el agua penetra en el suelo, la presencia de elementos que pueden ser tóxicos para las plantas, evitando la salinización y sodificación del suelo y con ello la pérdida de suelo de cultivo.
- El uso de aguas de elevada salinidad para riego, puede provocar la salinización del suelo, por ello es necesario que el suelo tenga un buen drenaje de tal manera que no haya acumulación de sales en el suelo a causa del alto contenido de sales que lleva el agua de riego, riesgo que estarían corriendo los suelos de algunos puntos del cantón Milagro, uno de ellos el Pozo banco de arena que fue uno de los puntos que registró en el segundo muestreo el valor más elevado de CE.
- Los problemas de infiltración del agua en el suelo, es un problema que también podría estar presente en el cantón Milagro, por el alto contenido de sodio y bajo de calcio de la aguas de riego que conllevarían a que el suelo también alcance niveles altos de sales, especialmente entre los meses de baja precipitación,

temporada seca, provocando la dispersión de las partículas del suelo y la consiguiente disminución de la velocidad de infiltración del agua.

- Las clasificaciones de Richards (1959) y Ayers y Westcot (1987), han sido los criterios de referencia más utilizados para definir la calidad del agua, sin embargo los estudios de estos autores fueron hechos en zonas áridas y semiáridas, lo cual podría presentar una limitación al considerar solo propiedades físico químicas del agua de riego, sin tomar en cuenta, como lo menciona Vásquez *et al.* (2006), estudios vinculados a las características texturales, climáticas y fisiológicas del cultivo. Un conocimiento acabado de los factores que intervienen en la práctica de riego suplementario, permitirá dar recomendaciones para un manejo de los recursos en un marco de desarrollo sustentable.
- Las conclusiones a las que se ha llegado en el análisis realizado, han sido sustentadas de la mejor manera. Sin embargo, en algunos casos, puede ser necesario realizar una investigación más profunda para demostrar mejor o modificar algunas conclusiones que aún pueden quedar en calidad de hipótesis. Estas investigaciones deberán ser altamente selectivas y orientadas por necesidades específicas.
- Es necesario de acuerdo a la disponibilidad del recurso hídrico, impulsar la creación de una estructura organizativa en el cantón Milagro por ser una zona de alta susceptibilidad a la generación de conflictos por escasez del recurso hídrico y por la problemática general de inundaciones.
- La calidad del agua del río Milagro fluctúan periódicamente, lo que hace imprescindible un seguimiento igualmente periódico para la recomendación de su uso. Se confirma este hecho en los dos muestreos realizados en el cantón en el primero, en época de precipitaciones, de acuerdo a la CE en su mayoría las aguas son de baja salinidad y en segundo muestreo, época de estiaje, son de alta salinidad, en estos dos casos las condiciones del agua no es buena para los suelos y los cultivos, es importante que exista un equilibrio, lo recomendable es que las aguas tengan una CE entre $100 \mu\text{S cm}^{-1}$ y $250 \mu\text{S cm}^{-1}$.

- De acuerdo a los STD, la mayoría de aguas del cantón Milagro no tienen ningún grado de restricción, sin embargo, hay una sal que no se está detectando en este estudio, probablemente sean los silicatos. Las aguas que tienen una restricción ligera a moderada se encuentran al final de los ríos Belín, Los Monos y los pozos que se encuentran en Banco de Arena.
- Existen condiciones de neutralidad de las aguas del cantón Milagro, salvo en el punto de muestreo en donde las aguas de riego se mezclan con vinaza provocando una disminución del pH a rangos de 5,2, lo que ocasionaría probablemente una aumento en la acidez del suelo. La vinaza ha sido ampliamente utilizada en la mayoría de países productores de caña de azúcar, como Cuba, Brasil y Ecuador, sin embargo sin el control adecuado probablemente se llegue a problemas de acidificación del suelo y la eutrofización de las aguas.
- Los suelos del cantón Milagro son muy inestables y sufren cambios en sus propiedades de acuerdo al estudio realizado por Rodríguez *et al.* y presentado en el XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo en Noviembre del 2010, lo que influencia en los índices de salinidad del agua del cantón y como se pudo notar en los resultados obtenidos de los dos muestreos que presentan cambios drásticos en la conductividad eléctrica y consecuentemente en los otros índices de calidad del agua. Las consecuencias de las actividades humanas como la deforestación y la degradación del suelo en los dique o bancos, ocasionan la disminución de sumideros naturales de carbono.

5.1.2 RECOMENDACIONES

- El cantón Milagro tiene dos estaciones bien diferenciadas: una seca entre los meses de mayo a noviembre y una de lluvia entre los meses de diciembre a abril, esto hace que en los meses de sequía las aguas de riego aumenten su salinidad durante este período, lo que hace imprescindible un lavado del suelo para que no se vean afectados los cultivos ni los suelos por el exceso de sales que llevan consigo las aguas. Es decir que antes del nuevo período de siembra es necesario

preparar el terreno con técnicas de labranza profundas que eviten la acumulación de sodio en el suelo en todo el cantón, que son ricos en arcillas expandibles.

- El drenaje del cantón Milagro es bueno por su contenido de material deposicional con un buen contenido de limos y arenas no consolidadas, por lo tanto, a pesar de que las aguas puedan ser clasificadas en un alto porcentaje como cloruradas sódicas magnésicas, no causarán la sodificación del suelo.
- El cantón se encuentra en una zona de déficit hídrico y junto con la contaminación de las aguas, se ha convertido en un problema de gran magnitud y genera impactos significativos en los ciclos vitales de los elementos naturales, los ecosistemas y en la vida de las personas. La calidad del agua está en constante deterioro, especialmente a partir de las últimas décadas y se evidencia a través de la presencia de sedimentos en la mayoría de los cursos de agua, por un lado y, por otro, de carácter más puntual, por la composición e intensidad variable, que existe en ciertos tramos de los cursos de agua y en las cercanías de los principales recolectores de aguas servidas de centros poblados (desechos domésticos) e industriales (residuos industriales), así como de grandes zonas agrícolas (uso masivo de agroquímicos). Por eso el monitoreo, por lo menos bianual, debe ser prioritario.
- En ningún cantón de la provincia del Guayas existe la cobertura total del servicio de alcantarillado de aguas servidas y en la mayoría no hay tratamiento de las mismas que constituyen una fuente de contaminación ya que no recibe el tratamiento adecuado para lograr la mitigación de la carga contaminante que es vertida en los ríos del cantón que serán usadas para riego. Esto hace necesario la verificación de la calidad del agua antes de ser utilizada en irrigación.

BIBLIOGRAFÍA

(2006). *Universo*.

Adams, M. (1995). *Fundamentos de Química de Suelos*. Caracas: Anauco.

Alcaraz, F. (2012). Salinidad y vegetación, Guía didáctica para la asignatura de Geobotánica, Universidad de Murcia. Murcia, España.

Aldana, J. M. (2011). Agua de Riego A71, Laboratorios A&L, S.A. de C.V., p 20. México.

Alonso, M. (1998). Las lagunas de la España peninsular. Taxonomía, Ecología y Distribución de los Cladóceros. Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona. 795 pp. Barcelona, España.

APHA, -A.-W. (1995). American Public Health Association,. Standard methods for the examination of wáter and wastewater 19th edition. Publication office American Public Health Association, Chapter 1 p. 45; Chapter 2 p. 88; Chapter 3 p. 10. Washington D. C., USA.

Aragó, B. (1873). *Tratado completo del Cultivo de la Huerta*, pp. 496. España: Librería Central de los Srs. Viuda e Hijos de D. Mariano Escribano.

Arias, S. P. (2003). *Periferias y nueva ciudad. El problema del paisaje en los procesos de dispersión urbana*. Sevilla.

Arroyo, G. (1988). *Biotecnología: ¿una salida para la crisis agroalimentaria?, Primera edición*, pp.393. México: Editores P y V.

Ayers y Westcot. (1976). La calidad del agua y su uso en la agricultura. Estudio FAO Riego y Drenaje 29 Rev. 1. Trad. al español por J. F. Alfaro de : Water quality and use in agriculture.

Balks et al., W. S. (1998). Effects of sodium accumulation on soil physical properties under an effluent-irrigated plantation. 36. *Aust. J. Soil Res.*, 821-830.

Borja, I. (2011). *Ensayo, Desarrollo Agroindustrial del Cantón Milagro y sus Perspectivas de mejoramiento en el Mediano Plazo con el uso adecuado de la información económica presentada a la ciudadanía, Ecuador*. Milagro: UNEMI.

Brugnoli, E. (1999). *Guía para el estudio de la calidad del agua en Centroamérica, una aproximación de la armonización de las normas de calidad*. . San José, CR.

Campodónico et al. (1984). Experiencia y Perspectivas en América Latina sobre Alcohol Carburante. 448.

- Canter y Hill. (1979). Handbook of variables for environmental impact assessment. Ann Arbor Science Publisher Inc. Mich.
- Carrera et al. (2011). Salinidad, Fosfatos, Nitratos y problemas de infiltración en las aguas de Milagro, Ecuador, 9. *Ciencia*, 102.
- Carrera, D. (2009). Salinidad en suelos y aguas superficiales y subterráneas de la cuenca evaporítica del río Verde-Matehuala, San Luis Potosí, Tesis Doctoral, Tesococo, pp. 334. . Montecillo, Dto. México, México.
- CEDEX. (2013). *La reutilización de las aguas residuales: acondicionamiento y uso* .Servicio de ediciones CEDEX.
- Choudhary, O. P. (2006). Effect of alternating irrigation with sodic and non-sodic waters and soil proprieties and sunflower yield. 85. *Agricultural Water Management*, 151 - 156.
- CLIRSEN. (2009). Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos. Generación de geoinformación para la gestión del territorio y valoración de tierras rurales de la cuenca del río guayas escala 1:25.000. SENPLADES. p. 12 . Quito, Ecuador.
- CRE. (1998). Constitución Política de la República del Ecuador, TÍTULO VI, Sección sexta El agua. *Título VI, sección sexta El Agua*. Ecuador.
- Cuellar, E. (2013). Variaciones iónicas en las aguas residuales del valle del Mezquital, Tesis de maestría en Ciencias, Texcoco, p. 59 . Montecillo, Edo. de México.
- Custodio, E. (1965). *Hidroquímica, segunda edición*. Barcelona: Ediciones Omega.
- Díaz, V. P. (2009). *Metodología de investigación científica y bioestadística, 2da. edición*, p. 183. Chile: RIL editores.
- FAO. (1993). *Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Prevención de la contaminación del agua por la agricultura y actividades afines. Informe sobre temas hídricos*. Santiago.
- Fassfander, H. W. (1975). *Química de Suelos, Énfasis en suelos de América Latina, Primera Edición, Costa Rica*, pp. 199. Turrialba: Editorial IICA.
- Fernandez, E. A. (2006). *La calidad de las aguas en función de su uso, Segunda Edición, España*, p 87-159. Madrid: Ed. Grafinat.
- FONAG. (2009). Fondo para la Protección del agua, Plan de manejo integrado de los recursos hídricos en la cuenca altas del río Guayllabamba. BID Banco Interamericano de Desarrollo Económico. V01-109-CG. 147p. Quito, Ecuador.

- Foster et al., S. H. (2002). *Protección de la calidad del agua subterránea: guía para empresas de aguas, autoridades municipales y agencias ambientales*. Banco Internacional de construcción y Fomento/Banco Mundial 1818H Street. Recuperado el 25 de junio de 2013, de www.worldbank.org
- Gardner, W. K. (2004). Changes in soils irrigated with saline groundwater containing excess bicarbonate, 42. *Australian Journal of Soil Research*, p. 825-831.
- Gili et al., S. P. (2003). Efecto de las técnicas de lavado y fertilización sobre la salinidad en suelos del alto valle de río Negro y Neuquén, Argentina. . Vol 64. N°3. . *Agricultura Técnica*, 295-304.
- GYPAM. (2012). *Gestión y Proyectos Ambientales*. Recuperado el 4 de Diciembre de 2014, de <http://www.gypam.com>
- Harris, D. (2007). *Análisis Químico Cuantitativo, 3era. Edición, España, pp.533*. Barcelona: Editorial Reverté.
- IGM. (2009). Mapa Físico del Ecuador, escala 1:1000000. Quito, Ecuador: IGM.
- INAMHI. (2006). *Anuarios Meteorológicos publicados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, Ecuador, Varios años*. Quito.
- INEC-CPV. (2010). Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. Censo de Población y Vivienda (CPV, 2001, 2010). Proyecciones de población. Ecuador.
- Kerlinger, F. y. (2002). . *Investigación del comportamiento. Cuarta edición. . Traducido al español por CONACYT, 810 pp*. México: McGraw-Hill.
- Lillo, J. (2014). *Técnica Hidrogeoquímicas, Universidad Rey Juan Carlos*. Recuperado el 15 de junio de 2103, de http://www.escet.urjc.es/~jlillo/Tecnicas_Hidrogeoquimicas.pdf.
- Llorente, M. (2002). Resumen del Manual de Edafología P. H. Douchefour, 1987, Universidad de Salamanca. Salamanca, España.
- López Lugo, M. A. (1978). Soil-water relationships in Oxisols and Ultisols of Puerto Rico and Brasil. *Tropical Soils Workshop*, 24.
- López, J. G. (2011). Manual de instrucciones para la toma, preservación y transporte de agua de consumo humano para análisis de laboratorio, Instituto Nacional de Salud, pp. 87. . Colombia.
- López, M. (2007). Efectos agronómicos y ambientales de la fertilización en el cultivo de patata en a Limia, Tesis Doctoral, Universidad de Santiago de Cospotela, pp. 285. Santiago de Cospotela, España.

- MAG. (1996). Ministerio de Agricultura y Ganadería, Opciones Legales e institucionales del Manejo de Recursos Hídricos en el Ecuador, 40 p. Quito, Ecuador.
- Mago. (1986). El suelo y su manejo en caña de azúcar, Estación Experimental Yaracuy, Colombia. *FONAIAP Divulga N°20*, 27-63.
- Martínez, L. (2009). *Estudio de la calidad agronómica del agua de riego de las Islas Baleare, España*. Recuperado el 1 de Noviembre de 2014, de http://dgrechid.caib.es/www/doc/AIGUES_SUBTERRANIES_1.pdf
- Mejía, M. (2005). Análisis de la calidad del agua para consumo humano y percepción local de las tecnologías apropiadas para su desinfección a escala domiciliaria, en la microcuenca El Limón, San Jerónimo, Honduras, Turrialba, Tesis de Magister. Costa Rica.
- Menares, F. (2008). *Calidad del agua: marco teórico, jurídico, onstitucional y tecnolóligo para la prevención y mitigación de la contaminación de las aguas de riego*. Chile.
- Méndez, R. I. (1986). *El protocolo de investigación, lineamientos para su elaboración y análisis*, 210 pp. México: Editorial Trillas.
- Millenarium, I. C. (1999). *Millenarium.com*. Recuperado el 2 de enero de 2014, de Salinidad de los suelos: <http://www.miliarium.com/Proyectos/SuelosContaminados/Manuales/Salinidadsuelos.asp>
- Mitchell et al, M. S. (1991). Manual de campo de proyecto del río. Una guía para monitorear la calidad del agua en el río Bravo. 2a ed. Proyecto del Río. 200 p. New México, US.
- Mitchell et al., M. S. (1991). . Manual de campo de proyecto del río. Una guía para monitorear la calidad del agua en el río Bravo. 2a ed. Proyecto del Río. 200 p. New México, US.
- Montico, S. (2002). Manejo integrado de Cuencas Hidrográficas Rurales: Base para el ordenamiento territorial. *Agromensajes*.
- Mota, J. (2011). *Química del medio Ambiente, España*. Granada: Universidad de Granada.
- Nolan, B. (1999). Nitrate behavior in ground waters of the southeastern USA. Reston. 28: . *Journal Environment Quality*, 1518-1527.
- NUTRITERRA. (2010). *Especialistas en Nutrición vegetal, Argentina, 1-7*. . Recuperado el 2014 de Octubre de 2014, de <http://www.nutriterra.com/>

- Odetti, H. B. (2006). *Introducción a la Química Inorgánica, Tercera edición corregida*, pp. 361. Argentina: Ediciones UNL.
- OMM. (1994). *Organización Meteorológica Mundial, Guía de Prácticas Hidrológicas*. OMM-Nº168.
- PASOLAC. (2006). *Guía técnica: Manejo y aprovechamiento de agua con fines agropecuarios. Guía Técnica Nº 532 Serie Técnica 9*. Recuperado el 02 de Marzo de 2014, de <http://www.pasolac.org.in>
- Paz et al., A. V. (2005). *Efecto de la calidad del agua de riego sobre algunas propiedades físicas y químicas de los suelos del sudeste bonaerense. Balcarce, Argentina*. Recuperado el 24 de enero de 2014, de <http://www.argenpapa.com>
- PDOT. (2012-2021). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Provincia del Guayas*. Guayas.
- PDOTM. (2011). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Milagro, Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón San Francisco de Milagro*. Recuperado el 19 de Junio de 2014, de <http://www.milagro.gob.ec/wp-content/.../08/plandedesarrolloyordenamiento.pdf>.
- Pérez, J. M. (2011). *Manual para determinar la calidad del agua para riego agrícola, Trabajo de Experiencia Recepcional*, p. 49. Veracruz, México.
- PNDR. (2011). *Plan Nacional de Riego y Drenaje*. Recuperado el 12 de 04 de 2013, de PNRD 2011-2026, <https://es.scribd.com/doc/96314887/PLAN-NACIONAL-DE-RIEGO-Y-DRENAJE>
- PNRD. (2011-2026). *Plan Nacional de Riego y Drenaje*. Recuperado el 23 de mayo de 2014, de <https://es.scribd.com/doc/96314887/PLAN-NACIONAL-DE-RIEGO-Y-DRENAJE>
- PNUMA. (2002). *Perspectivas del Medio Ambiente Mundial 2002*. Ediciones Mundi-Prensa.
- Porta et al., J. L.-A. (2013). *Edafología. Uso y protección del suelo*, 608p. Mundi-Prensa.
- Prieto, D. (2008). *Riego con aguas salinas y aguas de drenaje, control de impacto de salinidad*, . Red Riegos. . *Jornadas sobre "Ambiente y Riegos: Modernización y Ambientalidad"*. La Antigua (Guatemala).: CYTED y AECID.
- Ramakrishna, B. (1997). *Estrategiael manejo intefrado de cuencas hidrográficas: conceptos y experiencias*. San José: IICA.
- Ramírez, G. J. (2009). *Índices de salinidad de la red hidrográfica del estado de Morelos, México*, Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México, México.

- Richards et al., L. A. (1959). Suelos Salinos y Sódicos. Personal del Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos de América. No. 60. *Manual de Agricultura*, 172.
- Rodríguez, R. d. (2000). Aportaciones al conocimiento del estado medioambiental de hidrosistemas de interés internacional situados en Castilla de la Mancha, Tesis Universidad de la Castilla, 584 p. La Mancha, España.
- Ruiz A., M. J. (2010). *Automatización y telecontrol del sistema de riego*, Primera edición, pp 409. Barcelona: Marcombo Ediciones Técnicas.
- Ruiz, R. T. (2008). *Manual de Procedimientos de Delimitación y Codificación de Unidades Hidrográficas, Caso América del Sur*, UICN Sur, 39 p.
- Saltos, N. V. (2009). Ecuador: su realidad, 7 ed. Quito, Ec, . *Fundación de Investigación y Promoción Social "José Peralta"*, 201.
- Sánchez, F. J. (2004). *Medidas puntuales de permeabilidad*. Universidad de Salamanca. Recuperado el 10 de enero de 2014, de <http://web.usual.es/javisan/hidro>.
- Sawyer C., McCarthy P. (1978). *Chemistry for environmental engineering*, 3th Edition. pp. 742. USA: Mc Graw Hill Internationa.
- SENAGUA. (2009). *Secretaría Nacional del Agua, Problemática y Conflictos sobre los Recursos Hídricos por efectos del cambio Climático, Resumen ejecutivo*. Quito.
- SENPLADES. (2010). *Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo, Documento Técnico de Estudio Sobre el Cantón Milagro, censo número 3*. Quito.
- Shannon y Grieve, C. M. (1999). Tolerance of vegetable crops to salinity. 78. *Scientia Horticulturae*, 5-38.
- SMART. (2013). *SMART GROWING INTELLIGENTLY*. Recuperado el 26 de diciembre de 2013, de www.smart-fertilizer.com.
- Suarez, D. L. (1981). Relation between pH and Sodium Absorption Ratio (SAR) and a alternate method of estimating SAR of soil or drainage Waters, , 45,. *Soil Science Society of America*, 469-475.
- Tanwar, B. S. (2003). *Saline water management for irrigation. International Commission on irrigation and drainage. India*. 140 p. . New Delhi,.
- Thompson y Troeh. (1988). Los suelos y su fertilidad, Cuarta edición, España. Barcelona: Editorial Reverté.
- Tijerina Chávez L., y. C. (2003). *Metodología para la Estimación del Requerimiento de Riego en Base a Funciones de Producción, México*. Recuperado el 20 de marzo de 2014, de <http://www.cm.colpos.mx/meteoro/progde/agm/crieg2.doc>.

- Torrecilla et al., T. D. (2010). Interpolación espacial y visualización cartográfica para el análisis de la justicia ambiental. *Tecnologías de la Información Geográfica: La Información Geográfica al servicios de los ciudadanos*. Secreta. 691-715.
- Torres et al., M. Á. (2012). Riego complementario en un argiudol típico de la pampa ondulada Argentina bajo siembra directa: efectos sobre algunas propiedades químicas y físicas del suelo. *Asociación Argentina Ciencia del suelo*, 202-207.
- UNESCO. (2003). *Agua para todos agua para la vida Boletín informativo*. Mundi Prensa.
- UNESCO. (2003). *Agua para todos, agua para la vida*. Mundi Prensa.
- USDA. (2013). *United States Department of Agriculture*.
- Uvalle et al., J. O. (2000). Memorias del curso de análisis de agua, suelo y planta, su interpretación y utilidad agrícola, Capítulo XI., p 8. *Calidad del agua para riego agrícola* (pág. 8). Guayaquil: FUNPROVER.
- Valderrama, J. (2001). Información tecnológica, Centro de Información Tecnológica,, Vol. 12, N°6, pp 192. Chile.
- Valdés. (2004). *Prevención y control de obturaciones en equipos de riego tecnificado*. Chile: INIA.
- Valencia y Proaño. (2006). Programación del riego para el cultivo de tomate mediante la tina de evaporación y tres tensiones de humedad del suelo en la zona de Milagro, Provincia del Guayas. *X Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo.*, (pág. 16). Guayaquil.
- Valencia, N. A. (2009). Campaña publicitaria para la difusión de los principales Productos agrícolas de la ciudad de Milagro. Milagro, Ecuador.
- Valverde, J. C. (1998). *Agua y Drenaje, Primera edición*, . , Costa Rica, pp.218. San José: Editorial universidad estatal a distancia.
- Velásquez et al. (2002). Relación Funcional PSI-RAS en las Aguas Residuales y Suelos del Valle del Mezquital, Hidalgo, México.
- Ventura, M. (2012). *Hidrogeoquímica de aguas subterráneas*. . Recuperado el 22 de diciembre de 2014, de <https://es.scribd.com/doc/.../Hidrogeoquimica-Aguas-Subterraneas>
- Vilela. (2003). Usos predominantes de la tierra y la calidad del agua en la Cuenca del río Gama, Tesis de Mag. Sc. Turrialba. Distrito Federal de Brasil,, Brasi: Cr. CATIE.

Villegas, J. (1995). Evaluación de la calidad de agua en la cuenca del Río Reventado, Cartago, Costa Rica, Bajo el enfoque de indicadores de sostenibilidad. Tesis de Mag. Sc. Turrialba, 118 p. Cartago, Costa Rica: CR, CATIE.

WORD, V. (2014). *Manual de Manejo de Cuencas*. Canadá.

Yokoi et al., S. B. (2002). *Salt stress tolerance of plants. JIRCAS WorkingReport 25-23. Edafologia*. Recuperado el 27 de diciembre de 27, de ugr.es/conta/tema12/sales.htm

Zweig et al., R. D. (1999). Source water quality for aquaculture. A guide for assessment. 74 pp. The World Bank.

ABREVIATURAS

CE Conductividad eléctrica

CEa Conductividad eléctrica del agua

STD Sólidos totales disueltos

RAS Relación de adsorción de sodio

RAS_{orig} Relación de adsorción de sodio original

RAS_{aj} Relación de adsorción de sodio ajustado

RAS° Relación de adsorción de sodio corregido

IS Índice de salinidad

STD Sólidos totales disueltos

N-NO₃ Nitrógeno en forma de nitrato, expresado en términos de nitrógeno elemental

P-PO₄ Fósforo en fosfato, expresado como fósforo elemental.

PS Porcentaje de Sodio

PSE Porcentaje de Sodio en Exceso

PSA Porcentaje de Sodio Activo

CSR Carbonato Sódico Residual

PSI Porcentaje de sodio intercambiable

ISL Índice de Saturación de Langelier

ANEXO 1

Cuadro 1. Criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola

PARÁMETRO	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE PERMISIBLE
Aluminio	Al	mg/L	5,0
Arsénico (total)	As	mg/L	0,1
Bario	Ba	mg/L	1,0
Berilio	Be	mg/L	0,1
Boro (total)	B	mg/L	1,0
Cadmio	Cd	mg/L	0,01
Carbamatos totales	Concentración total de carbamatos	mg/L	0,1
Cianuro (totales)	CN ⁻	mg/L	0,2
Cobalto	Co	mg/L	0,05
Cobre	Cu	mg/L	2,0
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/L	0,1
Fluor	F	mg/L	1,0
Hierro	Fe	mg/L	5,0
Litio	Li	mg/L	2,5
Materia flotante	Visible		Ausencia
Manganeso	Mn	mg/L	0,2
Molibdeno	Mo	mg/L	0,01
Mercurio (total)	Hg	mg/L	0,001
Niquel	Ni	mg/L	0,2
Órganofosforados (totales)	Concentración de órganofosforados totales	mg/L	0,2
Órgano clorados (totales)	Concentración de organoclorados totales	mg/L	0,2
Plata			
Potencial Hidrógeno	pH		6-9
Plomo	Pb	mg/L	0,05
Selenio	Se	mg/L	0,02
Sólidos disueltos totales		mg/L	3000,0 Mínimo 2.0 m
Transparencia de las aguas medidas con el disco secchi	V	mg/L	0,1
Vanadio	Sustancia solubles en hexano	mg/L	0,3
Aceites y grasas	Nmp/100mL		1000
Coliformes totales		huevos/L	0
Huevos de parásitos	Zn	mg/L	2,0
Zinc			

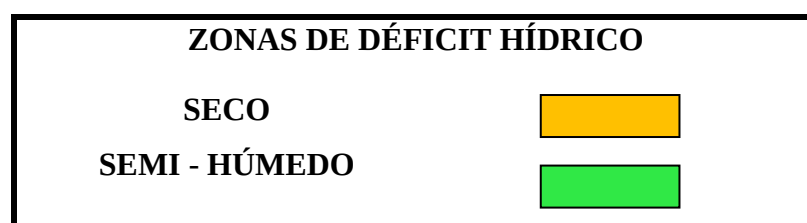
Fuente: Libro VI Anexo 1 NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA

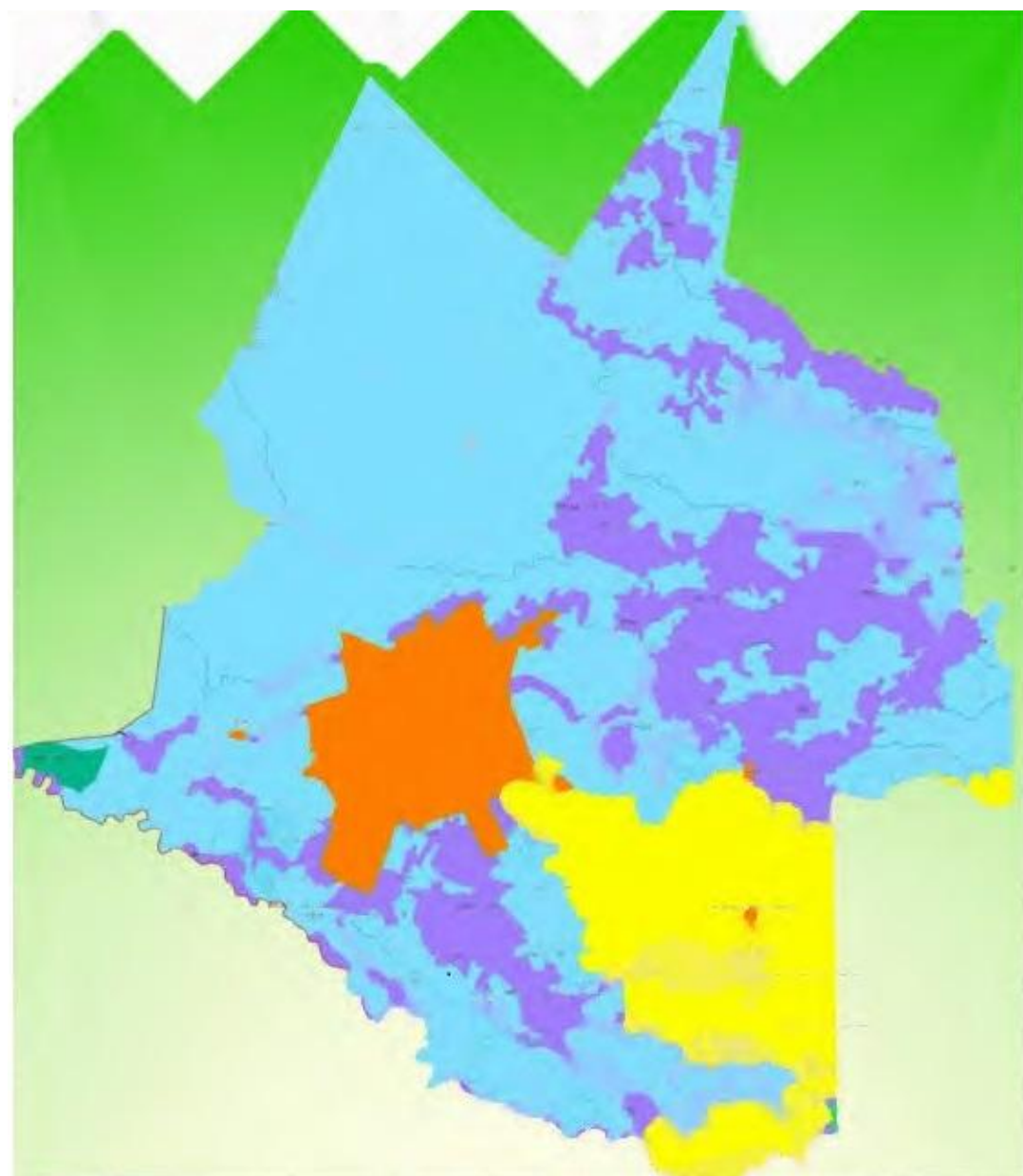
ANEXO 2. Descripción de las propiedades físicas del agua de riego del muestreo en época de precipitaciones.

No.	pH	CE $\mu\text{S cm}^{-1}$	$\text{mmol}_e \text{L}^{-1}$						mg L^{-1}					%	RAS _{orig}	IS	RAS _{aj}	RAS ^o
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Suma	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Suma	STD					
1	7,6	94,8	0,66	0,16	0,07	0,06	0,95	0,00	0,46	0,41	0,08	0,95	436	0,05	0,11	-0,56	0,05	0,03
2	7,8	45,0	0,21	0,08	0,11	0,03	0,43	0,00	0,24	0,16	0,03	0,43	284	0,00	0,29	-1,72	-0,21	0,12
3	8,0	102,0	0,60	0,35	0,06	0,03	1,04	0,00	0,49	0,41	0,14	1,04	508	0,00	0,09	-0,54	0,04	0,05
4	7,6	95,1	0,60	0,27	0,06	0,03	0,96	0,00	0,44	0,40	0,13	0,96	446	0,13	0,09	-0,65	0,03	0,05
5	7,6	96,0	0,41	0,46	0,08	0,03	0,98	0,00	0,35	0,48	0,16	0,98	476	0,17	0,12	-1,13	-0,02	0,07
6	7,7	98,5	0,48	0,40	0,08	0,05	1,01	0,00	0,46	0,41	0,13	1,00	424	0,26	0,12	-0,73	0,03	0,08
7	8,1	41,9	0,23	0,11	0,03	0,03	0,40	0,00	0,15	0,17	0,09	0,40	230	0,42	0,07	-1,60	-0,04	0,03
8	8,1	41,6	0,24	0,10	0,03	0,03	0,40	0,00	0,14	0,18	0,08	0,40	178	0,44	0,07	-1,88	-0,06	0,03
9	8,2	42,7	0,24	0,10	0,05	0,03	0,42	0,00	0,11	0,21	0,10	0,41	156	1,10	0,12	-1,95	-0,11	0,04
10	8,4	41,4	0,23	0,10	0,05	0,02	0,40	0,00	0,13	0,16	0,10	0,39	176	0,70	0,12	-1,92	-0,11	0,04
11	7,7	53,5	0,33	0,10	0,05	0,04	0,52	0,00	0,15	0,24	0,13	0,51	266	0,68	0,11	-1,46	-0,05	0,04
12	7,7	55,2	0,37	0,10	0,04	0,03	0,54	0,00	0,15	0,32	0,08	0,55	250	0,54	0,08	-1,39	-0,03	0,03
13	7,8	28,1	0,21	0,04	0,02	0,02	0,29	0,00	0,10	0,12	0,08	0,29	112	0,49	0,06	-1,94	-0,05	0,02
14	7,9	28,0	0,22	0,03	0,03	0,01	0,29	0,00	0,05	0,19	0,06	0,30	100	1,62	0,08	-2,12	-0,10	0,02
15	8,0	45,8	0,27	0,13	0,03	0,03	0,46	0,00	0,13	0,24	0,10	0,47	120	0,62	0,07	-1,86	-0,06	0,02
16	7,8	48,0	0,25	0,19	0,04	0,03	0,51	0,00	0,12	0,35	0,04	0,51	248	0,36	0,09	-1,72	-0,06	0,03
17	7,6	49,1	0,27	0,12	0,04	0,05	0,48	0,00	0,13	0,23	0,13	0,49	164	1,14	0,09	-1,86	-0,08	0,03
18	7,3	51,2	0,38	0,10	0,04	0,02	0,54	0,00	0,22	0,17	0,13	0,52	234	1,62	0,08	-1,49	-0,04	0,03
19	5,2	71,3	0,50	0,10	0,05	0,02	0,67	0,00	0,27	0,29	0,11	0,67	338	0,28	0,09	-1,11	-0,01	0,04
20	7,4	51,0	0,35	0,10	0,04	0,03	0,52	0,00	0,23	0,16	0,12	0,52	242	0,33	0,08	-1,52	-0,04	0,04
21	7,2	52,8	0,33	0,08	0,04	0,03	0,48	0,00	0,16	0,22	0,10	0,48	202	0,38	0,09	-1,68	-0,06	0,03
22	7,3	54,4	0,35	0,11	0,04	0,04	0,54	0,00	0,30	0,14	0,10	0,54	200	0,17	0,08	-1,13	-0,01	0,04
23	7,1	61,1	0,41	0,10	0,04	0,02	0,57	0,00	0,17	0,29	0,10	0,56	176	0,93	0,08	-1,53	-0,04	0,03
24	7,3	58,2	0,39	0,14	0,04	0,03	0,60	0,00	0,08	0,15	0,37	0,59	264	0,72	0,08	-1,78	-0,06	0,02
25	8,1	60,3	0,53	0,03	0,04	0,03	0,63	0,00	0,19	0,29	0,15	0,63	194	0,01	0,08	-1,00	0,00	0,03
26	8,1	59,5	0,53	0,03	0,04	0,02	0,62	0,00	0,30	0,18	0,14	0,61	154	0,60	0,08	-0,78	0,02	0,03
27	7,9	58,1	0,37	0,11	0,04	0,03	0,55	0,00	0,22	0,24	0,09	0,55	608	0,35	0,08	-1,51	-0,04	0,03
28	7,8	41,9	0,32	0,02	0,03	0,02	0,39	0,00	0,14	0,15	0,11	0,40	525	0,83	0,07	-1,70	-0,05	0,02
29	7,5	52,9	0,30	0,13	0,09	0,04	0,56	0,00	0,23	0,24	0,08	0,55	338	0,91	0,19	-1,40	-0,08	0,08
30	7,3	42,5	0,25	0,12	0,03	0,02	0,42	0,00	0,10	0,25	0,08	0,43	168	0,73	0,07	-1,50	-0,03	0,02
31	7,7	388,5	3,13	0,70	0,11	0,06	4,00	0,00	0,44	0,76	2,80	4,00	193	0,02	0,08	-0,02	0,08	0,06
32	7,3	93,9	0,83	0,07	0,03	0,02	0,95	0,00	0,28	0,48	0,19	0,95	256	0,26	0,04	-0,86	0,01	0,02
33	7,0	294,5	2,14	0,44	0,11	0,09	2,78	0,00	0,13	0,51	2,15	2,79	532	0,17	0,10	-0,89	0,01	0,04
34	7,5	96,7	0,64	0,25	0,03	0,02	0,94	0,00	0,48	0,38	0,10	0,96	308	0,79	0,04	-0,53	0,02	0,03
35	7,6	53,7	0,51	0,03	0,02	0,01	0,57	0,00	0,19	0,30	0,08	0,57	144	0,28	0,04	-1,01	0,00	0,01
36	7,2	61,9	0,52	0,03	0,03	0,02	0,60	0,00	0,32	0,19	0,10	0,61	210	0,47	0,06	-0,76	0,01	0,03
37	7,4	78,1	0,63	0,14	0,03	0,01	0,81	0,00	0,30	0,44	0,06	0,80	230	0,40	0,05	-0,70	0,01	0,02
38	8,1	66,5	0,55	0,05	0,02	0,02	0,64	0,00	0,18	0,31	0,15	0,65	144	0,65	0,04	-1,00	0,00	0,01
39	7,7	29,6	0,22	0,04	0,02	0,02	0,30	0,00	0,09	0,10	0,12	0,30	278	0,62	0,06	-1,88	-0,05	0,02
40	7,8	36,1	0,29	0,03	0,02	0,02	0,36	0,00	0,16	0,12	0,08	0,36	142	0,51	0,05	-1,72	-0,04	0,02
Dest. Est.	0,5	66,5	0,53	0,14	0,02	0,02	0,67	0,00	0,12	0,14	0,53	0,67	131,00	0,39	0,04	0,52	0,05	0,02
CV	0,1	0,9	1,04	0,99	0,54	0,51	0,92		0,55	0,50	2,32	0,92	0,49	0,76	0,50	-0,39	-1,70	0,58
Media	7,6	73,0	0,51	0,14	0,05	0,03	0,73	0,00	0,22	0,28	0,23	0,73	266,32	0,52	0,09	-1,31	-0,03	0,04
Mediana	7,7	54,0	0,37	0,10	0,04	0,03	0,55	0,00	0,19	0,24	0,10	0,55	232,00	0,45	0,08	-1,47	-0,04	0,03
Mínimo	5,2	28,0	0,21	0,02	0,02	0,01	0,29	0,00	0,05	0,10	0,03	0,29	100,00	0,00	0,04	-2,12	-0,21	0,01
Máximo	8,4	388,5	3,13	0,70	0,11	0,09	4,00	0,00	0,49	0,76	2,80	4,00	608,00	1,62	0,29	-0,02	0,08	0,12
Moda			0,21	0,10	0,04	0,03	0,40	0,00	0,13	0,41	0,08				0,07	-1,86		0,03

ANEXO 3. Descripción de las propiedades físicas del agua de riego en época de estiaje.

No.	pH	CE		mmol L ⁻¹							mg L ⁻¹				% error	RAS _{orig}	IS	RAS _{aj}	RAS ^o
		μS cm ⁻¹	dS m ⁻¹	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Suma	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Suma	STD					
1	7,6	699,0	0,699	1,44	1,68	2,51	1,27	6,90	0,00	5,43	0,83	0,63	6,90	416	0,02	2,01	6,20	14,47	0,92
2	7,5	334,5	0,335	0,46	0,53	1,84	0,48	3,31	0,00	0,69	2,51	0,10	3,30	250	0,18	2,62	8,40	24,58	1,76
3	7,5	659,0	0,659	1,35	1,54	2,43	1,18	6,50	0,00	5,21	1,28	0,01	6,50	354	0,01	2,02	6,20	14,55	1,81
4	7,5	649,0	0,649	1,33	1,52	2,40	1,16	6,41	0,00	1,93	2,55	1,93	6,41	408	0,04	2,01	6,20	14,48	1,78
5	7,4	674,0	0,674	1,38	1,57	2,52	1,23	6,70	0,00	2,47	2,57	1,67	6,70	398	0,02	2,07	6,20	14,94	1,89
6	7,4	781,5	0,782	1,65	1,86	2,82	1,47	7,80	0,00	2,50	2,80	2,50	7,80	464	0,00	2,13	3,59	9,76	2,07
7	7,6	290,0	0,290	0,65	0,66	1,08	0,52	2,91	0,00	0,14	2,62	0,14	2,90	226	0,20	1,33	2,10	4,14	0,88
8	6,7	573,0	0,573	1,25	1,55	1,78	1,11	5,69	0,00	2,93	1,43	1,33	5,70	238	0,06	1,50	3,00	6,02	1,24
9	7,5	290,0	0,290	0,68	0,67	1,06	0,50	2,91	0,00	2,78	0,02	0,10	2,90	102	0,20	1,29	6,20	9,29	0,78
10	7,4	448,0	0,448	1,00	1,08	1,51	0,81	4,40	0,00	0,92	3,37	0,12	4,40	290	0,04	1,48	-0,13	1,29	1,10
11	7,2	378,5	0,379	0,83	0,86	1,32	0,69	3,70	0,00	0,43	3,23	0,03	3,70	234	0,05	1,44	2,83	5,50	0,94
12	7,5	346,0	0,346	0,76	0,78	1,26	0,60	3,40	0,00	1,60	1,00	0,80	3,40	254	0,00	1,44	6,20	10,34	0,89
13	7,4	365,5	0,366	0,82	0,84	1,28	0,66	3,60	0,00	1,67	1,07	0,87	3,60	236	0,05	1,40	6,30	10,26	0,92
14	7,1	379,0	0,379	0,82	0,86	1,33	0,69	3,70	0,00	0,09	3,57	0,04	3,70	260	0,02	1,45	2,14	4,56	0,78
15	5,1	385,5	0,386	0,71	0,75	1,31	1,03	3,80	0,00	0,59	3,17	0,04	3,80	146	0,02	1,53	6,20	11,04	0,96
16	7,1	379,0	0,379	0,82	0,87	1,33	0,69	3,71	0,00	2,83	0,80	0,07	3,71	174	0,07	1,45	3,67	6,75	0,96
17	7,1	390,5	0,391	0,87	0,92	1,39	0,73	3,91	0,00	3,77	0,12	0,02	3,90	158	0,09	1,47	2,85	5,65	1,09
18	7,2	458,5	0,459	1,01	1,09	1,54	0,86	4,50	0,00	2,95	1,50	0,05	4,50	20056	0,00	1,50	6,20	10,82	1,08
19	7,2	464,0	0,464	1,03	1,14	1,56	0,87	4,60	0,00	2,58	1,03	0,98	4,60	184	0,04	1,50	6,20	10,78	1,24
20	7,2	433,0	0,433	0,98	1,04	1,47	0,81	4,30	0,00	3,23	0,65	0,42	4,31	176	0,06	1,46	6,20	10,53	1,08
21	7,7	448,5	0,449	1,03	1,11	1,45	0,81	4,40	0,00	2,03	1,25	1,13	4,41	186	0,06	1,40	3,51	6,32	1,07
22	7,4	457,0	0,457	1,06	1,13	1,47	0,85	4,51	0,00	4,37	0,12	0,02	4,50	178	0,07	1,40	6,20	10,11	1,00
23	7,7	458,0	0,458	1,06	1,15	1,46	0,83	4,50	0,00	4,33	0,13	0,03	4,50	148	0,04	1,39	6,20	10,00	1,14
24	7,7	290,0	0,290	0,68	0,66	1,06	0,50	2,90	0,00	2,83	0,05	0,02	2,91	204	0,09	1,29	3,67	6,04	0,75
25	7,2	456,0	0,456	0,96	1,22	1,45	0,86	4,49	0,00	4,35	0,10	0,05	4,50	912	0,11	1,39	3,84	6,72	0,77
26	7,1	2050,5	2,051	5,03	5,00	8,36	2,10	20,49	0,00	10,96	4,98	4,56	20,50	772	0,03	3,73	6,03	26,24	3,97
27	6,9	1878,5	1,879	4,58	4,96	6,86	2,31	18,71	0,00	5,63	7,43	5,63	18,70	244	0,04	3,14	6,07	22,21	2,28
28	7,4	527,5	0,528	1,14	1,43	1,57	1,06	5,20	0,00	4,37	0,47	0,37	5,20	184	0,03	1,38	6,20	9,97	1,17
29	7,5	456,0	0,456	1,10	1,17	1,43	0,80	4,50	0,00	1,27	1,97	1,27	4,50	96	0,04	1,34	0,05	1,41	1,87
30	7,2	518,0	0,518	0,91	0,99	2,33	0,86	5,09	0,00	4,87	0,17	0,07	5,10	168	0,13	2,39	6,20	17,21	3,31
31	7,7	480,0	0,480	0,80	0,80	2,36	0,84	4,80	0,00	4,63	0,13	0,03	4,80	193	0,03	2,64	2,82	10,08	3,73
32	7,3	253,5	0,254	0,34	0,38	1,42	0,36	2,50	0,00	1,88	0,13	0,48	2,50	256	0,07	2,37	6,20	17,04	1,01
Dest. Est.	0,5	392,4	0,4	0,99	1,03	1,55	0,42	3,92	0,00	2,16	1,68	1,31	3,92	3501,26	0,05	0,60	2,05	6,01	0,84
CV	0,1	0,7	0,7	0,82	0,78	0,76	0,46	0,72		0,72	1,01	1,64	0,72	3,92	0,90	0,33	0,43	0,56	0,58
Media	7,3	551,6	0,6	1,20	1,31	2,03	0,92	5,46	0,00	3,01	1,66	0,80	5,46	892,66	0,06	1,78	4,80	10,72	1,44
Mediana	7,4	456,0	0,5	0,99	1,09	1,47	0,84	4,50	0,00	2,81	1,16	0,13	4,50	235,00	0,04	1,47	6,20	10,10	1,08
Mínimo	5,1	253,5	0,3	0,34	0,38	1,06	0,36	2,50	0,00	0,09	0,02	0,01	2,50	96,00	0,00	1,29	-0,13	1,29	0,75
Máximo	7,7	2050,5	2,1	5,03	5,00	8,36	2,31	20,49	0,00	10,96	7,43	5,63	20,50	20056,00	0,20	3,73	8,40	26,24	3,97
Moda	7,5	290,0	0,3	0,82	0,66	1,06	0,81	4,50	0,00	2,83			4,50	184,00	0,00		6,20		

ANEXO 4. Cartografía básica tomada de PDOTM, 2011**MAPA DE DÉFICIT HÍDRICO**



NIVEL LOGERAMENTE ONDULADO		NIVEL ABANDONADO CON PRESENCIA DE AGUA	
DIQUE O BANCO ALUVIAL		CERRO TESTIGO	
SUPERFICIE O CONO DE ESPARCIMIENTO		CAUCE ABANDONADO	

MAPA GEOMORFOLÓGICO

ANEXO 5. Fotos del muestreo de aguas del cantón Milagro



1- Bananera José Álvarez



2- Pozo Bananera José Álvarez



3- Drenaje de Bananera antes del rio Belin



4- Puente del rio Belin



5- Descarga UNEMI rio Belin



6- Final del rio Belin



7- Rio Milagro puente Mariscal Sucre



8- Recinto la Violeta, las cataratas balneario



9- Rio Milagro puente la Chontilla



10- Canal Puente de la Chontilla



11- Estero 100 camas segundo puente



12- Estero 100 camas primer puente



13- Pozo de las 100 camas prof.130 m, después de tanque de depuración

14- Pozo de las 100 camas prof. 130 m, agua cruda



15- Río Milagro (Puente la Policía línea del tren)



16- Río Milagro (Puente Piñas)



17- Río Milagro (Puente en el centro de Milagro)



18- Río Milagro salida del canal municipal



19- Agua de riego mezclada con vinaza campo ingenio Valdez entrada al camal



20- Río Milagro pasando camal y descarga de la ciudad



21- Río Milagro entrada Chobo las Avispas



22- Río Milagro puente ingenio Luz María El Chobo



23- Río Milagro en El Chobo



24- Río Milagro en puente recinto El Condor



25- Río Monos aguas más arriba



26- Río Monos aguas arriba



27- Puente río Los Monos



28- Arroyo Las Maravillas Piñolal, extensión Río Milagro



29- Canal de riego las lomas del valle ingenio Valdes



30- Canal de riego predios ingenio Valdes entrada a Milagro



31- Pozo en Banco de Arena km 6 1/2 fabrica Proquiandinos



32- Pozo en residencia de Jhony Ermida prof. 35 m



33- Pozo en Banco de Arena (Jorge Montenegro) prof. 30 m



34- Pozo en Banco de Arena (Cesareo Ermide)



35- Estero Arroyo Carrizal



36- Pozo San Diego de Carrizal prof. 60 m



37- Las Palomas Agua de consumo humano pozo prof. 70 m



38- Recinto El Paraíso pozo de 90 m de prof.



39- Pozo de abastecimiento de agua potable norte



40- Pozo UNEMI Prof. 80 m