

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**

**DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD AGRÍCOLA DE LOS  
SUELOS EN LA ZONA DEL PROYECTO PROPÓSITO MÚLTIPLE  
CHONE FASE II**

**TESIS DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
MAGISTER EN AMBIENTAL**

**MARTHA ELIZABETH PAZMIÑO MONTERO**  
**marthaepazmino@gmail.com**

**DIRECTOR: ING. DAVID CARRERA VILLACRÉS PhD.**  
**dvcarrera@espe.edu.ec**

**Quito, septiembre 2018**

## DECLARACIÓN

Yo, Martha Elizabeth Pazmiño Montero declaro que el trabajo aquí escrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

---

Martha Elizabeth Pazmiño Montero

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por la Ingeniera Martha Elizabeth Pazmiño Montero, bajo mi supervisión.

---

Ing. David Carrera Villacrés PhD.

**DIRECTOR DE PROYECTO**

## AGRADECIMIENTOS

Gracias Señor por la vida, por la oportunidad de seguir adelante con mis sueños y por tener a mi lado a mis motores y mis alegrías, mi familia completa.

Gracias a la Ing. Paulina Guevara. Gracias amiga por haber dedicado tu tiempo a instruirme y a ayudarme a descubrir e identificar una serie de enigmas que se presentaron en mi camino. Gracias por tu disponibilidad constante. Gracias por hacer que este camino sea menos difícil. Me haces mucha falta.

Gracias a la Ing. Natalia Delgado. Gracias amiga mía por todo el tiempo dedicado a esta causa común. Gracias por tus consejos y por todo lo que me enseñaste. Gracias por tu disposición permanente y por darme una mano gigante siempre que lo necesitaba. Ocupas un lugar muy importante en mi corazón.

Gracias al Dr. David Carrera. Gracias amigo por tu paciencia. Gracias por hacer que vaya un poco más allá y que trate de explicar lo que a veces para mí era desconocido.

Gracias a los Ing. Hugo Bonifaz y Juan Haro. Gracias amigos por su predisposición a brindarme su ayuda incondicional.

Gracias a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por permitirme dedicar mi tiempo a la investigación y por poner a mi disposición los laboratorios de Suelos y de Medio Ambiente para la realización de los ensayos necesarios para esta investigación.

Gracias a mi familia completa, a mis amigas y a mis amigos que, con sus palabras de aliento y consuelo, me dieron un empujoncito para seguir adelante.

Gracias a Raúl, Raúl Eduardo y Andreita por estar siempre a mi lado y por ser mi aliento constante para no desmayar.

Martha Liz

## DEDICATORIA

A Raúl, Raúl Edu y Andreita, mis motores, mi razón de vivir. Les dedico este trabajo. Ustedes más que nadie han sido testigos de los días empleados en seguir este camino. Ustedes han sabido ser mi apoyo y mi alegría. Ustedes saben cuan duro ha sido el completar este reto.

A Raúl, amor de mi vida, tu constancia y tu ejemplo son siempre mi norte. Tú eres en gran parte el artífice de mis logros.

A mis pedacitos de cielo, Raúl Edu y Andreita, esto es para ustedes. Sigán adelante con sus sueños, nunca desmayen. Recuerden que todo es posible.

A mis papis, Eduardo y Marthita. Cada uno en su espacio ha contribuido para que yo sea lo que soy ahora.

A mis hermanas queridas, su fuerza es mi inspiración constante.

A todos ustedes, va dedicado este trabajo, fruto de muchas horas de esfuerzo, de dedicación, de horas de angustia, de encontrarme sin salida. Gracias por estar siempre ahí para mí.

Les amo con todo mi corazón.

Martha Liz

## CONTENIDO

CONTENIDO.....	V
INDICE DE TABLAS .....	IX
INDICE DE FIGURAS .....	XII
PRESENTACIÓN.....	XV
RESUMEN .....	XVI
CAPITULO 1 .....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 JUSTIFICACIÓN .....	1
1.2 OBJETIVO GENERAL.....	2
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	2
1.4 ALCANCE .....	3
1.5 HIPOTESIS .....	4
CAPITULO 2 .....	5
MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 EL SUELO AGRÍCOLA EN EL ECUADOR.....	5
2.2. USO DEL SUELO AGRÍCOLA EN MANABÍ.....	6
2.2 CLASIFICACION DE LOS SUELOS EN LA ZONA DE RIEGO DE LA SEGUNDA FASE DEL PPMCH.....	7
2.3 PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO .....	8
2.3.1 CAPACIDAD DE CAMPO Y PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE... 9	9
2.3.2 POROSIDAD.....	12
2.3.3 DENSIDAD APARENTE .....	13
2.3.4 DENSIDAD REAL O DE LAS PARTÍCULAS .....	13
2.3.5 CONTENIDO DE HUMEDAD EN EL SUELO .....	14
2.4 PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO .....	15
2.4.1 pH.....	16
2.4.2 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA .....	17

2.4.3	MATERIA ORGÁNICA .....	18
2.5	RELACIÓN ENTRE EL AGUA DE RIEGO Y EL EXTRACTO DE SATURACIÓN DEL SUELO .....	19
2.6	SALINIZACIÓN DEL SUELO.....	22
2.7.1	SUELOS SALINO - SÓDICOS .....	26
2.7	EFFECTOS DE LAS SALES EN LOS CULTIVOS .....	27
2.8	TOXICIDAD POR IONES ESPECÍFICOS.....	28
2.8.1	SODIO.....	29
2.8.2	CLORUROS .....	30
2.8.3	BORO.....	30
2.11	RELACIÓN DE ADSORCIÓN DE SODIO (RAS) .....	32
2.11.1	SALINIDAD POTENCIAL.....	38
2.11.2	SALINIDAD EFECTIVA .....	39
2.12	PROBLEMAS DE INFILTRACIÓN.....	40
	CAPITULO 3 .....	42
	MATERIALES Y MÉTODOS .....	42
3.1	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	42
3.2.	DESCRIPCIÓN GEOGRÁFICA DE LA CIUDAD DE CHONE .....	43
3.3	LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO PROPÓSITO MÚLTIPLE CHONE.....	44
3.4	DISEÑO DEL PLAN DE MUESTREO.....	46
3.4.1	DETERMINACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO .....	47
3.4.2	CONSIDERACIONES PARA LA TOMA DE MUESTRAS. MANEJO Y CONTROL.....	48
3.5	MÉTODOS PARA EL ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS DE SUELOS.....	50
3.6	ANÁLISIS GEOESTADISTICO DE DATOS.....	51
3.6.1	ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES.....	52
3.6.2	METODOLOGIA KRIGING PARA ANÁLISIS DE DATOS.....	53
3.6.3	METODOLOGÍA IDW PARA ANÁLISIS DE DATOS.....	54
	CAPITULO 4 .....	56
	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	56
4.1	NÚMERO DE PUNTOS DE MUESTREO .....	56

4.2 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS PERFILES DE SUELO .....	60
4.2.1 DENSIDAD APARENTE.....	60
4.2.2 DENSIDAD REAL .....	62
4.2.3 POROSIDAD .....	63
4.2.4 HUMEDAD .....	66
4.3 PROPIEDADES QUÍMICAS DE LOS PERFILES DE SUELO.....	69
4.3.1 CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS EN BASE AL pH Y A LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA .....	69
4.3.2 DISTRIBUCIÓN DE CATIONES Y ANIONES DEL MUESTREO.....	74
4.3.3 BALANCE DE ANIONES Y CATIONES .....	78
4.3.4 CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS EN BASE A LA SODICIDAD .....	83
4.3.5 CLASIFICACIÓN HIDROGEOQUÍMICA DE LOS SUELOS.....	86
4.3.6 CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS EN BASE A LOS PROBLEMAS DE INFILTRACIÓN .....	89
4.4 TOXICIDAD POR IONES ESPECÍFICOS.....	94
4.4.1 BORO.....	94
4.4.2 CLORUROS.....	95
4.4.3 SODIO.....	97
4.5 ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES .....	99
4.6 ANÁLISIS GEOESTADÍSTICO.....	101
4.6.1 ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS (AED).....	101
4.6.1.1 MÉTODO GRÁFICO (HISTOGRAMA).....	102
4.6.1.2 GRÁFICO Q-Q PLOT .....	104
4.6.1.3 DIAGRAMA DE CAJA .....	105
4.6.1.4 ANÁLISIS DE TENDENCIA.....	106
4.6.2 ANÁLISIS ESTRUCTURAL.....	108
4.6.2.1. SEMIVARIOGRAMA TEÓRICO .....	109
4.6.2.2. VALIDACIÓN CRUZADA .....	110
4.6.3 PREDICCIÓN CON EL MÉTODO KRIGING.....	111
4.6.3.1. ERRORES DE PRECISIÓN .....	112
4.6.3.2. MAPAS DE PREDICCIÓN .....	113
4.6.4 ANÁLISIS DETERMINÍSTICO. METODO IDW .....	116
4.6.4.1. VALIDACIÓN CRUZADA .....	116



4.6.4.2. ERRORES DE PREDICCIÓN .....	117
4.6.4.3. MAPA DE INTERPOLACIÓN .....	118
4.6.4.4. COMPARACIÓN DEL ERROR CUADRÁTICO MEDIO PARA DETERMINAR EL MEJOR INTERPOLADOR.....	120
CAPITULO 5 .....	130
PROPUESTA DE UN PLAN DE MANEJO Y MITIGACIÓN PARA LOS SUELOS DE LA ZONA DE RIEGO DEL PPMCH.....	130
5.1 LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RIO CHONE .....	130
5.2 EL RECURSO SUELO.....	131
5.3 EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA DEGRADACIÓN DEL SUELO.....	132
5.4 DIAGNÓSTICO Y ESTRATEGIAS PARA LA EJECUCIÓN DE ACTIVIDADES EN LA CUENCA .....	133
5.5 MEDIDAS DE MANEJO SOSTENIBLE DE LA TIERRA EN CULTIVOS. ....	134
5.5.1 MANTILLO Y RESIDUOS AGRÍCOLAS.....	134
5.5.2 ROTACIÓN Y DIVERSIFICACIÓN DE CULTIVOS.....	135
5.5.3 GESTIÓN DE FERTILIZANTES.....	136
5.5.4 MEDIDAS PARA EVITAR LA EUTROFIZACIÓN DEL EMBALSE Y SUS CONSECUENCIAS CON LOS SUELOS.....	137
5.6 MARCO LEGAL.....	138
5.6.1 CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR 2008.....	138
5.6.2 ACUERDO MINISTERIAL 045 DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE .....	139
5.6.3 ACUERDO MINISTERIAL 068 DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE .....	140
CONCLUSIONES.....	143
RECOMENDACIONES .....	147
ANEXOS .....	148
BIBLIOGRAFÍA .....	166

## INDICE DE TABLAS

TABLA 2.1 USOS DEL SUELO EN EL CANTON CHONE.....	7
TABLA 2.2 CONJUNTO DE INDICADORES FÍSICOS, PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD AGRÍCOLA DE LOS SUELOS.....	9
TABLA 2.3 CONJUNTO DE INDICADORES QUÍMICOS, PARA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD AGRÍCOLA DEL SUELO.....	15
TABLA 2.4 CLASIFICACIÓN DEL SUELO SEGÚN EL VALOR DE pH.....	17
TABLA 2.5 RELACIÓN ENTRE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Y SALINIDAD DEL SUELO.....	17
TABLA 2.6 PORCENTAJE DE M.O. DE ACUERDO A LA TEXTURA DEL SUELO CON CULTIVOS EN REGADÍO.....	19
TABLA 2.7 GUÍA PARA LA INTERPRETACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO.....	20
TABLA 2.8 ENSAYOS DE LABORATORIO NECESARIOS PARA EVALUAR LOS PROBLEMAS GENERADOS POR LA CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO.....	21
TABLA 2.9 CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS SALINOS.....	24
TABLA 2.10 CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS EN FUNCIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE).....	25
TABLA 2.11 PARÁMETROS DE LOS NIVELES GUÍA DE LA CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO. TOXICIDAD POR IÓN ESPECÍFICO.....	29
TABLA 2.2 VALORES PARA EL CÁLCULO DE $pH_c$ .....	34
TABLA 2.133 CONCENTRACIÓN DE CALCIO Ca QUE SERÁ RETENIDO EN EL SUELO SUPERFICIAL LUEGO DE SER IRRIGADO DADO POR LA RELACIÓN DE $HCO_3/Ca$ Y $C_{ea}$ .....	36
TABLA 2.14 CLASIFICACIÓN DEL AGUA DE RIEGO EN BASE AL CONTENIDO DE SODIO.....	37
TABLA 2. 45 CLASIFICACIÓN DEL AGUA SEGÚN EL ÍNDICE DE SALINIDAD POTENCIAL.....	39

TABLA 2. 56 CLASIFICACIÓN DEL AGUA SEGÚN EL INDICE DE SALINIDAD EFECTIVA.....	40
TABLA 3.1 METODOLOGÍA DE ANÁLISIS POR PARÁMETRO PARA LA DETERMINACIÓN DE CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE LAS MUESTRAS DE SUELO.....	50
TABLA 4. 6 LOCALIZACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO EN LA ZONA DE RIEGO DEL PPMCH.....	57
TABLA 4.2 CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS SEGÚN LA DENSIDAD APARENTE.....	60
TABLA 4.3 VALORES DE DENSIDAD APARENTE, DENSIDAD REAL Y POROSIDAD OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS DE LABORATORIO.....	61
TABLA 4.4 VALORES DE DENSIDAD REAL DE LOS PRINCIPALES MATERIALES Y HORIZONTES EDÁFICOS MODIFICADOS.....	63
TABLA 4.5 PORCENTAJE DE HUMEDAD OBTENIDOS DE LOS DATOS DE LABORATORIO.....	67
TABLA 4.6 VALORES DE pH Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN FUNCIÓN DE LOS EXTRACTOS DE SATURACIÓN, 1:5 Y 1:10.....	70
TABLA 4.7 COMPOSICIÓN IÓNICA DE SUELOS EN meq/L. SATURACIÓN.....	75
TABLA 4.8 COMPOSICIÓN IÓNICA DE SUELOS EN meq/L. EXTRACTO 1:5.....	76
TABLA 4.9 COMPOSICIÓN IÓNICA DE SUELOS EN meq/L. EXTRACTO 1:10.....	77
TABLA 4.10 PORCENTAJE PERMISIBLE DE DIFERENCIA EN LOS RESULTADOS ANALÍTICOS.....	78
TABLA 4.11 FACTORES DE CONDUCTIVIDAD EN IONES COMUNES EN AGUA.....	83
TABLA 4.12 CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS SEGÚN EL DIAGRAMA DE RICHARDS.....	84

TABLA 4.13 TOXICIDAD POR IONES ESPECÍFICOS. GRADOS DE AFECTACIÓN A PLANTAS SENSIBLES.....	94
TABLA 4.14 COMPONENTES PRINCIPALES.....	99
TABLA 4.15 ERRORES DE PREDICCIÓN MODELO KRIGING ORDINARIO SP.....	112
TABLA 4.16 COMPARACIÓN VALORES DE ECM ENTRE MÉTODOS KRIGING E IDW.....	121
TABLA 4.17 MEJOR INTERPOLADOR ENTRE MÉTODOS KRIGING E IDW.....	122

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1 CONDICIONES DE HUMEDAD PARA SUELOS DE DIFERENTES TEXTURAS.....	11
FIGURA 2.2 CURVA DE DISPONIBILIDAD DE AGUA. PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE Y CAPACIDAD DE CAMPO .....	12
FIGURA 2.3 DIAGRAMA DE RICHARDS PARA LA CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS DE RIEGO.....	38
FIGURA 2.4 DIAGRAMA PARA DETERMINAR LA REDUCCIÓN RELATIVA DE LA INFILTRACIÓN .....	41
FIGURA 3.1 UBICACIÓN DEL PROYECTO PROPÓSITO MÚLTIPLE CHONE (PPMCH).....	45
FIGURA 3.2 MODELOS DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE PUNTOS DE MUESTREO.....	48
FIGURA 4.1 UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO DE SUELOS EN LA ZONA DE RIEGO DEL PPMCH .....	59
FIGURA 4.2 CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS SEGÚN LA POROSIDAD .....	65
FIGURA 4.3 PORCENTAJE DE HUMEDAD DE LOS PERFILES DE SUELO ESTUDIADOS POR ÉPOCAS DE MUESTREO .....	68
FIGURA 4.4 MAPA DE pH DE LOS PERFILES DE SUELO ESTUDIADOS .....	72
FIGURA 4.5 MAPA DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DE LOS PERFILES DE SUELO ESTUDIADOS .....	73
FIGURA 4.6 CE vs ANIONES, AGOSTO 2014 .....	79
FIGURA 4.7 CE vs CATIONES, AGOSTO 2014 .....	79
FIGURA 4.8 CE vs ANIONES, ENERO 2016 .....	80
FIGURA 4.9 CE vs CATIONES, ENERO 2016 .....	80
FIGURA 4.10 CE vs ANIONES, AGOSTO 2016 .....	81
FIGURA 4.11 CE vs CATIONES, AGOSTO 2016 .....	81

FIGURA 4.12 DIAGRAMA DE RICHARD .....	85
FIGURA 4.13 DIAGRAMA DE PIPER .....	87
FIGURA 4.14 DIAGRAMA DE PIPER CON LOS PUNTOS DE MUESTREO DE SUELO .....	88
FIGURA 4.15 REDUCCIÓN RELATIVA DE LA INFILTRACIÓN PROVOCADA POR EL RAS ORIGINAL .....	91
FIGURA 4.16 REDUCCIÓN RELATIVA DE LA INFILTRACIÓN PROVOCADA POR EL RAS AJUSTADO .....	92
FIGURA 4.17 REDUCCIÓN RELATIVA DE LA INFILTRACIÓN PROVOCADA POR EL RAS CORREGIDO .....	93
FIGURA 4.18 MAPAS DE DISTRIBUCIÓN DE CLORUROS EN LA ZONA DE PPMCH .....	96
FIGURA 4.19 MAPAS DE DISTRIBUCIÓN DE SODIO EN LA ZONA DE PPMCH .....	98
FIGURA 4.20 ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES .....	100
FIGURA 4.21 HISTOGRAMA SALINIDAD POTENCIAL (SP) .....	103
FIGURA 4.22 DIAGRAMA DE CUANTILES (Q-Q PLOT) SALINIDAD POTENCIAL .....	104
FIGURA 4.23 DIAGRAMA DE CAJA DE SALINIDAD POTENCIAL .....	105
FIGURA 4.24 GRÁFICO DE TENDENCIA DE LA SALINIDAD POTENCIAL SP .....	107
FIGURA 4.25 SEMIVARIOGRAMA DE LA SALINIDAD POTENCIAL SP .....	110
FIGURA 4.26 VALIDACIÓN CRUZADA MÉTODO KRIGING SALINIDAD POTENCIAL SP .....	111
FIGURA 4.27 MAPA DE PREDICCIÓN MÉTODO KRIGING SALINIDAD POTENCIAL SP .....	115
FIGURA 4.28 VALIDACIÓN CRUZADA MÉTODO IDW SALINIDAD POTENCIAL SP .....	117
FIGURA 4.29 MAPA DE PREDICCIÓN. MÉTODO IDW SALINIDAD POTENCIAL SP .....	119

FIGURA 4.30 MAPAS DE DISTRIBUCIÓN DE SULFATOS EN LA ZONA DE PPMCH .....	123
FIGURA 4.31 MAPAS DE DISTRIBUCIÓN DE SODIO EN LA ZONA DE PPMCH .....	124
FIGURA 4.32 MAPAS DE DISTRIBUCIÓN DE MAGNESIO EN LA ZONA DE PPMCH .....	125
FIGURA 4.33 MAPAS DE DISTRIBUCIÓN DE POTASIO EN LA ZONA DE PPMCH .....	126
FIGURA 4.34 MAPAS DE DISTRIBUCIÓN DE BICARBONATOS EN LA ZONA DE PPMCH .....	127
FIGURA 4.35 MAPAS DE DISTRIBUCIÓN DE CLORUROS EN LA ZONA DE PPMCH .....	128
FIGURA 4.36 MAPAS DE DISTRIBUCIÓN DE CALCIO EN LA ZONA DE PPMCH .....	129

## PRESENTACIÓN

Las micro-cuencas de los ríos San Lorenzo, río Garrapata, río Mosquito y la del río Grande forman la cuenca del río Chone. La micro-cuenca del río Grande tiene una extensión de 60 km<sup>2</sup> ubicada a ocho kilómetros de la ciudad de Chone. Por décadas las inundaciones que incomunicaban la ciudad de Chone con el resto del país en las épocas de invierno, así como las sequías extremas en el verano fueron una constante cada año en las noticias que se difundían. Esta dinámica anual entre el suelo totalmente inundado y el suelo resquebrajado por falta de agua acarrea una serie de problemas por las características propias del suelo. Con la construcción de la Presa Río Grande como primera fase del Proyecto Propósito Múltiple Chone y el desagüe del cauce en las parroquias Ricaurte, Santa Rita y San Antonio y en los sitios Garrapata San Andrés y el Guabal, se pretende controlar estos extremos. Con la construcción de la segunda fase que comprende canales de riego entre otras obras, se dotará de agua para riego a aproximadamente 3000 hectáreas de la parte baja del río Chone.

Este proyecto de investigación, al hacer el análisis de la zona radicular de los suelos agrícolas de la zona que corresponde a la Fase 2 del PPMCH, pretende brindar una guía para el conocimiento de los suelos del sector, sobre todo concientizar sobre la importancia del manejo de estos y así evitar que con los años se debiliten y pierdan sus características generando la salinidad secundaria, suelos erosionados y desgastados debido al mal uso de fertilizantes o al excesivo monocultivo de especies agrícolas y malas prácticas de riego. Manabí es considerada como una zona agrícola por excelencia, teniendo como cultivos principales el maíz duro, el cacao, el café y los cítricos. También hay zonas dedicadas al pastoreo de ganado por lo que es importante tener conocimiento de las características específicas de los suelos para implementar planes de cultivo y de fertilización que evitarán desgastar el suelo.



## RESUMEN

El presente proyecto tuvo como objetivo hacer la evaluación de la calidad agrícola de los suelos de la zona de riego del PPMCH, en la provincia de Manabí, utilizando datos de 9 perfiles de suelo obtenidos de investigaciones de 2014 y 13 perfiles tomados en enero y agosto 2016. Las muestras fueron obtenidas excavando a una profundidad de 20 cm, para evaluar la rizósfera del suelo agrícola.

En el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la ESPE, se registraron los siguientes parámetros en cada una de las muestras de suelo: Densidad real, Densidad relativa, humedad y porosidad. Sobre extractos de agua-suelo, con relaciones de 1:0.2-0.6 (saturación), 1:5 y 1:10, se registraron el pH, conductividad eléctrica (CE), iones solubles,  $B^{+3}$ , residuo seco evaporado y residuo seco calcinado.

Al analizar los resultados obtenidos en el laboratorio se establece, que el 72.72% de las muestras son suelos arcillosos, el 22.73% son suelos francosos y el 4.55 corresponden a suelos órgano volcánicos. Los valores de pH, en el extracto de saturación, se encuentran entre 6.56 y 7.63 y los valores de la CE están entre 0.08 y 0.66 ds/m lo que indica que son suelos pobres, de baja salinidad, con pH entre neutro y ligeramente alcalino, a más de tener problemas de infiltración, por lo que necesitan un manejo adecuado para evitar problemas ambientales por uso excesivo de fertilizantes. La composición iónica de los extractos procesados, arrojan valores en los que los predominantes son  $Ca^{2+}$ ,  $Na^{+}$  y  $HCO_3^{-}$ . Evaluando la RAS, se establece que los suelos no presentan problemas de sodicidad y tienen baja salinidad.

Se hizo el análisis geoestadístico utilizando los métodos Kriging ordinario e IDW de los datos obtenidos en el laboratorio, además se realizó un estudio estadístico empleando la metodología de análisis de componentes principales. En función de ellos se generaron mapas de distribución espacial. Se estableció que cada parámetro estudiado tiene su mejor interpolador. La mayoría tiene como mejor interpolador el IDW.

# CAPITULO 1

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 JUSTIFICACIÓN

La ciudad de Chone se encuentra en una zona de condiciones climáticas extremas, entre temporadas invernales con precipitaciones anuales que superan a veces los 3500 mm, cuando se presentan situaciones como las que caracterizan al Fenómeno del Niño y temporadas muy secas, con precipitaciones menores a los 500 mm cuando se presenta el Fenómeno de La Niña, tiene temperaturas medias en la zona del orden de los 25°C y valores de humedad relativa del 85% (Carrera, Guevara , & Gualichicomín, 2014).

El Proyecto de Propósito Múltiple Chone – PPMCH, se ideó ante la serie de eventos cíclicos anuales que se generan en la zona norte de Manabí, sequías e inundaciones que afectan notablemente a la ciudad de Chone. Se desarrolló para dar una solución integral a estos problemas y para servir con agua de riego a las zonas bajas de la cuenca en épocas de sequía muchas veces extrema (SENAGUA, 2010)

El Proyecto de Propósito Múltiple Chone – PPMCH, ejecutado y presentado por la SENAGUA tiene un costo aproximado de 240 millones de dólares. Forma parte también del cambio de la Matriz Productiva impulsada por el Gobierno Nacional. Se están generando políticas públicas orientadas a la innovación del desarrollo agrícola y la rectoría está en el Ministerio de Agricultura Ganadería Acuacultura y Pesca (SENAGUA, 2010).

Con la puesta en marcha del PPMCH, al estar cuidando el recurso agua y el recurso suelo de la cuenca se está cumpliendo con ocho de los 17 objetivos del Desarrollo Sostenible firmados en la Asamblea de las Naciones Unidas en Paris el 25 de septiembre de 2015. Entre los objetivos que se cumplen están el número uno, Fin a la pobreza, el número dos Hambre cero, el número tres Salud y bienestar, el

número 6 Agua limpia y saneamiento, el ocho Trabajo decente y crecimiento económico, el número 12 Producción y Consumo responsables, el número 13 Acción por el clima y el número 15 Vida de ecosistemas terrestres (PNUD, 2015)

Esta investigación tuvo por objeto tomar conciencia sobre los problemas ambientales que se presentan por la inadecuada aplicación de las técnicas de riego como la salinidad de las aguas y suelos, la lixiviación de los fertilizantes y plaguicidas que se usan para mejorar la producción que al final van a generar pérdidas económicas.

## **1.2 OBJETIVO GENERAL**

Determinar las variaciones en tres relaciones de suelo – agua del pH, conductividad eléctrica, aniones, cationes, fosfatos y boro de 22 perfiles representativos de la zona agrícola que irrigará la segunda fase de la Presa Propósito Múltiple Chone para evaluar la calidad agrícola de los suelos.

## **1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diseñar una técnica de muestreo representativa de suelos en la zona agrícola de Chone utilizando la metodología multicriterio
- Tomar muestras de suelo en los perfiles elegidos de la técnica de muestreo en la zona agrícola de Chone
- Medir en las muestras de suelo humedad, densidad aparente, real y porosidad.
- Realizar tres extractos de suelo-agua 1:≈0.2-0.6, 1:5 y 1:10 para determinar la movilidad de los elementos en los perfiles de suelo. Medir en los tres extractos pH, conductividad eléctrica, sodio, potasio, calcio, magnesio, carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, fosfatos, nitratos, boro, residuo evaporado y calcinado.

- Realizar mapas de distribución espacial de las concentraciones más críticas obtenidas del análisis de componentes principales para después utilizar la geoestadística
- Establecer medidas de potenciación y mejoramiento de los suelos agrícolas para evitar erosión y uso excesivo de fertilizantes luego de establecer carencias en los mismos

## 1.4 ALCANCE

La provincia de Manabí posee una gran variedad de climas y de pisos climáticos desde zonas tropicales semiáridas hasta tropicales semi húmedas, por lo que se tiene un variado desarrollo productivo. La agricultura es muy importante para Manabí, así como lo es para la mayoría de provincias en el Ecuador. Tiene variedad de cultivos de clima tropical como cacao, café, banano, maíz duro y algodón, a más de frutales como melón, sandía, naranja, mandarinas, toronjas, piñas y papayas (Ministerio Coordinador de la Producción, Empleo y Competitividad, 2011).

Problemas como las inundaciones y la sequía ponen en riesgo la actividad agropecuaria. Por consiguiente, el objetivo de este trabajo fue caracterizar física y químicamente desde el punto de vista agrícola de los suelos que serán regados al terminar la fase dos del PPMCH. Para la toma de muestras representativas se escogió uno de los métodos descritos en este trabajo. Se seleccionaron 22 puntos de muestreo georeferenciados en los que se tomaron muestras de suelo superficiales a 20 cm de profundidad. Se escogió esta profundidad ya que en la zona se tiene suelo homogéneo y no varían las características de estos a profundidades mayores.

Los parámetros que se analizaron en cada uno de los perfiles fueron: pH, conductividad eléctrica (CE), humedad, densidad aparente, densidad real y porosidad en los extractos de suelo-agua 1:≈0.2-0.6, 1:5 y 1:10. Finalmente, con los datos obtenidos se representaron espacialmente, por medio de mapas utilizando metodología geoestadística. Así, una vez obtenidos los resultados y sabiendo a ciencia cierta las deficiencias existentes se propuso un plan de manejo

y control continuo del recurso suelo para apoyar a los agricultores de la zona de riego de la fase dos del PPMCH para evitar el uso excesivo e innecesario de fertilizantes que producen problemas ambientales que a la larga generan pérdidas económicas, así como también evitar la salinidad secundaria.

## **1.5 HIPOTESIS**

Los suelos en la zona de influencia del Proyecto Propósito Múltiple Chone, fase dos, tienen una calidad agrícola deficiente.

## **CAPITULO 2**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 EL SUELO AGRÍCOLA EN EL ECUADOR**

Ecuador por su posición geográfica es un país con gran variedad de suelos, condiciones climáticas especiales, conocidos como microclimas, relieves irregulares con la cordillera de los Andes atravesando el territorio de norte a sur, llanuras en la costa y en la región oriental, además de zonas de origen volcánico como las Islas Galápagos lo que permite, dependiendo del lugar, desarrollar actividades agrícolas con sus características específicas (Soto, 2015).

La calidad agrícola es la propiedad del suelo de funcionar dentro de los límites de un ecosistema natural o manejado, sosteniendo la productividad de plantas y animales, de tal manera que se mantenga o mejore la calidad del aire, agua y así sostener la salud humana y el hábitat. Un suelo sano carece de limitaciones físicas, químicas o biológicas lo que le hace un suelo productivo y apto para la producción de cultivos (Bautista Cruz, Echevers, Del Castillo, & Gutierrez, 2006).

La importancia del sector agropecuario en el país se debe a tres aspectos: el primero por su representatividad en el PIB que, según datos oficiales del Banco Central, muestran un aporte del sector del 7.88%, siendo el que más aporta después de Manufactura, Petróleo y Minas, Construcción, Comercio y Enseñanza, de Servicios Sociales y de Salud. Segundo por constituir una fuente de divisas debido a la exportación de productos tradicionales como banano, café y cacao; y de nuevos como el mango, los espárragos, naranjilla y flores. Finalmente, por constituir la base de la política de la soberanía alimentario promovida en la actual Constitución de la República del Ecuador en el Art. 281. “La Soberanía Alimentaria constituye un objetivo estratégico y una obligación del Estado para garantizar que las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades alcancen la autosuficiencia de alimentos sanos y culturalmente apropiado de forma permanente” (INEC, 2012-2016).

En la región litoral, existen grandes llanuras bañadas por ríos de diferentes caudales. El clima es marcado en ciertas zonas con épocas de ausencia casi total de lluvia en verano y gran pluviosidad en invierno. Los cultivos se dividen en dos: permanentes y de ciclo corto. Entre los cultivos permanentes están el banano, palma africana, café, cacao, caña de azúcar. Los cultivos de ciclo corto son maíz duro, arroz, algodón y una variedad de frutas (Soto, 2015).

En la región sierra la producción agrícola varía con la altitud, pueden ir desde cultivos permanentes de frutas de clima templado hasta cultivos de caña de azúcar y café, hasta cultivos de ciclo corto, a mayor altura, de papas, habas, maíz, leguminosas y hortalizas (Soto, 2015).

La región oriental tiene suelos poco fértiles lo que hace necesaria una constante rotación de cultivos. También hay producción permanente de palma africana, caña de azúcar y cítricos. Cultivos de ciclo corto como maíz, yuca y naranjilla. Hay zonas con pastizales también (Soto, 2015).

La región insular al ser de origen volcánico, tiene pocos suelos cultivables. La actividad agrícola está reducida únicamente a las islas habitadas San Cristóbal, Santa Cruz e Isabela. Se cultivan frutas, hortalizas y otros productos de ciclo corto (Soto, 2015).

## **2.2. USO DEL SUELO AGRÍCOLA EN MANABÍ**

El INEC en su ESPAC (Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria) del 2012 y 2016 determina que en Manabí se producen los siguientes cultivos permanentes:

- Banano se cultivan 5190 hectáreas y se producen 24251 toneladas métricas en 2012.
- Palma africana se cultivan 1179 hectáreas y se producen 9717 toneladas métricas en 2012.
- Arroz se cultivan 13740 hectáreas y se producen 55536 toneladas métricas en 2016.

- Maíz duro, 2da provincia productora, se cultivan 82491 hectáreas y se producen 320853 toneladas métricas en 2016.

No se tiene datos exactos de cuantas hectáreas se dedican a los cultivos de ciclo corto ya que la mayoría son pequeños productores que trabajan sus fincas y al tener listo el producto lo transportan a los centros de acopio para su distribución. (INEC, 2012-2016)

En el estudio realizado en 2010 por Carvajal y Rodríguez para la FAO presentan la Tabla 2.1 en la que se establecen los usos del suelo del cantón Chone:

**TABLA 2.1  
USOS DEL SUELO EN EL CANTON CHONE**

USO DEL SUELO	ÁREA (ha)	%
Cultivos permanentes	41114	13.2
Cultivos transitorios, barbechos	11158	3.6
Descanso	6382	2.0
Pastos cultivados	207843	66.7
Pastos naturales	2563	0,8
Bosque natural, montes	39782	12.8
Otros usos	2925	0.9
Total	311767	100%

FUENTE: (Carvajal, Rodríguez, & FAO, 2010).

ELABORACIÓN: Martha E. Pazmiño

## **2.2 CLASIFICACION DE LOS SUELOS EN LA ZONA DE RIEGO DE LA SEGUNDA FASE DEL PPMCH**

Los suelos de la región se han desarrollado sobre materiales volcánicos, conformando el zócalo de rocas volcánicas con basaltos y diabasas, conocido como el “Complejo volcano-sedimentario Piñón” (INAMHI, CLIRSEN,FAO, 2008).

Los suelos también son de la formación Onzole, consistiendo especialmente de limolitas azules en afloramientos frescos y de color café-amarillento cuando la roca está meteorizada. Lutitas limosas y raramente areniscas. El espesor varía entre 0 y 550m. En el cantón Chone, se ven afloramientos en la parte central oriental y sur central, litológicamente presentadas como: limolitas meteorizadas de color



amarillento, así como intercalaciones de lutitas y areniscas de grano fino a medio (IEE- SINAGAP, 2013).

Las arcillas son las predominantes de acuerdo a la geología de la zona y estas tal y como las encontramos en la naturaleza están constituidas por minerales de origen primario y otros de origen secundario. Los minerales primarios son los que existían en las rocas ígneas y que no han sufrido alteración mayor en su composición. Los minerales secundarios se han formado por la acción de diferentes agentes físicos y químicos en algunos minerales de las rocas originales (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2008)

## **2.3 PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO**

Thompson y Troeh (2002), establecen que las propiedades físicas de los suelos son las que se pueden evaluar por simple inspección visual o por el tacto. Se las mide comparándola con algún tipo de escala, de tamaño, de consistencia, intensidad, etc. Cada suelo tiene un conjunto peculiar de propiedades físicas que dependen de la naturaleza de sus componentes, así como de las cantidades relativas de cada uno de estos y de la manera en que se hallan interactuando.

Las propiedades físicas son de gran importancia ya que el espesor de la zona ocupada por las raíces y las relaciones de aire y agua en el suelo, se hallan en gran parte determinadas por la constitución física de los horizontes del suelo. Además, presentan una significación indirecta adicional, ya que ciertos aspectos químicos y biológicos de la fertilidad pueden conocerse, al menos aproximadamente, conociendo las propiedades físicas, es decir, reflejan la manera en que este recurso acepta, retiene y transmite agua a las plantas, la infiltración o el movimiento del agua dentro del perfil y que además estén relacionadas con el arreglo de las partículas y los poros (Thompson & Troeh, 2002)

En este estudio se tomó en cuenta la densidad real, densidad aparente, porosidad, y porcentaje de humedad.

En la Tabla 2.2 se presenta el conjunto de indicadores físicos para la evaluación de la calidad agrícola de suelos.

**TABLA 2.2**  
**CONJUNTO DE INDICADORES FÍSICOS, PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD AGRÍCOLA DE LOS SUELOS**

Propiedad Física	Relación con la condición y función del suelo
Densidad aparente y real Porcentaje de humedad	Potencial de lavado; productividad y erosión Relación con la retención de agua, transporte y erosión; humedad aprovechable, textura y materia orgánica
Porosidad	Transporte de agua, tamaño de partícula

FUENTE: (Bautista Cruz, Echevers, Del Castillo, & Gutierrez, 2006)

ELABORACIÓN: Martha E. Pazmiño

### 2.3.1 CAPACIDAD DE CAMPO Y PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE

Cuando hay ingreso de agua en el suelo sea por lluvia o por riego esta se infiltra y se transporta hacia las capas inferiores de este por gravedad. Cuando cesa el proceso de infiltración se puede apreciar un decrecimiento gradual del agua en la superficie del suelo. Para evitar la evaporación, se forma en la parte superior una especie de cubierta que lo protege. Va a depender del tipo de suelo y de su estructura el que el agua llegue hasta determinada profundidad para que las raíces de las plantas puedan tomarla (Kutilek & R., 2015).

La Capacidad de campo (CC) es el contenido de agua que tiene el suelo luego de que ha terminado la infiltración por gravedad. Esto suele suceder dos o tres días más tarde de que la lluvia ha cesado, se da esto principalmente en suelos bien drenados. El valor de la CC se expresa como el porcentaje de la cantidad de agua sobre el peso del suelo seco en la estufa (Thompson & Troeh, 2002).

La CC está relacionada con la textura del suelo, con la cantidad de materia orgánica, tipo de minerales y estructura del suelo; dependerá del contenido de arcilla y de limo, así como de la compactación del suelo (Thompson & Troeh, 2002).

Yesca Thomas (2008), usa los resultados de la textura como porcentajes de arena, porcentaje de limo y porcentaje de arcilla y obtiene la siguiente fórmula:

$$CC = (Arena * 0.182) + (Limo) + (Arcilla * 0.555) \quad (2.1)$$

La Revista Ciencias del Suelo (Ramirez, 2012) en su página digital del 8 de julio de 2012 presenta la siguiente fórmula para el cálculo de la CC:

$$CC = \frac{Psh - Pss}{Pss} \quad (2.2)$$

Donde:

CC = Capacidad de campo

Psh = Peso suelo húmedo

Pss = Peso suelo seco

Además, establece que también se puede calcular la CC en función de los pesos secos de los datos granulométricos del ensayo de textura hecho en el laboratorio. Se obtiene la CC en porcentaje de peso seco utilizando la fórmula de Bodman y Mahmud:

$$CC\%ps = 0.023(\%arena) + 0.25(\%limo) + 0.61(\%arcilla) \quad (2.3)$$

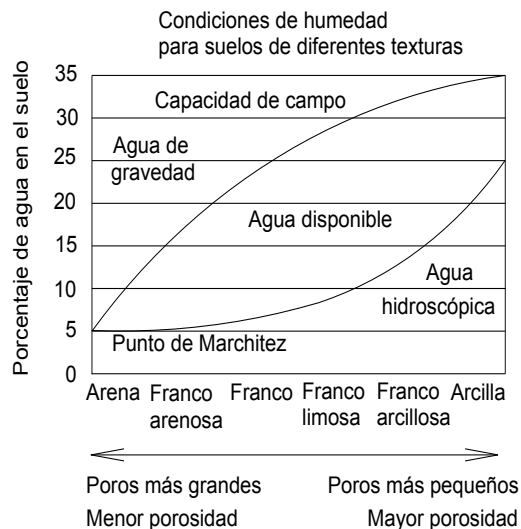
Una vez que se llega a la CC y conforme pasa el tiempo, las plantas a través de sus raíces van tomando agua del suelo, a medida que esta disminuye va a llegar un punto en el que no podrán absorberla. Entonces estarán en el límite inferior del agua disponible para las plantas, este rango de agua disponible es la que tienen las raíces para aprovechar y está entre el punto de CC y el punto de marchitamiento permanente (PMP). Este PMP se da cuando la tasa de absorción del agua a través de las raíces es tan lento, que las plantas se marchitan y ya no pueden recuperarse. Se dice que se ha alcanzado el PMP cuando el contenido de agua en el suelo es tan bajo que las plantas al no poder absorber la suficiente agua se marchitan (Thompson & Troeh, 2002).

Para López F. (2000), el agua de saturación escurre con una velocidad decreciente a medida que sale de los espacios, macroporos, que estaban ocupados por aire. Cuando termina de escurrir el suelo alcanza su Capacidad de Campo. El punto

donde se alcanza la CC se puede decir que es el punto donde el suelo alcanza su capacidad de retener humedad o la capacidad de retención capilar. El agua que está retenida en el suelo está en el interior de sus capilares o alrededor de los componentes sólidos formando una película gruesa. A medida que la planta va necesitando agua la toma de aquí, lo que hace que se reduzca la tasa de humedad. Llega un punto en que la planta se marchita, y a pesar de que si se analiza el suelo este contenga algo de humedad, la planta ya no puede tomar agua y alimentarse. Aquí se ha llegado al punto de marchitez.

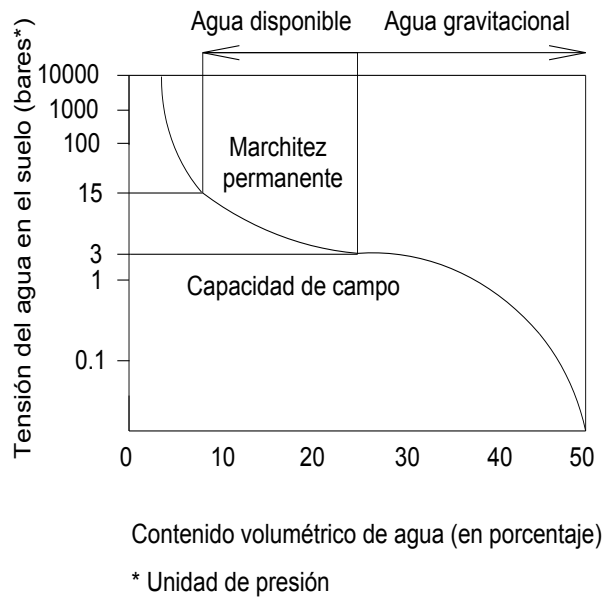
En la Figura 2.1 se presentan las condiciones de humedad para suelos de diferentes texturas y en la Figura 2.2, la curva de disponibilidad de agua, punto de marchitez permanente y capacidad de campo.

**FIGURA 2.1**  
**CONDICIONES DE HUMEDAD PARA SUELOS DE DIFERENTES TEXTURAS**



FUENTE: (Shaxon & Barber, 2005)  
ELABORACIÓN: Martha E. Pazmiño

**FIGURA 2.2**  
**CURVA DE DISPONIBILIDAD DE AGUA. PUNTO DE MARCHITEZ**  
**PERMANENTE Y CAPACIDAD DE CAMPO**



FUENTE: (Ramirez, 2012)  
 ELABORACIÓN: Martha E. Pazmiño

### 2.3.2 POROSIDAD

Las propiedades físicas del suelo, entre ellas la porosidad, son las que determinan el crecimiento radicular y la dinámica del aire y del agua. Estas propiedades del suelo están determinadas por las características cuantitativas y cualitativas del espacio del suelo no ocupado por sólidos, lo que se conoce como espacio poroso. Dentro de este espacio poroso, se distinguen macroporos y microporos (Rucks, García, Keplan, Ponce de León, & Hill, 2004)

Los macroporos son los responsables del drenaje y de la aereación del suelo. En este espacio se desarrollan las raíces de las plantas. Los microporos son los que retienen el agua que estarán en parte disponible para las plantas. La porosidad total es la suma de los macroporos y los microporos (Rucks, Garcia, Keplan, Ponce de León, & Hill, 2004).

Juárez Badillo y Rico Rodríguez (2005), dicen que la porosidad de un suelo es la relación entre el volumen de vacíos y el volumen de su masa. Se lo expresa como porcentaje. Esta relación puede variar desde 0 (en un suelo ideal con sólo fase sólida) a 100 (espacio vacío). Los valores reales pueden oscilar entre 20% y 95%. Se va a obtener el valor de la porosidad en función de las densidades medidas.

Aguilera Contreras y Martínez Elizondo (1996), establecen que los valores de la porosidad están entre 30% para arenas, 50% para suelos francos y 65% para arcillas.

### **2.3.3 DENSIDAD APARENTE**

Se define como la masa contenida en la unidad de volumen que ocupa la muestra. La densidad aparente incluye el espacio poroso y el material sólido, tanto mineral como orgánico. La densidad aparente seca de un suelo da una indicación de la firmeza del suelo y con ella la resistencia que presentará a los implementos de labranza o raíces de las plantas cuando penetran en el suelo. A menor densidad aparente, mayor espacio poroso, es decir, se trata de un suelo menos compacto, por lo tanto la densidad aparente, es inversamente proporcional al espacio poroso (Thompson & Troeh, 2002).

La densidad aparente varía de acuerdo al estado de agregación del suelo, al contenido de agua y la proporción del volumen ocupado por los espacios intersticiales, que existen incluso en suelos compactos. La densidad aparente es afectada por la porosidad e influye en la elasticidad, conductividad eléctrica, conductividad térmica, en la capacidad calorífica a volumen constante y en la dureza (Thompson & Troeh, 2002).

### **2.3.4 DENSIDAD REAL O DE LAS PARTÍCULAS**

Según Thompson y Troeh (2002), la densidad real o absoluta es otra propiedad básica del suelo que debe conocerse para calcular el volumen total de los poros. La densidad real es la densidad media de las partículas del suelo. Se dice también

que el peso específico es la medida de la densidad de las partículas del suelo. Las unidades utilizadas son los gramos por centímetro cúbico.

La densidad real de un suelo puede ser calculada a partir del conocimiento de dos parámetros: la masa y el volumen de una cierta cantidad de suelo. La masa es determinada pesando directamente el suelo y el volumen de manera indirecta por el cálculo de la masa y la densidad del agua (o cualquier otro fluido) desplazado por la muestra de suelo (NOM-021-SEMARNAT, 2000).

### **2.3.5 CONTENIDO DE HUMEDAD EN EL SUELO**

Según Fernández Linares y otros (2006), el agua es importante en el proceso natural de todo ser vivo. En su forma molecular participa en algunas reacciones metabólicas celulares, es un solvente y portador de nutrientes entre el suelo y las plantas y dentro de estas. Intemperiza las rocas y los minerales, ioniza los micro y los macro nutrientes que las plantas toman del suelo y permite que la materia orgánica sea biodegradable.

El contenido de agua en el suelo puede ser benéfico, pero a veces también perjudicial. El exceso de agua en los suelos favorece la lixiviación de sales y de otros compuestos. El agua es un regulador importante de las actividades físicas, químicas y biológicas del suelo. Es por eso la importancia de determinar el contenido de humedad del suelo para saber si este elemento básico para el desarrollo agrícola tiene lo que es necesario para hacer producir una zona.

Según Bautista y otros (2004), es la relación con la retención de agua, transporte y erosión; humedad aprovechable, textura y materia orgánica. Adicionalmente, Carrera, Guevara y Gualichicomín (2014), en su trabajo de investigación realizado con los suelos de Chone, mencionan que las variaciones en los contenidos de humedad para los suelos y espesores subyacentes se deben a los diferentes niveles que se han alcanzado en la cristalización de los materiales amorfos de los sedimentos pelíticos, para los espesores inmediatamente subyacentes y a la

longitud del tiempo de intemperismo a que han estado sujetos los materiales de los extractos superiores superficiales.

## 2.4 PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO

Las propiedades químicas se refieren a condiciones que afectan las relaciones suelo-planta, la calidad del agua, la capacidad amortiguadora del suelo, la disponibilidad del agua y nutrientes para las plantas y microorganismos, tomando en cuenta la conductividad eléctrica (CE), pH, potencial redox (Eh), nitratos ( $\text{NO}_3$ )<sup>-1</sup>, fosfatos (P- $\text{PO}_4$ ), capacidad de intercambio catiónico (Cepeda Dovala, 2010).

En función de los análisis y una vez obtenida información sobre la composición, las propiedades y las reacciones químicas que ocurren en el suelo, se pueden aclarar ciertos problemas relacionados con fertilidad y la nutrición vegetal. Con los resultados de los análisis químicos se pueden clasificar los suelos en sus diferentes grupos y puede servir como base en la planificación del desarrollo agrícola, ganadero y forestal (Cepeda Dovala, 2010).

En la Tabla 2.3 se presenta el conjunto de indicadores químicos para la evaluación de la calidad agrícola de los suelos.

**TABLA 2.3  
CONJUNTO DE INDICADORES QUÍMICOS, PARA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD AGRÍCOLA DEL SUELO**

Propiedad Química	Relación con la condición y función del suelo
pH	Define la actividad química y biológica
Conductividad Eléctrica (CE)	Define la actividad vegetal y microbiana
Potencial Redox (Eh)	Actividad de electrones
Nitratos ( $\text{NO}_3$ ) <sup>-1</sup> y Fosfatos (P- $\text{PO}_4$ )	Nutrientes disponibles para la planta, pérdida potencial de N, productividad e indicadores de la calidad ambiental
Capacidad de Intercambio Catiónico	Potencial del suelo para retener e intercambiar nutrientes vegetales, mediante la estimación de su capacidad para retener cationes

FUENTE: (Bautista Cruz, Echevers, Del Castillo, & Gutierrez, 2006)

ELABORACIÓN: Martha E. Pazmiño



### 2.4.1 pH

Según Fernández Linares y otros (2006), el pH del suelo es una propiedad química del suelo que tiene un efecto importante en el desarrollo de los seres vivos. Se refiere a la concentración de los iones hidrógeno activos ( $H^+$ ) que se da en la interfase líquida del suelo, por la interacción de los componentes sólidos y líquidos. La concentración de iones hidrógenos es fundamental en los procesos físicos, químicos y biológicos del suelo.

Los valores del pH determinan la calidad del suelo. Así serán fuertemente ácidos ( $pH < 5$ ), moderadamente ácido ( $pH$  entre 5.1 y 6.5), neutros ( $pH$  entre 6.6 y 7.3), medianamente alcalinos ( $pH$  entre 7.4 y 8.5) y fuertemente alcalinos ( $pH > 8.5$ ) (Carrera, Guevara , & Gualichicomín, 2014).

El pH es una de las mediciones más comunes e importantes en los análisis químicos rutinarios de suelo, ya que controla reacciones químicas y biológicas en el suelo. La determinación del pH es afectada por varios factores tales como el tipo y cantidad de constituyentes orgánicos que contribuyen a la acidez del suelo, la concentración de sales en la solución, la relación suelo - solución, la presión parcial de  $CO_2$  y el efecto de la suspensión asociado con el potencial de unión, etc. (NOM-021-SEMARNAT, 2000).

El valor de pH es el logaritmo del recíproco de la concentración de iones hidrógeno, que se expresa por números positivos del 0 al 14 (Carrera Villacrés, 2011)

$$pH = -\log[H^+] \quad (2.4)$$

Tres son las condiciones posibles del pH en el suelo: la acidez, la neutralidad y la alcalinidad (Fernandez Linares, y otros, 2006).

En la Tabla 2.4 se expone la clasificación de los suelos según el pH:

**TABLA 2.4**  
**CLASIFICACIÓN DEL SUELO SEGÚN EL VALOR DE pH**

pH	Clasificación
Menor a 5,5	Muy ácido
5,6 – 6,5	Ácido
6,6 – 7,5	Neutro
7,6 – 8,5	Básico
Mayor a 8,6	Alcalino

FUENTE: (Andrades & Martínez, 2014)

ELABORACIÓN: Martha E. Pazmiño

### 2.4.2 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

Según Andrades y Martínez (2014), la salinidad del suelo, que es el conjunto de todas las sales solubles, se determina mediante la conductividad eléctrica de una solución de suelo o de un extracto de saturación. La solución de suelo agua contiene sales solubles en mayor o menor proporción. Dependiendo de la cantidad de sales contenidas la vegetación en el sector puede subsistir o no. Ahora no todos los cultivos presentan la misma resistencia al medio salino, por eso es muy importante hacer una correcta interpretación de la conductividad eléctrica.

En la Tabla 2.5 se señala la relación entre la Conductividad Eléctrica y la salinidad del suelo.

**TABLA 2.5**  
**RELACIÓN ENTRE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Y SALINIDAD DEL SUELO**

CE saturación dS/m	CE extracto agua/suelo dS/m	Clasificación
Menor a 2	Menor a 0.35	No salino
2 – 4	0.35 – 0.65	Ligeramente salino
4 - 8	0.65 – 1.15	Salino
Mayor a 8	Mayor a 1.15	Muy salino

FUENTE: (Andrades & Martínez, 2014)

ELABORACIÓN: Martha E. Pazmiño

Fernández Linares y otros (2006), en el Manual de técnicas de muestreo de suelos, establece que la conductividad eléctrica es la capacidad de una solución acuosa

para transportar una corriente eléctrica. La norma NOM-021-RECNAT- 2000 indica que la Conductividad Eléctrica del extracto de saturación es uno de los índices para evaluar la concentración salina del suelo en el laboratorio. Es una medida indirecta de la salinidad de un agua o de un extracto de suelo.

Carrera Villacrés (2011), menciona que la conductividad eléctrica es muy importante ya que es un método muy rápido y eficaz para medir la concentración de electrolitos e indica la presencia de salinidad cuantitativa.

### **2.4.3 MATERIA ORGÁNICA**

La FAO (2002), explica que la materia orgánica (M.O) del suelo proporciona el material para formar los agregados. La M.O. está compuesta por partes en descomposición de animales y plantas. Estos al descomponerse forman lo que llamamos humus. La M.O. es una fuente de nutrientes para las plantas.

El contenido de M.O. puede variar dependiendo del material madre, de las condiciones climáticas y del manejo del suelo. Así:

- Los suelos ricos en materia orgánica, normalmente suelos de color negro, en las regiones frías pueden tener entre el 60 y el 70% de humus.
- Los suelos forestales contienen más del 5% de M.O.
- Los suelos que han sido arados constantemente y los suelos tropicales contienen entre el 0.5 y 1.5 de M.O.

En la Tabla 2.6 se presenta el porcentaje de M.O. de acuerdo a la textura del suelo con cultivos en regadío.

**TABLA 2.6**  
**PORCENTAJE DE M.O. DE ACUERDO A LA TEXTURA DEL SUELO CON**  
**CULTIVOS EN REGADÍO**

<b>Arenoso</b>	<b>Franco</b>	<b>Arcilloso</b>	<b>Clasificación</b>
Menor a 0.7	Menor a 1.0	Menor a 1.20	Muy Bajo
0.7 – 1.2	1.0 – 1.5	1.2 – 1.7	Bajo
1.2 – 1.7	1.5 – 2.0	1.7 – 2.2	Normal
1.7 – 2.2	2.0 – 2.5	2.2 – 3.0	Alto
Mayor a 2.2	Mayor a 2.5	Mayor a 3.0	Muy Alto

FUENTE: (Andrades & Martínez, 2014)

ELABORACIÓN: Martha E. Pazmiño

## **2.5 RELACIÓN ENTRE EL AGUA DE RIEGO Y EL EXTRACTO DE SATURACIÓN DEL SUELO**

Las características del agua de riego, en cuanto al nivel de salinidad contenida, tiene un impacto directo en la composición de las sales presentes en el suelo debido a su capacidad de retención. La composición química y las propiedades físico-químicas de la solución de suelo son importantes para la investigación de los procesos que suceden en este, así como será útil para la nutrición de los sembríos. Se debe analizar también el agua de riego para que se pueda identificar si hay balance entre agua y suelo (Carrera, Sanchez, Portilla, & Bolaños, 2017).

Los contenidos de sales en el agua o en el suelo pueden ser estimados estudiando la Conductividad Eléctrica (CE) en las muestras de agua y en los extractos de suelo. El problema con la salinidad se puede presentar por el uso inadecuado de fertilizantes y por la calidad del agua de riego. El significado relativo de la contribución de cada sal de acuerdo a su origen depende de las condiciones del suelo, de la efectividad del drenaje, de la calidad del agua de riego, de la sobreexplotación del agua o del suelo y del manejo de ciertas prácticas agrícolas. La acumulación de sales solubles ocurre cuando la precipitación anual es menor que la evaporación del suelo y la evaporación de la planta, que va a estar unida a un drenaje inadecuado del suelo. La concentración de sales causa problemas en el manejo del suelo ya que la alta concentración de sales genera problemas en el desarrollo de ciertas plantas sensibles (Carrera, Sanchez, Portilla, & Bolaños, 2017).

El porcentaje de sales disueltas cambia de acuerdo a la concentración del extracto de suelo y agua, dependiendo de la correlación obtenida es posible predecir el porcentaje de sal que pasará de la fase sólida a la fase líquida del suelo, incrementado la concentración o la proporción del agua-suelo. También el parámetro de Sólidos Totales Disueltos (STD) del suelo y del agua de riego se utiliza para determinar su calidad y el efecto que generará en las plantas (Carrera, Sanchez, Portilla, & Bolaños, 2017).

Al usar el extracto obtenido de la pasta de suelo saturado se está refiriendo a los constituyentes inorgánicos del suelo que son apreciablemente solubles en agua. El extracto de saturación, al ser una solución acuosa, tiene muchas de las propiedades del suelo como son la composición de las sales solubles y la conductividad eléctrica y están relacionadas con la respuesta de los cultivos a la salinidad (NOM-021-SEMARNAT, 2000).

A partir de lo expuesto se van a utilizar los diversos criterios para el análisis de los extractos de saturación de los suelos y relacionarlos con los parámetros y los límites con los que se evalúa el agua de riego, así a continuación en la Tabla 2.8 se presentan los criterios utilizados por (Ayers & Westcot, 1994) usados como guía para interpretar la calidad del agua para riego (Tabla 2.7).

**TABLA 2.7**  
**GUÍA PARA LA INTERPRETACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO**

PROBLEMAS POTENCIALES DE IRRIGACIÓN	UNIDADES	GRADO DE RESTRICCIÓN DE USO			
		NINGUNO	DEBIL A MODERADO	SEVERO	
SALINIDAD (Afecta la disponibilidad de agua para los cultivos)					
CE	dS/m	< 0.7	0.7 - 3.0	> 3.0	
STD	mg/l	< 450	450 - 2000	> 2000	
INFILTRACIÓN (Afecta el porcentaje de infiltración del agua en el suelo) Evaluar usando CE y RAS al mismo tiempo					
RAS	0 - 3	CE	> 0.7	0.7 - 0.2	< 0.2
	3 - 6		> 1.2	1.2 - 0.3	< 0.3
	6 - 12		> 1.9	1.9 - 0.5	< 0.5
	12 - 20		> 2.9	2.9 - 1.3	< 1.3
	20 - 40		> 5.0	5.0 - 2.9	< 2.9

TOXICIDAD POR IONES ESPECIFICOS ( Afecta a cultivos sensibles)				
Sodio (Na)				
Riego superficial	RAS	< 3	3 - 9	> 9
Riego por aspersión	meq/l	< 3	> 3	
Cloro (Cl)				
Riego superficial	meq/l	< 4	4 - 10	> 10
Riego por aspersión	meq/l	< 3	> 3	
Boro (B)	mg/l	< 0.7	0.7 - 3.0	> 3.0
Elementos Traza				
EFECTOS MISCELANEOS (Afecta cultivos susceptibles)				
Nitratos (NO <sup>3</sup> -N)	mg/l	< 5	5 - 30	> 30
Bicarbonato (HCO <sub>3</sub> )				
(Sólo aspersión superior)	meq/l	< 1.5	1.5 - 8.5	> 8.5
pH			Rango normal 6.5 - 8.4	

FUENTE: (Ayers & Westcot, 1994)

REALIZACIÓN: Martha E. Pazmiño

En la Tabla 2.8 se presentan los ensayos de laboratorio que se necesita para evaluar los problemas comunes que se tienen con el agua de riego.

**TABLA 2.8**  
**ENSAYOS DE LABORATORIO NECESARIOS PARA EVALUAR LOS**  
**PROBLEMAS GENERADOS POR LA CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO**

PARAMETROS DEL AGUA	SIMBOLO	UNIDAD	RANGO USUAL EN AGUA DE RIEGO	
SALINIDAD				
CONTENIDO DE SAL				
Conductividad Eléctrica	CE	dS/m	0 - 3	dS/m
Sólidos Totales Disueltos	STD	mg/l	0 - 2000	mg/l
CACIONES Y ANIONES				
Calcio	Ca <sup>++</sup>	meq/l	0 - 20	meq/l
Magnesio	Mg <sup>++</sup>	meq/l	0 - 5	meq/l
Sodio	Na <sup>+</sup>	meq/l	0 - 40	meq/l
Carbonato	CO <sup>++</sup> <sub>3</sub>	meq/l	0 - 1	meq/l
Bicarbonato	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	meq/l	0 - 10	meq/l
Cloruro	Cl <sup>-</sup>	meq/l	0 - 30	meq/l
Sulfato	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	meq/l	0 - 20	meq/l
NUTRIENTES				
Nitrato - Nitrógeno	NO <sub>3</sub> - N	mg/l	0 - 10	mg/l
Amonio - Nitrógeno	NH <sub>4</sub> - N	mg/l	0 - 5	mg/l
Fosfato - Fósforo	PO <sub>4</sub> - P	mg/l	0 - 2	mg/l
Potasio	K <sup>+</sup>	mg/l	0 - 2	mg/l
MISCELANEOS				

PARAMETROS DEL AGUA	SIMBOLO	UNIDAD	RANGO USUAL EN AGUA DE RIEGO	
Boro	B	mg/l	0 - 2	mg/l
Acido - Básico	pH	1 - 14	6.0 - 8.5	
Relación de Absorción de Sodio	RAS	meq/l	0 - 15	

FUENTE: (Ayers & Westcot, 1994)

REALIZACIÓN: Martha E. Pazmiño

## 2.6 SALINIZACIÓN DEL SUELO

Fassbender y Bornemisa (1994), definen como suelos salinos aquellos que contienen suficiente sal soluble para reducir su productividad y que no son alcalinos. Estos suelos son comunes en las regiones semiáridas y áridas, así como en regiones cercanas a las costas marinas.

En el continente, los suelos salinos se producen por ascenso capilar de aguas freáticas ricas en sales solubles y por depósitos que dejan las aguas de riego con alto contenido de ellas, también cuando el lavado del suelo es deficiente debido a un mal drenaje o a la falta de agua (Fassbender & Bornemisa, 1994).

Los suelos salinos en general tienen bajo contenido de  $N^{+2}$  y  $P^{+3}$ , pero disponen abundante  $K^{+}$ . Los cationes principales en las sales solubles son el  $Na^{+}$ , el  $Ca^{2+}$  y el  $Mg^{2+}$  pero en general se encuentran menores niveles de  $K^{+}$  y de  $NH_4^{+}$ . Los aniones comunes son el  $Cl^{-}$  y el  $SO_4^{-2}$  (Fassbender & Bornemisa, 1994).

El proceso de acumulación de sales en los suelos con predominio del  $Ca^{2+}$  y el  $Mg^{2+}$  puede generar caliche y dolomitización. Cuando el  $Na^{+}$  es el predominante se desarrolla la salinidad sódica, que puede alcalinizarse en presencia de carbonatos. Los suelos salino-sódicos son el resultado de la combinación de procesos de salinización y alcalinización por presencia de carbonatos (Richards, 1973).

La formación y acumulación de las sales en los suelos es el resultado de muchos procesos geoquímicos que ocurren en la superficie de la corteza terrestre. Las sales proceden fundamentalmente de la descomposición y

desintegración química y física de las rocas ígneas, así como de los minerales que se acumulan en suelos y aguas. También provienen de la precipitación atmosférica, emanaciones volcánicas, sales fósiles y de fuentes antropogénicas como el riego (Barrios Castillo, 2014).

La corteza terrestre se ve atacada principalmente por el aire y el agua, estos mecanismos de ataque pueden incluirse en dos grupos: desintegración mecánica y descomposición química. El término desintegración mecánica se refiere a la intemperización de las rocas por agentes físicos, tales como cambios periódicos de temperatura, acción de la congelación del agua en las juntas y grietas de las rocas, efectos de organismos, plantas, etc. Por estos fenómenos las rocas llegan a formar arenas o cuando mucho, limos y solo en casos especiales arcillas. Por descomposición química se entiende la acción de agentes que atacan las rocas modificando su constitución mineralógica o química. El principal agente es, desde luego el agua y los mecanismos de ataque más importantes son la oxidación, la hidratación y la carbonatación (Juarez Badillo & Rico Rodriguez, 2005).

Bajo condiciones normales de humedad las sales solubles están originalmente presentes en los materiales que constituyen el suelo y en aquellos que se forman por el desgaste de minerales. Estos son generalmente empujados hacia abajo e incorporados al agua subterránea y son transportados por los ríos al mar (Richards, 1973).

Algunas sales solubles y sus compuestos pueden determinar los procesos que conducen a la formación de diferentes grupos y tipos de suelos afectados por sales. Estas sales y sus compuestos están muy relacionados con las condiciones ambientales, pero se presentan en la naturaleza siempre en combinaciones de acuerdo a la sal o al compuesto predominante. El origen de estas sales puede ser variado por ejemplo, magmático, por meteorización, por sedimentación o biológico y puede encontrarse en aguas superficiales o subterráneas (Szabolcs, 2000).



Las sales que contribuyen a la formación de suelos que son afectados por estas, son transportadas por aire y por agua al lugar donde se acumulan. Solamente una parte de estas sales que causan salinidad y alcalinidad son transportadas desde otros lugares, la mayoría son el resultado de procesos epigenéticos (mineralización secundaria). También se puede decir que la transformación substancial de algunos elementos es causada por oxidación y por reducción que son los procesos mayores en el ecosistema en general y en la formación de suelos en particular (Szabolcs, 2000).

La salinidad puede afectar el crecimiento de las plantas de varias maneras: Disminución de la absorción del agua por las raíces, toxicidad por iones específicos, interferencia con la absorción de nutrientes esenciales y también puede evidenciar el efecto del sodio en la estructura del suelo (Sela, 2016).

La salinidad en el suelo ocasiona disminución de la disponibilidad del agua para las plantas, baja producción de las semillas, desarrollo deficiente (retraso en el crecimiento de las plantas y diferentes decoloraciones, problemas de toxicidad, disminución del rendimiento del cultivo y defloculación del suelo (SEMARNAT, SEGARPA, 2010).

En la Tabla 2.9 se presenta la Clasificación de los suelos salinos

**TABLA 2.9**  
**CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS SALINOS**

SUELO	CE(dS/m)	PSI (%)	pH	OBSERVACIONES
Normal	<4	<15	6.5-7.5	Buena permeabilidad, aereación y buena estructura.
Salino	<4	<15	7.0-8.5	Presencia de costras blancas en su superficie.
Salino-Sódico	>4	>15	<8.5	Si contiene calcio, se disuelve y reemplaza el sodio intercambiable, el cual es eliminado en forma simultánea con el exceso de sales
Sódico	<4	>15	8.2-10.0	Mala permeabilidad, difícil de trabajar y alta defloculación de sus partículas.

FUENTE: (SEMARNAT, SEGARPA, 2010)  
ELABORADO POR: Martha E. Pazmiño

Suelos Salinos: Son los que contienen muchas sales en solución y en su fase líquida son perjudiciales para la mayoría de cultivos.

Suelos Salino-Sódicos: Suelos que aparecen junto a un excesivo contenido de sales solubles y un alto PSI. En su fase líquida sus características son parecidas a las de los suelos salinos.

Suelos Sódicos: Son los que tienen una alta cantidad de PSI capaz de interferir en el crecimiento de la mayoría de cultivos. La concentración de sodio causa la dispersión de la materia orgánica y causando color oscuro en la superficie. Con un PSI mayor a 1.2 no causa daño al crecimiento de las plantas pero en suelos con textura fina hace que sean extremadamente impermeables al agua y se dificulta la penetración de las raíces (Tamayo, 2016).

Los principales cationes que dan origen a la salinidad en los suelos son: sodio, calcio, magnesio, potasio y los principales aniones son: sulfatos, cloruros, carbonatos y bicarbonatos (Andrades & Martínez, 2014).

La calidad de las aguas para riego está determinada por la concentración y la composición de constituyentes disueltos en el agua. (Richards, 1973) definió valores umbrales de CE y ha propuesto medidas para evitar la salinización de los suelos. Con base en la CE las aguas se clasifican de acuerdo a la Tabla 2.10

**TABLA 2.10**  
**CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS EN FUNCIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Cuadro (CE)**

CLASIFICACIÓN	TIPO	CE $\mu\text{s}/\text{cm}$	OBSERVACIONES
C1	Aguas de baja salinidad	< 250	Existe en condiciones normales de riego
C2	Aguas de salinidad media	250 - 750	Necesita un moderado lavado
C3	Aguas altamente salinas	750 - 2250	No utilizar en suelos sin drenaje
C4	Aguas muy altamente salinas	> 2250	Debe lavarse

FUENTE: (Richards, 1973)

ELABORADO POR: Martha E. Pazmiño

C1: Las aguas bajas en salinidad se pueden usar para riego en la mayoría de cultivos, en casi cualquier tipo de suelo sin temor a que ocurran problemas por la salinidad.

C2: Las aguas de salinidad media se usan siempre que haya un lavado moderado. Es factible la producción de cultivos moderadamente tolerantes a las sales, sin un control riguroso de salinidad.

C3: Las aguas altamente salinas no se pueden utilizar en suelos sin drenaje. Debido a que se necesitarían prácticas especiales de control de salinidad y los cultivos deberían ser muy tolerantes a las sales.

C4: Las aguas muy altamente salinas no son apropiadas para riego bajo condiciones normales. Se puede utilizar ocasionalmente cuando los suelos son permeables, se debe aplicar exceso de agua y se deben seleccionar cultivos altamente tolerantes a las sales (Carrera Villacrés, 2011).

### **2.7.1 SUELOS SALINO - SÓDICOS**

Los suelos salino-sódicos son suelos cuya conductividad del extracto de saturación es mayor de 4 dS/m, a 25°C y el porcentaje de sodio intercambiable es mayor de 15. Se forman como resultado de los procesos combinados de salinización y acumulación de sodio. Siempre que contengan un exceso de sales, su apariencia y propiedades son similares a las de los suelos salinos. Cuando hay exceso de sales el pH raramente es mayor de 8.5 y las partículas permanecen floculadas. Cuando el exceso de sales solubles es lavado, las propiedades de estos suelos pueden cambiar notablemente, llegando a ser idénticas a las de los suelos sódicos no salinos. A medida que la concentración de sales disminuye en la solución, parte del sodio intercambiable se hidroliza para formar hidróxido de sodio que, a su vez, puede cambiar a carbonato de sodio (SEMARNAT, SEGARPA, 2010).

Los suelos sódicos contienen alta cantidad de sodio intercambiable y bajo nivel de sales solubles, las partículas de arcilla tienden a separarse y las fuerzas que las mantienen unidas se interrumpen por la presencia de iones de sodio. Estos suelos tienden a hincharse cuando se mojan y luego al secarse se endurece, se cuarteán y presentan una costra dura que impide el normal crecimiento de las raíces y el

desarrollo natural de las semillas. También son susceptibles a la erosión que genera pérdida de partículas de suelo y de nutrientes (Sela, 2016).

La sodificación es el aumento de la concentración de sodio  $\text{Na}^+$  respecto a los cationes bivalentes  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ . Al ser  $\text{Na}^+$  predominante ocasiona el deterioro de las propiedades físicas del suelo que a su vez afecta la dinámica o movimiento del agua y por lo tanto afecta su capacidad de mantener una agricultura adecuadamente irrigada en el largo plazo (Carrera Villacrés, 2011)

## **2.7 EFECTOS DE LAS SALES EN LOS CULTIVOS**

Los suelos se vuelven improductivos debido a la elevada concentración de sales que poseen, toda vez que aumenta la presión osmótica en la solución del suelo con la que existe en las células de las raíces de los cultivos, afectando la entrada de los iones nutritivos en los pelos radiculares y en consecuencia afectando también la nutrición de las plantas (Martínez Villavicencio, López Alonso, Basurto Sotelo, & Pérez Leal, 2011).

La acumulación de las sales en la zona radical de las plantas es un factor que impide el crecimiento y desarrollo adecuado. Existen algunos problemas relacionados como el efecto osmótico, la concentración total de sales solubles, la concentración relativa del sodio con respecto a los cationes y la toxicidad por ion específico. Bajo ciertas condiciones, la concentración de bicarbonatos con relación a la concentración de calcio más magnesio también debe ser tomada en cuenta (Carrera Villacrés, 2011).

El sodio es un elemento altamente higroscópico, atrapa las moléculas del agua del suelo, disminuyendo el agua de hidratación que se usará para otros nutrientes, afectando también la estructura del suelo al disgregar las partículas. En los suelos salinos se reduce la absorción y la capacidad de movimiento de potasio y calcio, estos elementos son necesarios en el suelo para mantener la selectividad y la integridad de la membrana celular de la raíz. El efecto más común es la reducción en el desarrollo debido a una disminución del potencial osmótico del medio de

crecimiento y en consecuencia de su potencial hídrico (Martínez Villavicencio, López Alonso, Basurto Sotelo, & Pérez Leal, 2011).

Un campo con plantas creciendo en suelo salino usualmente tiene espacios vacíos, con plantas raquílicas de diferentes tamaños y con follaje con un color verde azulado profundo, pero estas características no son solamente indicadores de salinidad. Por ejemplo, los espacios vacíos pueden estar presentes en campos con suelo no salino que pueden ser el resultado de una inadecuada irrigación y el retraso en el crecimiento y los colores anormales pueden también ser el resultado de una deficiencia de nutrientes. Se debe tener cuidado para no confundir los efectos de baja fertilidad en el suelo y los causados por salinidad. Así, las plantas que están raquílicas por baja fertilidad tienen un color verde amarillento, mientras que las plantas raquílicas por salinidad tienen un color verde azulado (Richards, 1973).

Se debe también indicar que la reducción en el crecimiento de la planta cuando hay exceso de salinidad está también asociado a una disminución en la capacidad de la planta para absorber agua del suelo. Se ha mostrado en ciertos estudios que el retardo del crecimiento es prácticamente lineal al aumento de la presión osmótica de la solución del suelo y muy independiente de la clase de sales presentes. (Salaverry Fagnoli, 2014).

## **2.8 TOXICIDAD POR IONES ESPECÍFICOS**

Los iones que están asociados principalmente con la toxicidad son sodio, cloruros y boro. Los problemas relacionados con la toxicidad se pueden presentar aun cuando estos iones estén presentes en bajas concentraciones (Ayers & Westcot, 1994).

El daño en los cultivos es el resultado de que los iones potencialmente tóxicos son absorbidos en cantidades significantes y van a ser tomadas por las raíces de las plantas. Los iones absorbidos son transportados a las hojas donde se acumulan durante la transpiración. La acumulación hasta llegar a concentraciones tóxicas

toma tiempo y el daño visual se nota muy lentamente. La toxicidad también se presenta en la absorción directa de los iones tóxicos que llegan a las hojas por aspersión (Ayers & Westcot, 1994).

El sodio  $\text{Na}^+$  y el cloro  $\text{Cl}^-$  son los iones que se absorben principalmente por las hojas y la toxicidad por uno de los dos iones puede ser el problema que se presenta en cultivos sensibles como en los cítricos. Como la concentración crece en el agua de riego, el daño se desarrolla más rápido y se vuelve progresivo y más severo (Ayers & Westcot, 1994).

Los problemas de toxicidad frecuentemente acompañan a los de salinidad o de infiltración y pueden aparecer incluso cuando la salinidad es baja. El daño dependerá del tiempo de la concentración y sensibilidad del cultivo (Carrera Villacrés, 2011).

En la Tabla 2.11 se presentan los parámetros de los niveles de Toxicidad por ión específico dados por el TULSMA Libro VI Anexo 1 (2015).

**TABLA 2.11  
PARÁMETROS DE LOS NIVELES GUÍA DE LA CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO. TOXICIDAD POR IÓN ESPECÍFICO**

TOXICIDAD POR IÓN ESPECÍFICO	UNIDADES	GRADO DE RESTRICCIÓN			
		NINGUNO	LIGERO	MODERADO	SEVERO
<b>SODIO</b>					
IRRIGACIÓN SUPERFICIAL RAS	meq/l	3.0	3.0	9.0	>9.0
ASPERSIÓN		3.0	3.0		
<b>CLORUROS</b>					
IRRIGACIÓN SUPERFICIAL	meq/l	4.0	4.0	10.0	>10.0
ASPERSIÓN	meq/l	3.0	3.0		
<b>BORO</b>	meq/l	0.7	0.7	3.0	>3.0

FUENTE: (TULSMA, 2015)

ELABORACIÓN: Martha E. Pazmiño

### 2.8.1 SODIO

La mayoría de los cultivos de árboles y algunos maderables perennes son particularmente sensibles a las bajas concentraciones de sodio. Algunos cultivos

anuales no son tan sensibles, pero se verán afectados por concentraciones altas de sodio (Ayers & Westcot, 1994).

El sodio en el suelo puede producir efectos secundarios en el crecimiento de las plantas. Se puede tener una adversa modificación de la estructura del suelo. Este puede tener sus partículas dispersas o hasta tener apariencia de tierra batida. A pesar de esto puede el suelo tener una pobre aireación y una baja disponibilidad de agua (Richards, 1973).

### **2.8.2 CLORUROS**

Así como con el sodio, tiene los mismos efectos en los cultivos en árboles y los maderables perennes, con los mismos efectos en concentraciones altas. Los cloruros no son adsorbidos por el suelo pero se desplazan rápidamente con el agua del suelo (Ayers & Westcot, 1994).

Los cloruros junto con los sulfatos son los componentes principales responsables de la formación de suelos salinos. Todos los cloruros se caracterizan por su alta solubilidad y como consecuencia una alta toxicidad. Cuanto más alto sea el grado de salinidad del suelo, del agua subterránea o de un lago más alto será el contenido de cloruro (FAO, 2009).

### **2.8.3 BORO**

El boro se forma entre otras causas por un proceso de astillamiento, que es la ruptura de una pieza de roca de la pared de roca debido al estrés interno. Este proceso no es muy frecuente y por esto el boro no es muy abundante. Su concentración en la corteza terrestre es de 10 ppm. Este elemento es mucho más abundante en rocas sedimentarias (300ppm) que en rocas ígneas (3ppm). Esta diferencia se debe a tres características: la preferencia del B por las fases fundidas (elemento incompatible), su alta movilidad en la fase acuosa y su fuerte afinidad con minerales arcillosos (Carrera Villacrés, 2011).

El boro es uno de los elementos esenciales para el crecimiento de las plantas, pero es necesaria su presencia en muy pequeñas cantidades. En exceso el boro es tóxico. El problema de la toxicidad del boro es usualmente asociado al agua de riego, pero puede ser causado también por su presencia natural en el suelo. La sensibilidad al boro aparece en una gran variedad de cultivos (Ayers & Westcot, 1994).

Richards (1973), especifica que las concentraciones tóxicas del boro han sido encontradas en extractos de saturación en muestras de suelos salinos. Es necesario, considerar al boro como un factor importante para el diagnóstico de suelos salinos y alcalinos. Los altos niveles de boro generalmente son reducidos mediante filtrado.

Los límites permisibles de boro en un extracto de saturación pueden ser tomados como una base. Así, las concentraciones de boro menores a 0.7 ppm pueden ser seguras para plantas sensibles. Entre 0.7 y 1.5 ppm el boro puede ser considerado marginal y en concentraciones mayores a los 1.5 ppm ya no puede considerarse seguro y podría empezar a ser tóxico para plantas sensibles.

La deficiencia de boro en el suelo también puede ser perjudicial, ya a inicios del siglo pasado se estableció que por ejemplo en la remolacha, el apareamiento de su corazón podrido se debía a la deficiencia de boro. Desde entonces, se ha descubierto gran variedad de cultivos que pueden quedar gravemente afectados por una carencia de este elemento esencial. Se considera que el boro desempeña un papel esencial en gran cantidad de procesos fisiológicos vegetales como transporte de azúcares, síntesis de sacarosa, metabolismo de ácidos nucleicos, fotosíntesis, etc. La deficiencia de boro provoca una acumulación de azúcares en los tejidos. La absorción de fósforo se ve dificultada en las plantas con deficiencia de boro. (Alarcón Vera, 2001).

Bajos niveles de boro afectan la incorporación de fósforo y sus compuestos a las células. Este elemento puede ser reducido a la mitad cuando hay déficit de boro. Los niveles altos de nitrógeno y potasio pueden reducir la disponibilidad de boro. Al



incrementar el nitrógeno o el potasio se disminuye los niveles de calcio y la relación calcio-boro. (Alarcón Vera, 2001).

## 2.11 RELACIÓN DE ADSORCIÓN DE SODIO (RAS)

La presencia de sodio  $\text{Na}^+$  en el agua de riego, hace que poco a poco este aumente en el suelo, y se tenga cambios en la relación catiónica de los sitios de intercambio (Carrera Villacrés, 2011). Las aguas para uso agrícola se definen por la concentración de los iones específicos  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  como cationes y  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  como aniones. Estos elementos tienen su origen en la disolución o meteorización de las rocas y suelos y son transportadas por las corrientes superficiales o subterráneas y son depositados en el suelo en forma natural o mediante el riego (Can Chulim, Ramirez Ayala, Ortega Escobar, Trejo López, & Cruz Díaz, 2008).

La relación RAS da idea del peligro potencial que se genera por el exceso de Sodio ( $\text{Na}^+$ ) sobre el Calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) y el Magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) y que a su vez acarrea problemas de infiltración. La composición del agua de riego, el manejo del riego y el drenaje y las características del suelo son los factores principales que afectan esta relación (García A. , 2012).

RAS:

$$\frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}{2}}} \quad (2.5)$$

Donde:

$\text{Na}^+$  = Contenido de sodio en el extracto de saturación en meq/l.

$\text{Ca}^{2+}$  = Contenido de calcio en el extracto de saturación en meq/l

$\text{Mg}^{2+}$  = Contenido de magnesio en el extracto de saturación en meq/l

Los valores obtenidos al usar la fórmula 2.5 no consideran los cambios que suceden en la solución agua suelo debido a la solubilidad del Ca presente y que son el resultado de los procesos de dilución o precipitación que se producen luego del

riego. Al no tomar en cuenta estos cambios, se pueden presentar errores, lo que ha generado como consecuencia el desuso de la fórmula antes mencionada (García A. , 2012).

Ayers y Westcot (1994) introdujeron el concepto de la 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. (Ayers & Westcot, 1994)

Langelier (1936) creó el Índice de Saturación (IS) que indica el grado en que la sal de las aguas que fluyen por una tubería precipita o se disuelve como  $CaCO_3$ . Para considerar la precipitación o la disolución de  $CaCO_3$  en condiciones de  $CO_2$  constante se utiliza el IS de Langelier. Este se define como el pH actual medido del agua ( $pH_a$ ) menos el pH teórico ( $pH_c$ ) que el agua debería tener en condiciones de equilibrio con  $CaCO_3$ . Los valores positivos del IS indican que el  $CaCO_3$  se precipitarán en la solución mientras que los valores negativos indicarán que el agua disolverá fracciones de  $CaCO_3$  (Carrera Villacrés, 2011).

El índice de saturación (IS) estima la precipitación del ion carbonato del agua de riego como la función del grado de saturación con  $CaCO_3$  en la solución del suelo. (Ayers & Westcot, 1994).

El índice de saturación IS se calcula:

$$IS = 8.4 - pH_c \quad (2.6)$$

La fórmula para el cálculo de  $RAS_{aj}$  se presenta a continuación:

$RAS_{aj}$ :

$$\frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} (1 + (8.4 - pH_c)) \quad (2.7)$$

Donde:

8.4 = Valor del pH aproximadamente de un suelo no sódico en equilibrio con carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ).

pHc = pH teórico en el que el agua contenida en el extracto de saturación alcanzaría el equilibrio con el  $\text{CaCO}_3$  en meq/lit.

El pHc se calcula usando la siguiente ecuación:

$$pHc = (pK^2 - pKc) + p(Ca) + p(Alk) \quad (2.8)$$

Donde:

$pK_2$  = Logaritmo negativo de la segunda constante de disociación del ácido carbónico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) corregido por la fuerza iónica de la solución.

$pKc$  = Es el producto de la solubilidad del  $\text{CaCO}_3$ , corregido por la fuerza iónica de la solución

$pCa$  = Logaritmo negativo de la concentración molar de  $\text{Ca}^{2+}$

$p(Alk)$  = Logaritmo negativo de la concentración equivalente titulable de  $\text{CO}_3^{2-}$  y  $\text{HCO}_3^-$

En la Tabla 2.12 están los valores para el cálculo de pHc empleado en el cálculo del RASaj

**TABLA 2.12**  
**VALORES PARA EL CÁLCULO DE pHc**

$pHc=(pK_2-pK_{ps})+pCa^{2+}+p(Alk)^c$							
Concentración meq l <sup>-1</sup>	$pK_2-pK_{ps}$	$pCa^{2+}$	$p(Alk)$	Concentración meq l <sup>-1</sup>	$pK_2-pK_{ps}$	$pCa^{2+}$	$p(Alk)$
0,05	2,00	4,60	4,30	2,50	2,20	2,90	2,60
0,10	2,00	4,30	4,00	3,00	2,20	2,80	2,50
0,15	2,00	4,10	3,80	4,00	2,20	2,70	2,40
0,20	2,00	4,00	3,70	5,00	2,20	2,60	2,30
0,25	2,00	3,90	3,60	6,00	2,20	2,50	2,20
0,30	2,00	3,80	3,50	8,00	2,30	2,40	2,10
0,40	2,00	3,70	3,40	10,00	2,30	2,30	2,00
0,50	2,10	3,60	3,30	12,50	2,30	2,20	1,90
0,75	2,10	3,40	3,10	15,00	2,30	2,10	1,80
1,00	2,10	3,30	3,00	20,00	2,40	2,00	1,70
1,25	2,10	3,20	2,90	30,00	2,40	1,80	1,50
1,50	2,10	3,10	2,80	50,00	2,50	1,60	1,30

$pH_c = (pK_2 - pK_{ps}) + pCa^{2+} + p(Alk)^c$							
Concentración meq l <sup>-1</sup>	pK <sub>2</sub> -pK <sub>ps</sub>	pCa <sup>2+</sup>	p(Alk)	Concentración meq l <sup>-1</sup>	pK <sub>2</sub> -pK <sub>ps</sub>	pCa <sup>2+</sup>	p(Alk)
2,00	2,20	3,00	2,70	80,00	2,50	1,40	1,10

FUENTE: (Ayers & Westcot, 1994)

ELABORACIÓN: MARTHA E. PAZMIÑO M.

Ayers y Westcot (1994), explican que el RASaj está sobreestimando la peligrosidad del sodio y para evaluarlo correctamente se debería corregir por un factor 0.5, aunque al final concluye que es preferible usar el RAS° (RAS corregido) (Ayers & Westcot, 1994).

En el RAS° la concentración de los iones del Ca en el agua de riego se encuentra en equilibrio con el suelo, tomando en cuenta el efecto del CO<sub>2</sub> y la concentración del HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. El RAS° puede utilizarse para predecir el problema de infiltración generadas por ciertas condiciones de agua de riego que tienen concentraciones más o menos altas de Na<sup>+</sup> y bajas cantidades de Ca<sup>2+</sup> (Carrera Villacrés, 2011).

El RAS° corrige la concentración de calcio del agua de riego en función del equilibrio esperado por el efecto del dióxido de carbono y del bicarbonato. El procedimiento asume la existencia de una fuente de calcio, es decir los carbonatos presentes en el suelo u otros minerales, y precipitación del magnesio. Se toma en cuenta en el agua de riego la concentración electrolítica y la relación HCO<sub>3</sub>/Ca para el cálculo del calcio real en las soluciones de los suelos Ca° (Velásquez, Ortega, Martínez, Kohashi, & García, 2002). Se calculará utilizando la fórmula:

RAS°:

$$\frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^\circ + Mg^{2+}}{2}}} \quad (2.9)$$

Ca° = Contenido de calcio en el agua del extracto de saturación, corregido por la salinidad del agua (CEa), por el contenido de iones bicarbonato con relación a su propio contenido de calcio (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>/Ca<sup>2+</sup>) y por la presión parcial del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), ejercida en los primeros milímetros del suelo. (Can Chulim, Ramirez Ayala, Ortega Escobar, Trejo López, & Cruz Díaz, 2008).

En la Tabla 2.13 se presentan los valores de la concentración de calcio Ca que será retenido en el suelo superficial luego de ser irrigado en función de la relación de  $\text{HCO}_3^-/\text{Ca}^{2+}$  y la CE del agua usada.

**TABLA 2.13**  
**CONCENTRACIÓN DE CALCIO Ca QUE SERÁ RETENIDO EN EL SUELO SUPERFICIAL LUEGO DE SER IRRIGADO DADO POR LA RELACIÓN DE  $\text{HCO}_3/\text{Ca}$  Y CEa**

	SALINIDAD DEL AGUA DE RIEGO (CEa) dS/m											
	0.10	0.2	0.3	0.5	0.7	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	6.0	8.0
0.05	13.20	13.61	13.92	14.40	14.79	15.26	15.91	16.43	17.28	17.97	19.07	19.94
0.10	8.31	8.57	8.77	9.07	9.31	9.62	10.02	10.35	10.89	11.32	12.01	12.56
0.15	6.34	6.54	6.69	6.92	7.11	7.34	7.65	7.90	8.31	8.64	9.17	9.58
0.20	5.24	5.40	5.52	5.71	5.87	6.06	6.31	6.52	6.86	7.13	7.57	7.91
0.25	4.51	4.65	4.76	4.92	5.06	5.22	5.44	5.62	5.91	6.15	6.52	6.82
0.30	4.00	4.12	4.21	4.36	4.48	4.62	4.82	4.98	5.24	5.44	5.77	6.04
0.35	3.61	3.72	3.80	3.94	4.04	4.17	4.35	4.49	4.72	4.91	5.21	5.45
0.40	3.30	3.40	3.48	3.60	3.70	3.82	3.98	4.11	4.32	4.49	4.77	4.98
0.45	3.05	3.14	3.22	3.33	3.42	3.53	3.68	3.80	4.00	4.15	4.41	4.61
0.50	2.84	2.93	3.00	3.10	3.19	3.29	3.43	3.54	3.72	3.87	4.11	4.30
0.75	2.17	2.24	2.29	2.37	2.43	2.51	2.62	2.70	2.84	2.95	3.14	3.28
1.00	1.79	1.85	1.89	1.96	2.01	2.09	2.16	2.23	2.35	2.44	2.59	2.71
1.25	1.54	1.59	1.63	1.68	1.73	1.78	1.86	1.92	2.02	2.10	2.23	2.33
1.50	1.37	1.41	1.44	1.49	1.53	1.58	1.65	1.70	1.79	1.86	1.97	2.07
1.75	1.23	1.27	1.30	1.35	1.38	1.43	1.49	1.54	1.62	1.68	1.78	1.86
2.00	1.13	1.16	1.19	1.23	1.26	1.31	1.36	1.40	1.48	1.54	1.63	1.70
2.25	1.04	1.08	1.10	1.14	1.17	1.21	1.26	1.30	1.37	1.42	1.51	1.58
2.50	0.97	1.00	1.02	1.06	1.09	1.12	1.17	1.21	1.27	1.32	1.40	1.47
3.00	0.85	0.89	0.91	0.94	0.96	1.00	1.04	1.07	1.13	1.17	1.24	1.30
3.50	0.78	0.80	0.82	0.85	0.87	0.90	0.94	0.97	1.02	1.06	1.12	1.17
4.00	0.71	0.73	0.75	0.78	0.80	0.82	0.86	0.88	0.93	0.97	1.03	1.07
4.50	0.66	0.68	0.69	0.72	0.74	0.76	0.79	0.82	0.86	0.90	0.95	0.99
5.00	0.61	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.74	0.76	0.80	0.83	0.88	0.93
7.00	0.49	0.50	0.52	0.53	0.55	0.57	0.59	0.61	0.64	0.67	0.71	0.74
10.0	0.39	0.40	0.41	0.42	0.43	0.45	0.47	0.48	0.51	0.53	0.56	0.58
20.0	0.24	0.25	0.26	0.26	0.27	0.28	0.29	0.30	0.32	0.33	0.35	0.37
30.0	0.18	0.19	0.20	0.20	0.21	0.21	0.22	0.23	0.24	0.25	0.27	0.28

FUENTE: (Ayers & Westcot, 1994)

ELABORACIÓN: Martha E. Pazmiño

La Tabla 2.14 presenta la Clasificación del agua de riego en base al contenido de sodio

**TABLA 2. 14**  
**CLASIFICACIÓN DEL AGUA DE RIEGO EN BASE AL CONTENIDO DE SODIO**

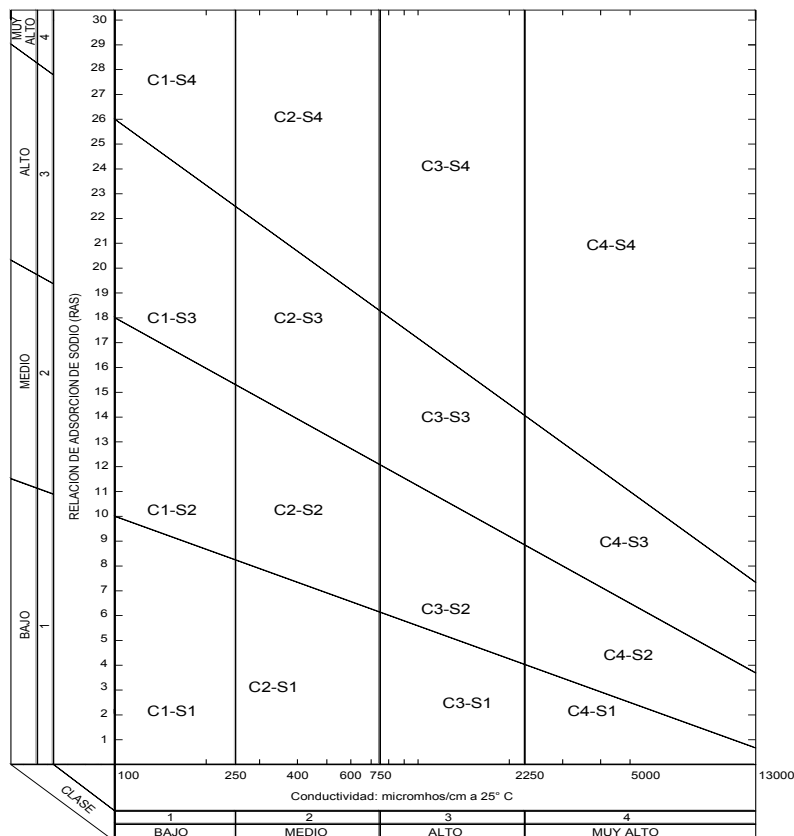
CLASIFICACIÓN	RAS	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIÓN
S1	0 - 10	Bajo	Apta para el riego en la mayoría de los casos. Sin embargo, pueden presentarse problemas con los cultivos muy sensibles al sodio.
S2	10 -18	Medio	Cierto peligro de acumulación de sodio en el suelo, especialmente en suelos de textura fina (arcillosos y franco-arcillosos) y de baja permeabilidad.
S3	18 - 26	Alto	Gran peligro de acumulación de sodio en el suelo. Son aconsejables aportaciones de materia orgánica y empleo de yeso para corregir el posible exceso de sodio en el suelo. También se requiere un buen drenaje.
S4	> 26	Muy Alto	No es aconsejable para el riego en general, excepto en caso de baja salinidad y tomando todas las precauciones apuntadas.

FUENTE: (Richards, 1973)

ELABORACIÓN: Martha E. Pazmiño

Una vez establecidos los valores de los tres tipos de RAS se usa el gráfico presentado por (Richards, 1973) en el que se hace la clasificación de las aguas de riego. (Figura 2.3.)

**FIGURA 2.3**  
**DIAGRAMA DE RICHARDS PARA LA CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS DE RIEGO**



FUENTE: (Richards, 1973)  
 ADAPTACIÓN: (Carrera Villacrés, 2011)  
 ELABORACIÓN: Martha E. Pazmiño

### 2.11.1 SALINIDAD POTENCIAL

La salinidad potencial es el índice que permite estimar el peligro que los iones cloruros y sulfatos pueden causar en el agua de riego ya que estos aumentan la presión osmótica en el suelo de los cultivos. Los  $\text{Cl}^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$  permanecen en la solución del suelo cuando la humedad aprovechable es menor al 50% (Aguilera Contreras & Martínez Elizondo, 1996). El índice de salinidad potencial se calcula mediante la fórmula 2.10 y las aguas obtenidas del extracto de saturación se clasifican de acuerdo a la Tabla 2.15.

$$\text{SP} = \text{Cl}^- + 0.5 \text{SO}_4^{2-} \quad (2.10)$$

**TABLA 2. 15**  
**CLASIFICACIÓN DEL AGUA SEGÚN EL ÍNDICE DE SALINIDAD POTENCIAL**

CLASE	SALINIDAD POTENCIAL (meq/l)
Buena	< 3
Condicionada	3 – 15
No recomendable	>15

FUENTE: (Aguilera Contreras & Martinez Elizondo, 1996)

ELABORACIÓN: Martha E. Pazmiño

### 2.11.2 SALINIDAD EFECTIVA

La salinidad efectiva estima de manera más real el peligro que presentan las sales solubles del agua de riego al formar parte de la solución del suelo ya que considera la precipitación de carbonato de calcio, carbonato de magnesio y sulfato de calcio. Estos aumentan la presión osmótica de la solución del suelo. La salinidad efectiva toma un mayor protagonismo cuando el agua de riego contiene gran cantidad de carbonatos y bicarbonatos (Aguilera Contreras & Martinez Elizondo, 1996).

Según (Aguilera Contreras & Martinez Elizondo, 1996), la salinidad efectiva se calcula según las siguientes condiciones:

Si  $Ca^{2+} \geq (CO_3^{2-} + HCO_3^- + SO_4^{2-})$  Entonces:

$$SE = \sum \text{cationes} - (CO_3^{2-} + HCO_3^- + SO_4^{2-})$$

Si  $Ca^{2+} < (CO_3^{2-} + HCO_3^- + SO_4^{2-})$  pero  $Ca^{2+} > (CO_3^{2-} + HCO_3^-)$

Entonces:  $SE = \sum \text{cationes} - Ca^{2+}$

Si  $Ca^{2+} < (CO_3^{2-} + HCO_3^-)$  pero  $(Ca^{2+} + Mg^{2+}) > (CO_3^{2-} + HCO_3^-)$

Entonces:  $SE = \sum \text{cationes} - (CO_3^{2-} + HCO_3^-)$

Si  $(Ca^{2+} + Mg^{2+}) < (CO_3^{2-} + HCO_3^-)$  Entonces:

$$SE = \sum \text{cationes} - (Ca^{2+} + Mg^{2+})$$

Todos los iones deben estar expresados en meq/l. En la Tabla 2.16 se presenta la clasificación de las aguas según el índice de la salinidad efectiva.



**TABLA 2. 16**  
**CLASIFICACIÓN DEL AGUA SEGÚN EL INDICE DE SALINIDAD EFECTIVA**

CLASE	SALINIDAD EFECTIVA (meq/l)
Buena	< 3
Condicionada	3 – 15
No recomendable	>15

FUENTE: (Aguilera Contreras & Martínez Elizondo, 1996)

ELABORACIÓN: Martha E. Pazmiño

## 2.12 PROBLEMAS DE INFILTRACIÓN

Durante la aplicación de las aguas de riego a los suelos, así como durante la recuperación de los suelos salinos y sódicos, es importante que el agua tenga fácil movilidad dentro del perfil de suelo. Los peligros de sodificación están asociados con el sodio intercambiable. Se ha reportado que la conductividad hidráulica de los suelos, disminuye cuando la concentración electrolítica de las aguas es baja. (Carrera & Pérez, 2013)

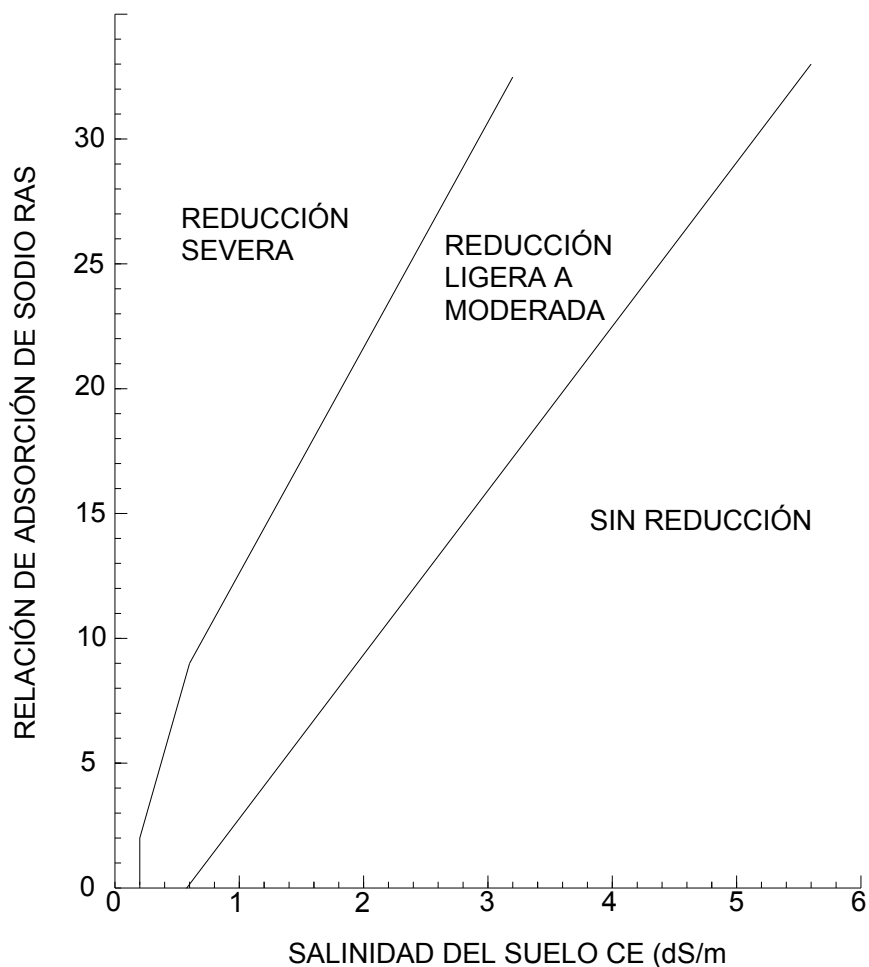
La infiltración puede ser afectada por muchos factores, la calidad del agua de riego, las características del suelo como la textura y los minerales que componen la arcilla y las características químicas incluyendo el intercambio de cationes. Los problemas de infiltración ocurren cuando el agua de riego no penetra el suelo rápidamente durante el ciclo de regadío de tal forma que este obtenga el agua necesaria hasta el próximo ciclo (Ayers & Westcot, 1994).

El agua con baja salinidad (menos de 0.5 dS/m y especialmente 0.2 dS/m) es corrosivo y tiende a lavar los minerales solubles y las sales, especialmente calcio, reduciendo su fuerte influencia estabilizadora en los agregados del suelo y en su estructura. Sin sales y sin calcio, el suelo se dispersa y las partículas finas llenan los pequeños espacios porosos, sellando su superficie y reduciendo notablemente el grado de infiltración en el suelo. Como resultado se forman costras en la superficie y se tienen problemas con los cultivos. Suelos con muy baja salinidad (menos de EC= 0.2 dS/m) casi siempre dan como resultado problemas de infiltración, indistintamente sin tomar en cuenta el valor del RAS. El agua de lluvia tiene muy baja salinidad y las áreas que son regadas frecuentemente experimentan

bajas tasas de infiltración que dan como resultado un excesivo escurrimiento (Ayers & Westcot, 1994).

En la Figura 2.4 tomado de Ayers & Westcot (1994) se presenta el diagrama para determinar la reducción relativa de la infiltración provocada por la salinidad y el RAS.

**FIGURA 2.4**  
**DIAGRAMA PARA DETERMINAR LA REDUCCIÓN RELATIVA DE LA INFILTRACIÓN**



FUENTE: (Ayers & Westcot, 1994)  
ELABORACIÓN: Martha E. Pazmiño

## **CAPITULO 3**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

En esta investigación el estudio fue prospectivo, ya que la información se acumuló de acuerdo al criterio del investigador y para los fines específicos del mismo. Se establece que es una investigación transversal, ya que sus variables se midieron una sola vez y se realizaron ensayos para determinar las características físico-químicas de las muestras. También se determina que es un estudio descriptivo porque la población de suelos estudiada fue descrita en función de un grupo de variables de las que no se tenían hipótesis centrales.

#### **3.2 DESCRIPCIÓN DE LA GEOLOGÍA DE LA ZONA DE CHONE**

El Estudio Hidrológico de la cuenca alta del Río Chone preparado en 2008 por el INAMHI, CLIRSEN y FAO presenta en la Sinopsis Geológica de la Zona de Chone lo siguiente: El relieve de la zona de estudio se caracteriza por la presencia de una cordillera de baja altura localizada casi en la parte central de la provincia de Manabí con dirección Norte-Sur, la misma que presenta mesas o terrazas fuertemente disectadas, con pendientes abruptas y zonas de valles localizados especialmente en las cuencas de los ríos Carrizal-Chone, llegando al nivel del mar 0 (cero) m.s.n.m. en la desembocadura del río Chone en el Océano Pacífico. Los ríos Garrapata, Mosquito y Grande nacen a la altura de 500 m.s.n.m. hasta llegar a unirse y formar el río Chone en la cota 25 m.s.n.m., en el transcurso se une con otros afluentes como el río Carrizal para desembocar en el Océano Pacífico.

La evolución geológica de la zona de Chone, empieza en el Jurásico con la emisión de potentes flujos volcánicos que se prolongan hasta el Cretácico, conformando el zócalo de rocas volcánicas (basaltos, diabasas) conocido como “Complejo Volcano-sedimentario Piñón (INAMHI, CLIRSEN,FAO, 2008).

Durante el Mioceno Medio a Superior, se depositan los sedimentos limosos y detríticos, probablemente en aguas profundas de las Formaciones Onzole y Borbón (respectivamente), las mismas que pertenecen al Grupo Daule, el cual cubre un área mayor del 60% de la Provincia de Manabí (INAMHI, CLIRSEN Y FAO, 2008). Las terrazas indiferenciadas y depósitos aluviales, están constituidos por conglomerados, arenas, limos arcillosos, se hallan cubriendo las antiguas cuencas de los principales ríos que drenan la zona (INAMHI, CLIRSEN Y FAO, 2008).

La formación Onzole, donde se encuentra la zona de estudio, contiene arcillas y limolitas laminadas de coloración verdosa en afloramientos no meteorizados, los niveles superiores van tornándose arenosos y se tiene areniscas en el tope de la formación. Los estratos contienen abundante fauna de foraminíferos y moluscos. En el extremo oriental la litología se intercala con bancos calcáreos (IEE- SINAGAP, 2013)

La formación Piñón, también mencionada en el informe del (INAMHI, CLIRSEN,FAO, 2008) precisa que este complejo ígneo volcánico, conforma el basamento de la Cordillera Chongón. Está constituido por una serie de material piroclástico con intercalaciones de lavas porfíricas - doleríticas y de gabro, con brechas, aglomerados, lavas y diques. Se presenta como rocas básicas oceánicas, intercaladas con sedimentos volcánicos marinos. Su potencia es desconocida, pero se estima sobre los 3.000 m.

### **3.2. DESCRIPCIÓN GEOGRÁFICA DE LA CIUDAD DE CHONE**

Dentro de la división geográfica-política de la provincia de Manabí, la ciudad de Chone es la cabecera cantonal del cantón Chone. Localizándose la ciudad en las coordenadas geográficas UTM N 9'230.000 y E 601.000 hacia el norte de Portoviejo, la capital provincial de la Manabí.

La ciudad de Chone se ubica aguas abajo de la confluencia de los ríos Garrapata, Grande y Mosquito lo que da origen a que en temporada de invierno por la intensidad de las precipitaciones, la morfología de la zona y de la red hidrográfica,

sumado a esto el alarmante proceso de deforestación que se tiene en las cabeceras de las cuencas vertientes de los ríos mencionados, determinan un alto grado de riesgo a la ciudad de Chone, principalmente por las inundaciones (SENAGUA, 2010).

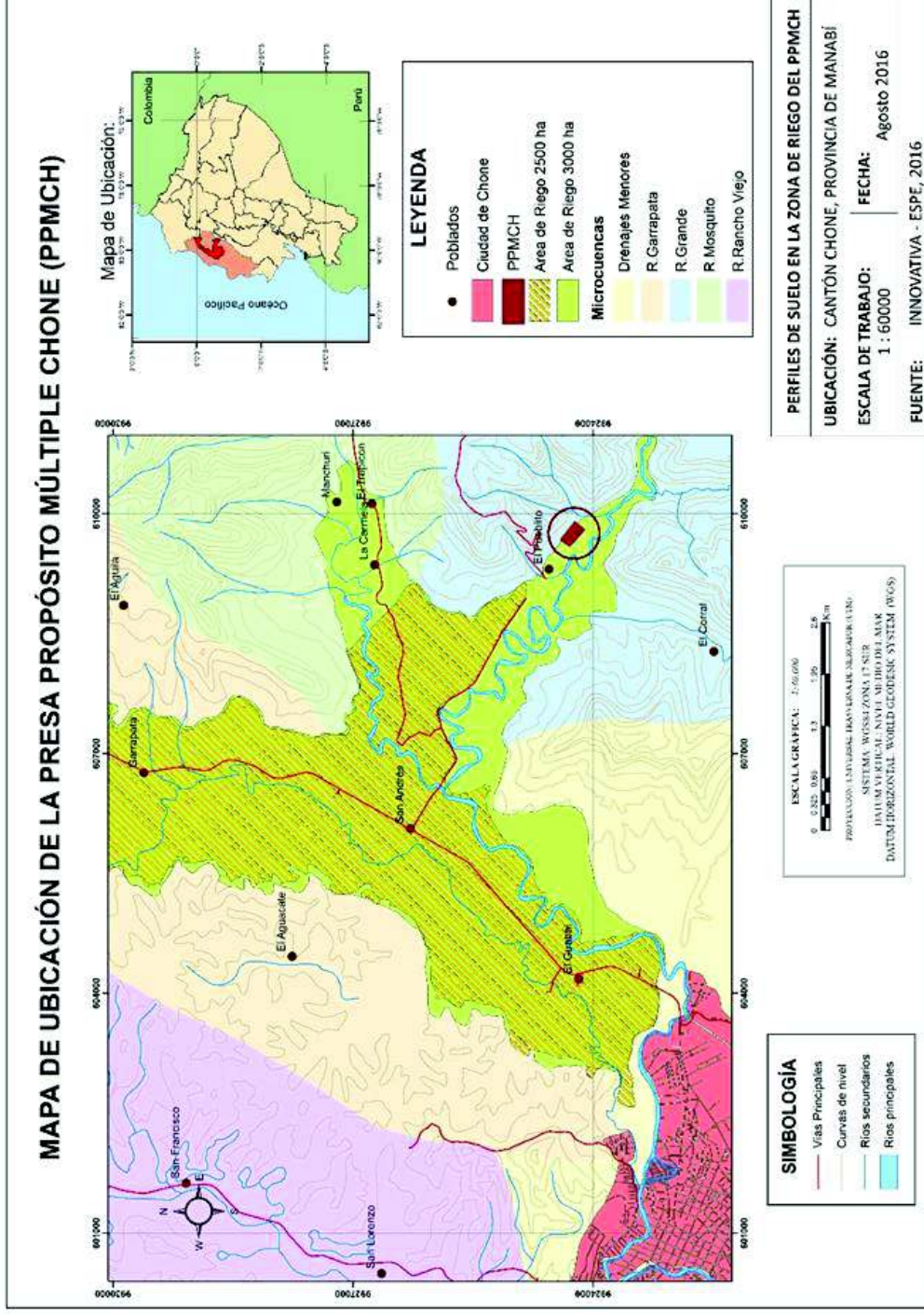
### **3.3 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO PROPÓSITO MÚLTIPLE CHONE**

En el capítulo 2 del Estudio de Impacto Ambiental del SENAGUA (2010) describe que el Proyecto de Propósito Múltiple Chone, fue concebido ante la serie de eventos cíclicos de sequía e inundaciones que afectan anualmente a la ciudad de Chone. Se ha desarrollado, la primera fase, para dar solución integral a los problemas identificados en estudios anteriores. Esta fase fue inaugurada en diciembre de 2015.

La segunda fase comprende las obras correspondientes para el riego de aproximadamente 2700 hectáreas en la zona del valle rio abajo de la presa. En el proyecto original se consideraron 2200 hectáreas, luego se hizo una ampliación hasta 2770 hectáreas que serán regadas con las aguas del embalse a través de canales de riego que recorrerán la zona. Esta fase está en etapa de estudios.

En la Figura 3.1 se encuentra la ubicación del Proyecto Propósito Múltiple Chone (PPMCH).

**FIGURA 3.1  
UBICACIÓN DEL PROYECTO PROPÓSITO MÚLTIPLE CHONE (PPMCH)**



### **3.4 DISEÑO DEL PLAN DE MUESTREO.**

Para el buen desarrollo de cualquier investigación de suelos, contaminados o no, es necesario hacer un plan de muestreo que permita obtener muestras representativas, que cumplan con los requerimientos para luego realizar los ensayos en el laboratorio. Es importante tomar en cuenta algunas condiciones el momento de elaborar el plan de muestreo. Se deben conocer los antecedentes de la zona, estudios previos que permitan al investigador determinar el objetivo del muestreo. También establecer la ubicación geográfica del lugar de estudio con las respectivas coordenadas para facilitar su ubicación y la realización de un mapa con los puntos donde se realizará el muestreo. Se debe indicar la localización, distribución y el número de puntos de muestreo (Ministerio del Ambiente del Perú, 2014).

Para la elaboración del plan de muestreo, se debe definir claramente los objetivos de la investigación para optimizar el proceso de levantamiento de la información necesaria. El plan de muestreo debe contener los siguientes aspectos:

- Información básica del suelo: mapas de ubicación, planos de distribución de la infraestructura y construcciones existentes en el sitio de acuerdo a una evaluación histórica e inspección de sitio.
- Resultado de estudios previos del suelo (de existir)
- Determinación de las áreas de interés. Especificar la ubicación, el número de puntos de muestreo, establecer la profundidad de excavación y el volumen de muestras a recolectar
- Número mínimo de puntos de muestreo según el tipo de muestreo escogido
- El personal que realizará el muestreo, estableciendo las responsabilidades y actividades de cada uno
- Tipo y método que se usará para el muestreo.
- Determinación de los parámetros a analizar en las muestras: in situ y en el laboratorio, de ser el caso

- Establecer las técnicas, el equipo y los instrumentos que se necesitarán para realizar el muestreo. Estos deben garantizar la homogeneidad y representatividad de las muestras
- Tipo y características de los materiales que se usarán para la preservación y mantenimiento de las muestras durante el transporte desde el sitio del muestreo hasta el laboratorio, se deben garantizar medidas de seguridad para el manejo de las muestras, que determinen condiciones óptimas de calidad. Garantizar la cadena de custodia de las muestras
- Explicar las medidas de seguridad ocupacional a seguir durante el muestreo para garantizar la salud y seguridad de las personas que realizarán la toma de muestras (Ministerio del Ambiente del Perú, 2014).
- Describir las técnicas de muestreo
- Lugar y fecha del muestreo
- El nombre y las firmas de los responsables
- Entregar un modelo de la identificación que irá en cada una de las muestras en la que se debe incluir el número de muestra, las coordenadas del sitio, la hora de la toma de la muestra, la firma del responsable del muestreo y las observaciones de ser necesarias
- Anexos que soporten el plan de muestreo (NMX-AA-132-SCFI, 2006)

El plan de muestreo se lo debe realizar antes de empezar cualquier investigación en el campo y debe ser entregado impreso y versión digital editable para realizar alguna modificación previa a la fecha establecida.

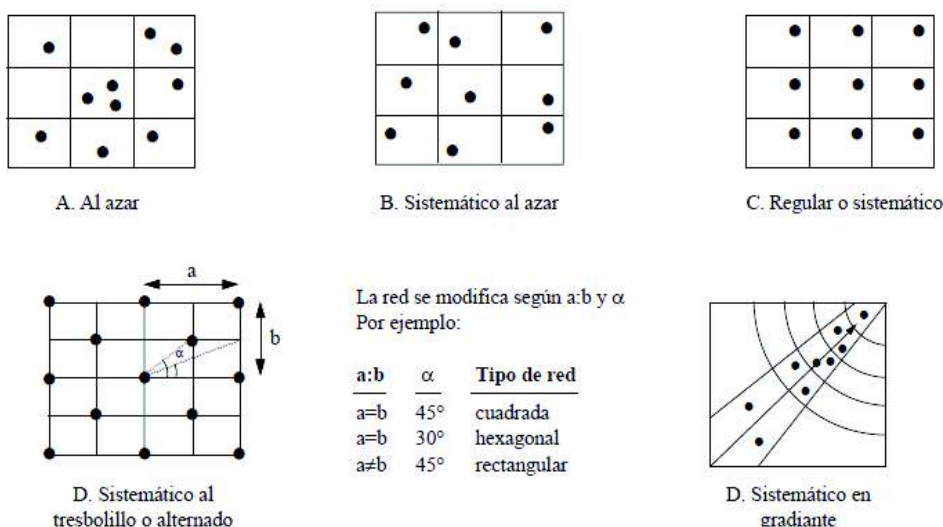
### **3.4.1 DETERMINACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO**

La ubicación de los puntos de muestreo se basa en la información precisa existente sobre el sistema o fenómeno a caracterizar. Se debe escoger el modelo para la toma de muestras representativas. Entre los modelos a escoger están: al azar, regular, tresbolillo o alternado, en gradiente o en zigzag. Estos se diferencian en función de la



forma en la que se tomará los puntos para el muestreo en el área a estudiar. Adicionalmente, se debe escoger la profundidad a la que se debe hacer la excavación para la toma de la muestra. (IHOBE, Sociedad Pública de Gestión Ambiental, 1998). En la Figura 3.2 se exponen algunos de los modelos de distribución espacial de los puntos de muestreo.

**FIGURA 3.2**  
**MODELOS DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE PUNTOS DE MUESTREO.**



FUENTE: (IHOBE, Sociedad Pública de Gestión Ambiental, 1998)  
ELABORACIÓN: Martha E. Pazmiño

El número y la profundidad de los puntos de muestreo se determinará en función del objetivo o del alcance de la investigación. En la mayoría de casos, la localización de los puntos de muestreo se hace en un mapa de la zona a estudiar.

### 3.4.2 CONSIDERACIONES PARA LA TOMA DE MUESTRAS. MANEJO Y CONTROL

El registro de toda la información obtenida al realizar el muestreo del suelo se debe registrar en una libreta de campo la que debe contener toda la información

concerniente al procedimiento, estos datos deben ser escritos con tinta indeleble y la libreta debe estar protegida del agua.

La libreta de campo debe contener los siguientes datos principalmente:

- Nombre de la persona que realizó el muestreo
- Datos de ubicación del sitio
- Clave de identificación de cada una de las muestras tomadas y del punto de muestreo que corresponda
- Ubicación del punto de muestreo con coordenadas y altitud
- La fecha, hora y temperatura de recolección de cada muestra
- Observaciones generales al momento de la toma de la muestra como: condiciones climáticas, presencia de vegetación, uso actual del suelo, edificaciones existentes, infraestructura vial e hidrosanitaria de ser el caso.
- Características del suelo como: textura, color, presencia de humedad, presencia de hojarasca, presencia de otros materiales que fueron eliminados durante el muestreo (NMX-AA-132-SCFI, 2006).

Según la norma mexicana (NMX-AA-132-SCFI, 2006) en su parte 5.2 establece que se debe garantizar que la muestra obtenida tenga el peso suficiente para que luego de secarla y tamizarla a través de un tamiz No. 10 contenga por lo menos 250 gramos de residuo fino para hacer los análisis de laboratorio. Así mismo en la norma (NOM-021-SEMARNAT, 2000) indica que se debe tener por lo menos 1500 gramos de suelo para poder realizar los ensayos necesarios para el estudio.

Se debe tener cuidado con el equipo de muestreo, por ejemplo, palas, barrenos o cucharas. Estas deberán lavarse con agua entre muestras para evitar contaminarlas. De ser necesario se usarán cepillos o brochas para retirar los restos de suelo del último muestreo. De existir vegetación o raíces se deberán retirar antes de tomar la muestra, a no ser que sea parte del estudio. Si el suelo tienen piedras de aproximadamente 2cm de diámetro también se las debe retirar y por último se deberá hacer un detalle

fotográfico del sitio del muestreo y de los puntos de muestreo para evidenciar el entorno (NMX-AA-132-SCFI, 2006).

### 3.5 MÉTODOS PARA EL ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS DE SUELOS

Para los ensayos de caracterización físico-química del suelo se utilizaron extractos en proporciones suelo-agua 1≈0.2-0.6 (saturación), 1:5 y 1:10, que se obtuvo mezclando diferentes cantidades de suelo con agua destilada. (APHA, 1999)

En los extractos agua-suelo con concentraciones 1:≈0.2-0.6, 1:5 y 1:10 se realizaron los ensayos que se detallan en la Tabla 3.1 para determinar las características físico-químicas especificando el tipo de análisis realizado, el método seguido y la referencia a la norma técnica.

**TABLA 3.1**  
**METODOLOGÍA DE ANÁLISIS POR PARÁMETRO PARA LA DETERMINACIÓN DE CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE LAS MUESTRAS DE SUELO**

Parámetro	Método	Referencia Norma
pH	Multiparamétrico marca Hach Modelo HQ40, con sonda medidora de pH	Hach 2000
Conductividad Eléctrica (CE)	Multiparamétrico marca Hach Modelo HQ40, con conductivímetro	Hach 2000
Residuo seco evaporado	Gravimétrico usando estufa marca Memmert modelo SN30	APHA 1995 Método 2540B
Residuo seco calcinado	Gravimétrico usando mufla marca Thermolyne	APHA 1995 Método 2540B
Sodio y Potasio	Absorción atómica	APHA 2005 Método 3111
Calcio	Volumétrico titulación 0.01M/Indicador Murexida	EDTA APHA 2005 Método 3500-Ca-B
Magnesio	Absorción Atómica	APHA 1998 Método 2340C

Parámetro	Método	Referencia Norma
Carbonatos y Bicarbonatos	Volumétrico, titulación con ácido sulfúrico 0.02N, indicador fenolftaleína/Naranja de Metilo	EPA 1983 Método 310.1
Hierro	Absorción atómica	APHA 1998 Método 2340C
Cloruros	Titulación con Nitrato de plata 0.019 N, indicador: Dicromato de Potasio	NTE INEN 0976, 1984
Sulfatos	Espectrofotometría / Espectrofotómetro Hach DR5000	Hach 2000 Método 8190
Boro	Método de la Curcumina	APHA 1988 Método 4500-B B
Densidad Real	Picnómetro	ASTM D 4892
Densidad Aparente	Probeta	Gandoy 1991
Humedad	Gravimétrico	NOM-021-SEMARNAT-2000

ELABORACIÓN: Martha E. Pazmiño

### 3.6 ANÁLISIS GEOESTADÍSTICO DE DATOS.

La geoestadística es una rama de la estadística aplicada en la que mediante herramientas y técnicas se analizan y predicen los valores de una variable que está distribuida en el espacio o en el tiempo en forma continua. Puede analizar porosidades, concentraciones de contaminantes, variables climatológicas, etc. Su aplicación es orientada a los sistemas de información geográfica (SIG), es la estadística relacionada con datos geográficos por lo que se le conoce como estadística espacial (Moral García, 2004).

La estadística espacial se basa en metodologías y técnicas de análisis de datos de variables de carácter aleatorio en distintos sitios, distribuidos en el área de interés. La geoestadística nace de una combinación de la estadística con la geografía y forma parte de la estadística espacial, donde el proceso estocástico de toma de muestras debe considerar un conjunto de datos continuo seleccionados (Lema, E., Carrión, C., 2013).

El análisis geoestadístico se compone de tres etapas. La primera conocida como análisis exploratorio de datos, basado en técnicas estadísticas convencionales que permiten obtener información desconocida sobre la muestra estudiada mediante análisis gráficos como histogramas, diagramas de caja entre otras para identificar valores atípicos de la forma de la distribución, permite también calcular medidas de variabilidad y correlación. La segunda etapa es el análisis estructural, es el proceso de estimación y modelación de la función que describe la correlación espacial, y la tercera es la etapa de predicciones que consiste en estimaciones de la variable estudiada en los puntos que no corresponden a las muestras, considerando la estructura de correlación espacial seleccionada e integrando la información obtenida de forma directa en los puntos muestrales, y la conseguida indirectamente en forma de tendencias conocidas (Díaz M. , 2002).

Con los resultados obtenidos luego de realizar los diferentes ensayos se hizo un análisis de componentes principales usando el software libre Minitab 17 que permitió establecer cuáles son los componentes más críticos y así determinarlos. Luego se debe establecer que sucede con esas variables principales empleando los métodos de interpolación Kriging e IDW. Este análisis espacial se hizo a partir de mapas elaborados en el programa ArcGIS 9.2 en el laboratorio de Geomática de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE en base a información proporcionada por la empresa Inovativa encargada de los estudios de la segunda fase del PPMCH.

### **3.6.1 ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES**

El Análisis de Componentes Principales es una técnica estadística para sintetizar la información mediante la reducción del número de variables. Ante un grupo de datos con muchas variables, el objetivo será reducirlas a un número menor perdiendo la menor cantidad de información posible. Estos nuevos componentes principales serán una combinación lineal de las variables originales y serán independientes entre sí (Terrádez, 2013).

Este es un método descriptivo que no parte de una hipótesis previa para obtener una representación de los datos en el nuevo espacio dimensional de nuevas variables o componentes principales. Se genera como función lineal de las variables, no se parte de factores iniciales (Guisande, C., Barreiro, A., Maneiro, I., Riveiro, I., Vergara, A., Vaamonde, A., 2006).

### **3.6.2 METODOLOGIA KRIGING PARA ANÁLISIS DE DATOS**

Esta metodología está basada en modelos estadísticos que incluyen la auto corrección entre los puntos medidos, presupone que la distancia o la dirección entre los puntos muestreados reflejan una correlación espacial que puede utilizarse para explicar la variación en la superficie (ArcGIS, 2010).

Kriging es un método de estimación que da la mejor estimación lineal insesgada de los valores de los puntos, esto es, elegir el promedio ponderado de los valores de las muestras la cual tenga la mínima varianza. Existen varios métodos de Kriging y su precisión depende de varios factores (Zavaleta, 2010):

1. El número de muestras y la calidad de los datos en cada punto. (Zavaleta, 2010)  
Una regla general, es que el número de puntos en el espacio objeto de estudio no debería ser inferior a 50, sin embargo existen ciertas reglas que sirven de guía, pero no deben ser tomadas como un dogma insalvable. Se encuentran trabajos publicados con menos de 50 puntos en el espacio (aunque no muchos menos) sin mostrar comportamiento anómalo (Gallardo, 2006).
2. La posición de las muestras en el depósito.
3. La distancia entre las muestras y el punto a ser estimado.
4. La continuidad espacial bajo consideración (Zavaleta, 2010).

La clasificación del método de Kriging puede ser simple, ordinario, universal o residual. De estos, el Kriging simple requiere el conocimiento de la media y la covarianza por lo que se no es práctico ya que estos son generalmente desconocidos (Díaz & Gonzales,

2009). El Kriging ordinario es el más usado y el más general, asume que el valor medio constante es desconocido. El Kriging universal presupone que hay una tendencia de invalidación de los datos y que puede modelarse mediante la función determinística polinómica. Esta función se resta de los puntos medidos originalmente y su autocorrección se modela a partir de los errores aleatorios (ArcGIS, 2010).

El método de Kriging ordinario al desconocer la media establece una condición adicional al sistema de ecuaciones de Kriging simple. Se debe buscar que los valores de las ponderaciones  $\lambda$ 's minimicen la varianza y cumplan que su suma sea igual a 1. Esto es para garantizar su condición de insesgamiento, es decir que la esperanza matemática coincida con el valor real del parámetro a estimar, lo que se resuelve a través del método de interpoladores de Lagrange (Díaz & Gonzales, 2009).

La ecuación utilizada para la aplicación del método de Kriging ordinario se presenta a continuación:

$$Z(u) = \sum_{\alpha=1}^N \lambda_{\alpha}(u)Z(u_{\alpha}) \quad (3.1)$$

### 3.6.3 METODOLOGÍA IDW PARA ANÁLISIS DE DATOS

El método IDW es similar al Kriging ordinario, ya que da más peso a los valores cercanos a un punto, pero posee una menor complejidad del cálculo. El IDW utiliza un algoritmo simple basado en distancias (Johnston, Hoef, Krivoruchko, & Lucas, 2001). Calcula el peso de los valores de acuerdo a la relación inversa de la distancia (Schloeder, Zimmermanb, & Jacobs, 2001) con la siguiente ecuación:

$$\lambda_i = \frac{[d(s_i, s_o)]^{-p}}{\sum_{i=1}^n [d(s_i, s_o)]^{-p}} \quad i = 1, \dots, n \quad (3.2)$$

Donde  $p$  es el parámetro del exponente que controla que tan rápido los pesos de los puntos tienden a cero (al aumentar su valor) conforme aumenta la distancia del sitio

de interpolación. Entre mayor sea  $p$ , mayor peso es dado a los puntos más cercanos y por consiguiente se obtiene superficies más continuas o suaves y las predicciones tienden hacia el promedio de la muestra (Schloeder, Zimmermanb, & Jacobsc, 2001). Los valores  $p$  usualmente están entre 1 y 3, donde 2 es el más común (Burrough & McDonnell, 1998), por lo que se usó el valor de 2 para  $p$  en todos los casos del presente estudio, la exactitud del IDW tiende a aumentar conforme  $p$  aumenta en el uso de datos con coeficientes de variación menores al 25%.

Kravchenko (2003) citado en Villatoro, Henríquez y Sancho (2008), recomienda el IDW para bases de datos pequeñas, en donde los parámetros del variograma no son conocidos, también cuando la distancia de muestreo es muy grande e incluso para cuando la distancia de muestreo es mayor al rango de la correlación espacial (Villatoro, Henríquez, & Sancho, 2008).



## CAPITULO 4

### ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 NÚMERO DE PUNTOS DE MUESTREO

La norma NMX-AA-132-SCFI (2006), habla sobre la toma de muestras en caso de suelos contaminados, se tomó como referencia para determinar el número de puntos de muestreo y además se consideró algunas variables adicionales para esta investigación. Así: se tomaron muestras superficiales entre 0 y 30 cm. Para este caso se tomaron las muestras a 20 cm de la superficie, luego de retirar la vegetación en los lugares donde existía para poder tomar estas. Serán muestras simples una en cada punto de muestreo.

También la misma norma mexicana NMX-AA-132-SCFI (2006), establece que el número de puntos de muestreo será calculado tomando en cuenta el área en hectáreas de la zona de estudio. La fórmula para el cálculo de número de puntos es la siguiente:

$$Y = X^{0.3} * 11.71 \quad (2)$$

Donde:

Y = Número mínimo de puntos de muestreo

X = Superficie de la zona de estudio en hectáreas

Al aplicar la fórmula anterior a esta investigación y al ser el área de estudio aproximadamente 2700 hectáreas se deberían tomar 125 muestras. Se hizo una consulta de expertos y se determinó que se tomarían 22 muestras en función del objetivo de este estudio y además en función de estudios anteriores que se realizaron en la zona. Con los puntos muestreados se completaron estudios realizados en años pasados.

Se realizó el muestreo a lo largo de la carretera Flavio Alfaro – Chone y la carretera de acceso a la presa del PPMCH cubriendo la extensión de los suelos agrícolas de la zona. Se utilizó la técnica de muestreo en zigzag, partiendo de un punto en el terreno y continuó alternando a cada lado de la vía. Se procuró que al escoger al azar los puntos de muestreo se defina una superficie homogénea (NOM-021-SEMARNAT, 2000).

La profundidad de los muestreos se estableció en 20 centímetros de la superficie ya que el suelo en esa zona es homogéneo y para el fin de esta investigación no fue necesario tomar muestras verticales. Se tomaron 13 muestras en dos épocas del año, enero 2016 y agosto 2016, para evidenciar si había algún cambio en la composición de los extractos usados en el laboratorio y para determinar las características físico-químicas de estos. Se consideraron 9 muestras de estudios anteriores realizados en la zona. La intención fue completar el estudio y hacer un análisis en el tiempo.

En la Tabla 4.1 se presenta la descripción de los puntos de muestreo para esta investigación.

**TABLA 4. 1  
LOCALIZACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO EN LA ZONA DE RIEGO DEL  
PPMCH**

Número de perfil	Descripción	X	Y
1	Cultivo: Naranjos	607437	9931488
2	Cultivo de pasto	607434	9930652
3	Cultivo de maíz	607306	9930518
4	Campus Universidad Católica	607395	9930554
5	Siembra de naranja y mandarina	606742	9926056
6	Siembra de cacao (mosquito)	606723	9926132
7	Cultivo principal: plátano	606688	9928274
8	Siembra de cacao criollo	604226	9924482
9	Sector El Guabal, cultivo de cítricos	604105	9924346
10	Cultivos cacao y plátano	604102	9924528
11	Cultivo plátano. Parcialmente inundada	604054	9924446

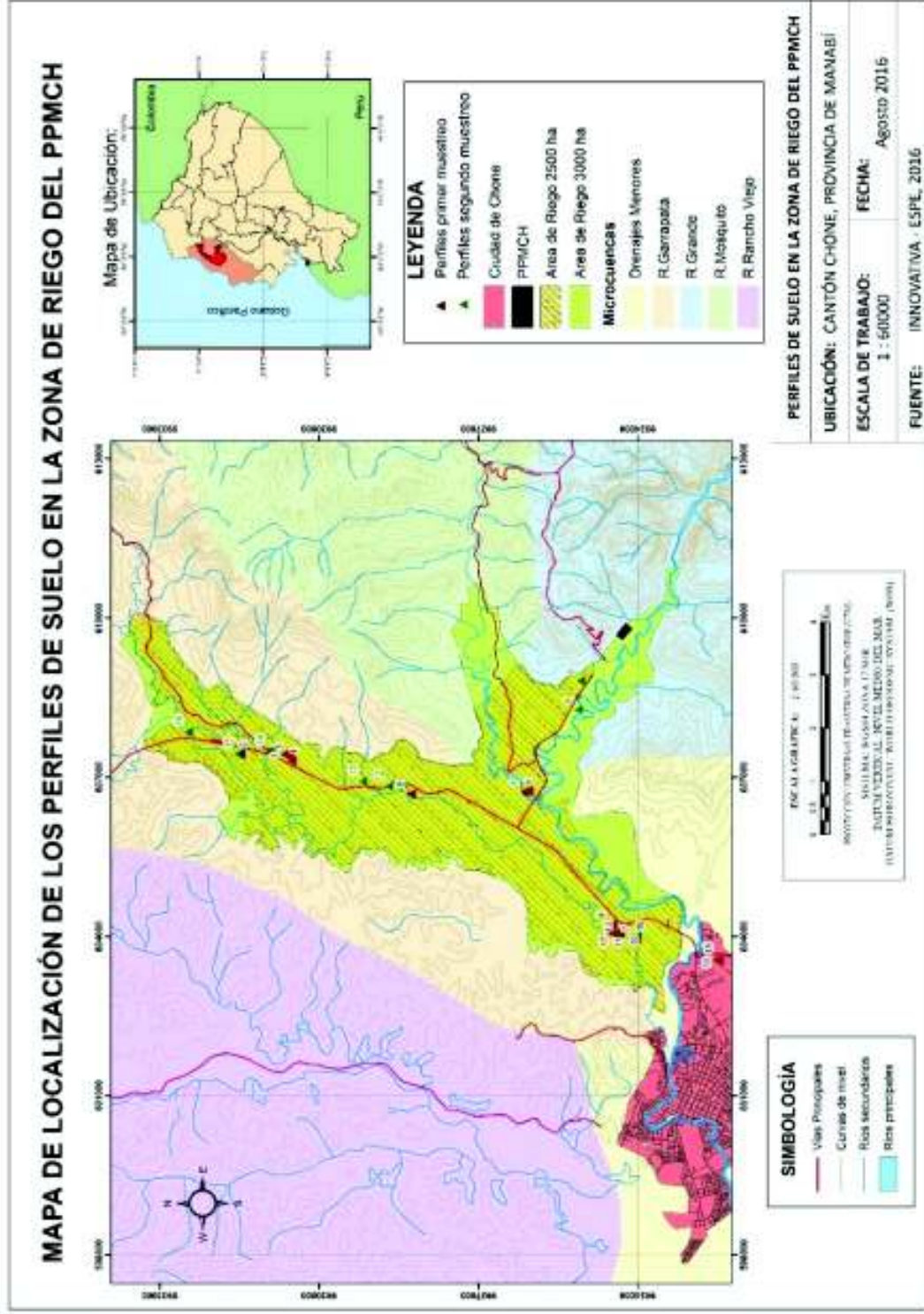
<b>Número de perfil</b>	<b>Descripción</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
12	Cítricos	604007	9924364
13	Cultivo de cacao	603558	9922510
14	Suelos con problemas de producción (zorilla)	603552	9922472
15	Cultivos cacao, plátano y mandarina	603972	9924042
16	Cultivos mandarina, cacao y naranjas	608266	9925118
17	Pasto exclusivamente para ganado	608807	9925066
18	Cultivo plátano, plantel avícola	606820	9928680
19	Cultivo toronja	606912	9929166
20	Cultivos cacao y plátano	607486	9930916
21	Cultivo plátano, cítricos, plantas nuevas de cacao,	607433	9931518
22	Cultivo de mandarinas, cacao	607850	9932452

ELABORACIÓN: Martha E. Pazmiño

En la Figura 4.1 se presenta la ubicación de los puntos de muestreo para el área de estudio.

FIGURA 4.1

UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO DE SUELOS EN LA ZONA DE RIEGO DEL PPMCH



## 4.2 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS PERFILES DE SUELO

El suelo se define como un medio poroso formado en la superficie terrestre mediante el proceso de meteorización durante largos períodos, aportados por los fenómenos biológicos, geológicos e hidrológicos (TULSMA, 2015). Las propiedades físicas determinadas en los perfiles de suelo de las zonas destinadas a riego del PPMCH fueron humedad, densidad real, densidad aparente y porosidad.

### 4.2.1 DENSIDAD APARENTE

La densidad aparente de un suelo se define como el cociente que resulta de dividir el peso de suelo seco en estufa por unidad de volumen total, incluyendo los poros. Los valores de la densidad aparente varían en función de las propiedades de los suelos fundamentalmente con la textura y el contenido de materia orgánica (Thompson & Troeh, 2002).

En la Tabla 4.2 se presenta la clasificación dada por la (NOM-021-SEMARNAT, 2000) para interpretar los datos de densidad aparente.

**TABLA 4.2**  
**CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS SEGÚN LA DENSIDAD APARENTE**

TIPO DE SUELOS	g/cm <sup>3</sup>
Orgánicos y volcánicos	<1
Minerales	
Arcillosos	1-1.19
Francosos	1.20-1.32
Arenosos	>1.32

FUENTE: (NOM-021-SEMARNAT, 2000)

ELABORADO: Martha E. Pazmiño

Richards (1973), muestra que la densidad aparente del suelo puede llegar a ser un factor crítico en la productividad del suelo ya que para valores de  $1,7 \text{ g/cm}^3$  se han detectado problemas de drenaje y baja conductividad hidráulica. Para valores de  $1,8 \text{ g/cm}^3$  se ha encontrado que las raíces de las plantas no penetran en el suelo. Es así que el interés de la densidad aparente es necesario desde el punto de vista del manejo del suelo ya que proporciona información sobre la compactación de cada horizonte y nos permite inferir las dificultades para la emergencia, el enraizamiento y la circulación del agua y el aire (Porta, López-Acevedo, & Roquero, 2003).

En función de los valores de la Densidad Absoluta, Densidad Relativa y Porosidad obtenidos en los ensayos de laboratorio y presentados a continuación en la Tabla 4.3, el 72.72% de las muestras (16 perfiles) son suelos arcillosos, el 22.73% (5 perfiles) son suelos francosos y el 4.55% (1 perfil) corresponde a suelos orgánicos y volcánicos.

**TABLA 4.3**  
**VALORES DE DENSIDAD APARENTE, DENSIDAD REAL Y POROSIDAD**  
**OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS DE LABORATORIO**

Perfil	Densidad Aparente	Tipo de suelo	Densidad Real $\text{gr/cm}^3$	Materiales Minerales	% Porosidad
1	1.19	Arcilloso	2.07	Minerales de arcilla	42.62
2	1.18	Arcilloso	2.39	Minerales de arcilla	50.56
3	1.15	Arcilloso	2.34	Minerales de arcilla	51.00
4	1.10	Arcilloso	2.15	Minerales de arcilla	48.91
5	1.00	Arcilloso	2.28	Minerales de arcilla	56.14
6	0.99	Orgánico-volcánico	2.27	Minerales de arcilla	56.56
7	1.22	Francoso	2.23	Minerales de arcilla	45.17
8	1.04	Arcilloso	2.08	Minerales de arcilla	49.79
9	1.18	Arcilloso	2.45	Minerales de arcilla	51.62
10	1.22	Francoso	2.04	Minerales de arcilla	40.08
11	1.06	Arcilloso	1.90	Minerales de arcilla	44.21
12	1.14	Arcilloso	2.18	Minerales de arcilla	47.47
13	1.20	Francoso	2.25	Minerales de arcilla	46.60
14	1.11	Arcilloso	2.41	Minerales de arcilla	54.00
15	1.11	Arcilloso	2.44	Minerales de arcilla	54.92
16	1.14	Arcilloso	2.54	Cuarzo, Feldespato	55.12
17	1.19	Arcilloso	2.47	Minerales de arcilla	51.82
18	1.25	Francoso	2.39	Minerales de arcilla	47.70

Perfil	Densidad Aparente	Tipo de suelo	Densidad Real gr/cm <sup>3</sup>	Materiales Minerales	% Porosidad
19	1.31	Francoso	2.52	Cuarzo, Feldespato	48.02
20	1.17	Arcilloso	2.39	Minerales de arcilla	51.05
21	1.14	Arcilloso	2.56	Cuarzo, Feldespato	55.47
22	1.09	Arcilloso	2.45	Minerales de arcilla	55.51

ELABORACIÓN: Martha E. Pazmiño

#### 4.2.2 DENSIDAD REAL

La densidad real de un suelo, es la relación que existe entre el peso de éste, en seco y el volumen real o sea el volumen de sus partículas. Para un horizonte cualquiera, la densidad real será prácticamente la misma al ser independiente de la estructura y de la naturaleza de las partículas (Porta, López-Acevedo, & Roquero, 2003).

En el laboratorio se determina la densidad real a partir del peso seco de la muestra de suelo y el volumen ocupado por los sólidos de la muestra. El volumen se halla usando un picnómetro y el procedimiento corresponde a la aplicación del Principio de Arquímedes, así se obtiene el volumen del líquido que es desplazado por los sólidos al ser sumergidos. (Rubio Gutierrez, 2010)

Rubio Gutierrez (2010) en su estudio indica que el valor de la densidad real o de las partículas cambia en función del tipo de minerales de la piedra madre y de la cantidad de materia orgánica del suelo. Como la materia orgánica pesa mucho menos que un volumen igual de sólidos minerales, la cantidad de esta afecta marcadamente a la densidad de las partículas.

La densidad de algunos minerales de formación del suelo es muy parecido y la mayoría de suelos tienen una densidad real aproximada de 2.65 g/cm<sup>3</sup>. En la Tabla 4.4 se presentan los valores de la densidad real de los principales materiales y horizontes edáficos.

**TABLA 4.4**  
**VALORES DE DENSIDAD REAL DE LOS PRINCIPALES MATERIALES Y**  
**HORIZONTES EDÁFICOS MODIFICADOS**

<b>MATERIALES MINERALES</b>	<b>VALOR EN g/cm<sup>3</sup></b>
Minerales de arcilla	2.00-2.60
Cuarzo, Feldespato	2.50-2.60
Minerales con elementos metálicos	4.90-5.30
Horizontes minerales	2.60-2.75
Horizontes orgánicos	1.10-1.40
Horizontes ricos en metales pesados	2.75
Valor medio para suelos minerales	2.65

FUENTE: (Rubio Gutierrez, 2010)

MODIFICADO DE: (Porta, López-Acevedo, & Roquero, 2003)

ELABORACIÓN: Martha E. Pazmiño

El promedio de las densidades reales de las muestras obtenidas en la zona de estudio es 2.31 g/cm<sup>3</sup>. La mayoría de los perfiles (19) correspondientes al 86.36% tienen minerales de arcilla y el resto de perfiles, tres (13.64%) tienen cuarzo y feldespato en su composición.

#### 4.2.3 POROSIDAD

Está definida como la relación entre el volumen de vacíos y el volumen total del suelo (Carrera Villacrés, 2011), se la expresa en porcentaje. Para el cálculo de la porosidad se utilizó la fórmula que relaciona la densidad aparente y la densidad real:

$$Porosidad = \frac{Dr - Da}{Dr} * 100 \quad (3)$$

Donde:

Dr = Densidad real

Da= Densidad aparente

Al hablar de porosidad se incluyen todos los espacios vacíos que se encuentran en el suelo. Es el espacio no ocupado por partículas de suelo, que puede estar ocupado por aire y por agua. Estos están relacionados con los patrones de enraizamiento, con



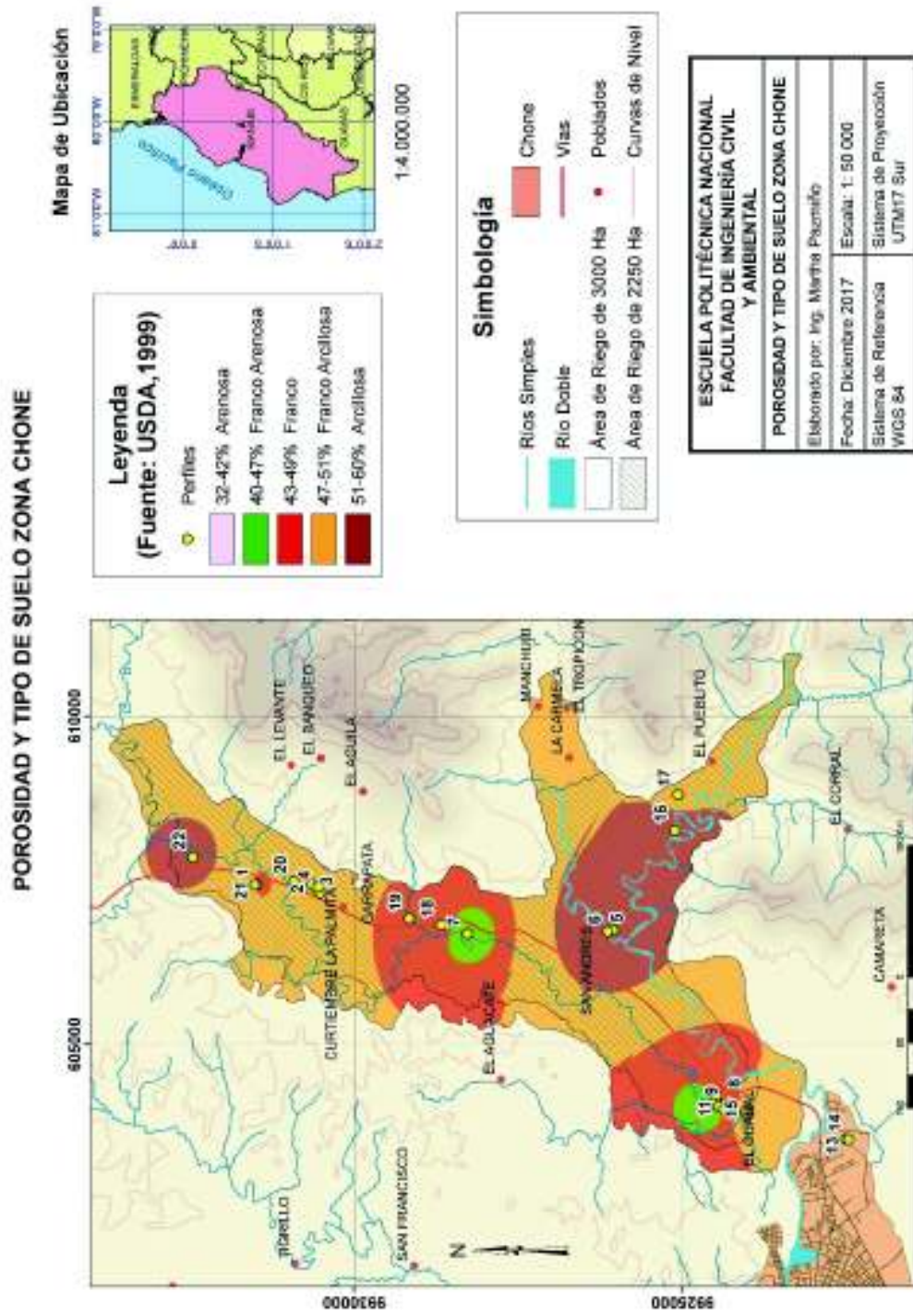
agrietamientos, desplazamientos y percolación. El espacio vacío puede también llamarse poro (FAO, 2009).

Los suelos arenosos tienen poros grandes y continuos, mientras que los suelos arcillosos tienen poros muy pequeños y muy abundantes por lo que tienen una mayor porosidad total. Según Aguilera y Martínez (1996), los valores de la porosidad tienen valores sobre el 30% para arenas, 50% para suelos francos y 65% para las arcillas.

Los valores máximo y mínimo de porosidad en las muestras tomadas en la zona de estudio fueron 56.56% y 40.08%. En la Tabla 4.3 se presentaron los tipos de suelo que se encuentran en la zona estudiada. La mayor parte de los perfiles estudiados contienen minerales de arcilla (19 perfiles) y 3 tienen cuarzo y feldespato en su composición.

La Figura 4.2 presenta el mapa de distribución con la clasificación de los suelos de acuerdo a la porosidad.

**FIGURA 4.2**  
**CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS SEGÚN LA POROSIDAD**



#### 4.2.4 HUMEDAD

Para el crecimiento de las plantas el suelo debe estar con una buena estructura física y química y una buena formación de agregados que permita la circulación del aire, del agua y de los nutrientes para que haya una buena penetración de las raíces. Al cumplirse lo anterior las plantas gastan menos energía en el enraizamiento. La cantidad de agua que se retiene en el suelo va a depender del tipo de suelo y de su manejo (FAO, 2002).

En suelos altamente degradados con bajo porcentaje de porosidad, debido por ejemplo a que han sido compactados y con bajo contenido de materia orgánica, hay poca capacidad para almacenar agua que esté disponible para el crecimiento de un cultivo. En las zonas donde no hay suficiente agua, la humedad del suelo tiene vital importancia (FAO, 2002).

El contenido de humedad va a variar con el tipo de suelo, la profundidad y la cantidad de materia orgánica. Para que la captación, la percolación el almacenamiento del agua y el uso de la humedad del suelo se deben tener presentes aspectos importantes que tienen que ver con tres capacidades físicas:

- La capacidad de permitir que ingrese agua al suelo, o sea el grado de infiltración.
- La capacidad de movimiento del agua a través del perfil, o sea la permeabilidad del suelo.
- La capacidad de almacenar la humedad en la zona radical y liberarla a las raíces de la planta, o sea la capacidad de retención del agua. (FAO, 2002).

El porcentaje de humedad se obtiene usando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(wh - ws)}{ws} * 100 \quad (4)$$

Donde:

wh = Peso húmedo de la muestra de suelo

ws = Peso seco a 105°C de la muestra de suelo

Es necesario conocer cómo se encuentra retenida la humedad en el suelo y su movilidad.

En la Tabla 4.5 se presentan los datos de humedad de los 22 perfiles obtenidos de en el laboratorio.

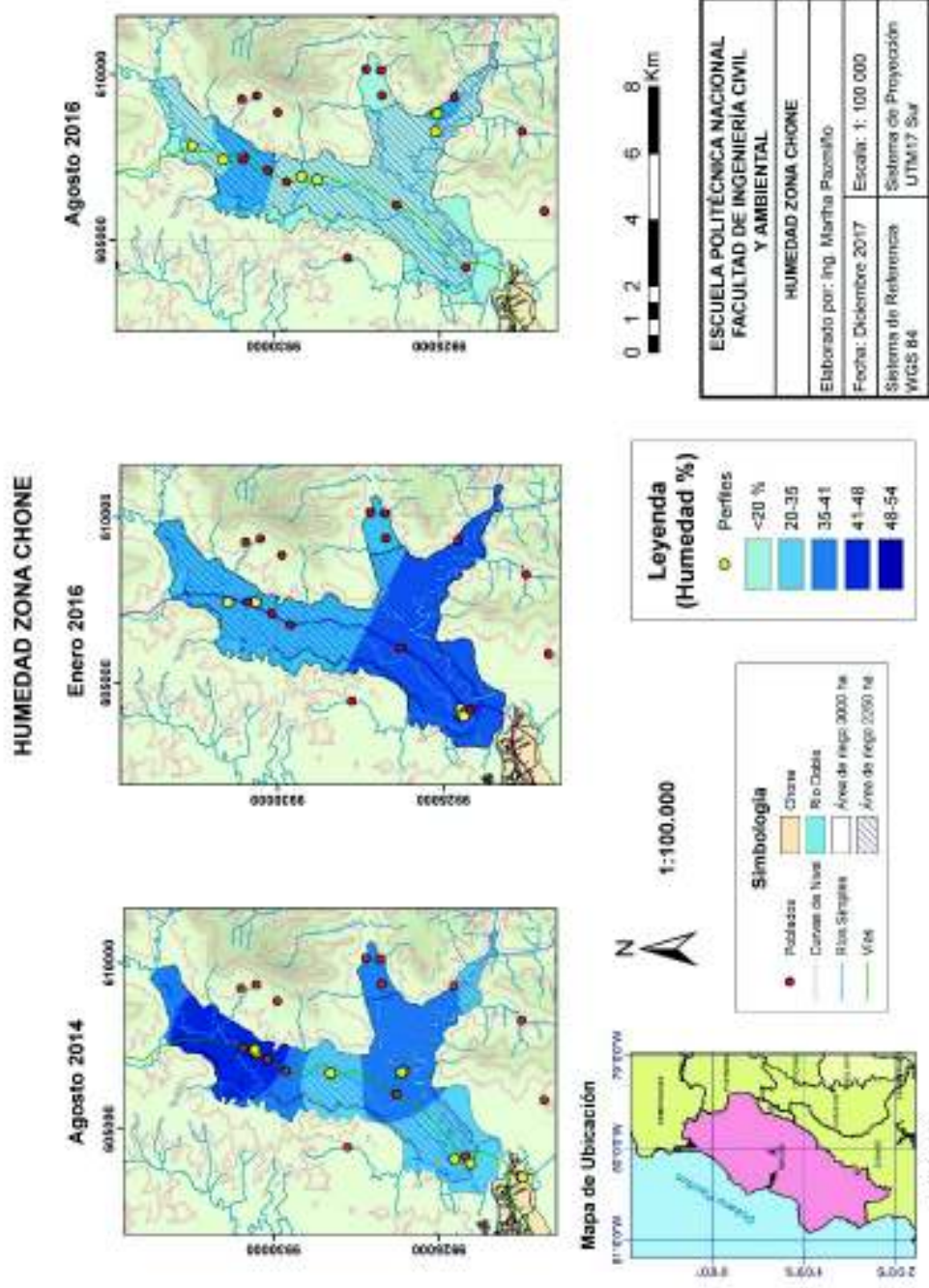
**TABLA 4.5**  
**PORCENTAJE DE HUMEDAD OBTENIDOS DE LOS DATOS DE LABORATORIO**

PERFIL	% DE HUMEDAD	FECHA DE MUESTREO
1	27.17	Enero 2016
2	29.60	Enero 2016
3	38.60	Agosto 2014
4	50.64	Agosto 2014
5	42.27	Agosto 2014
6	36.59	Agosto 2014
7	29.43	Agosto 2014
8	32.98	Enero 2016
9	29.51	Enero 2016
10	34.32	Agosto 2014
11	54.03	Enero 2016
12	36.96	Enero 2016
13	24.69	Agosto 2014
14	21.39	Agosto 2014
15	19.98	Agosto 2014
16	12.14	Agosto 2016
17	23.47	Agosto 2016
18	19.93	Agosto 2016
19	15.94	Agosto 2016
20	27.47	Agosto 2016
21	18.12	Agosto 2016
22	18.17	Agosto 2016

ELABORACIÓN: Martha E. Pazmiño

La Figura 4.3 presenta el porcentaje de humedad de los perfiles de suelo estudiados de acuerdo a la época de muestreo.

**FIGURA 4.3**  
**PORCENTAJE DE HUMEDAD DE LOS PERFILES DE SUELO ESTUDIADOS POR ÉPOCAS DE MUESTREO**



### **4.3 PROPIEDADES QUÍMICAS DE LOS PERFILES DE SUELO**

Los extractos acuosos no disuelven por completo todas las sales que se encuentran en los suelos, esto se debe a la existencia de una relación suelo-agua específica que conduce al desarrollo de un equilibrio salino, al volumen restrictivo de la solución y a la rápida acción del agua sobre las sales en temperaturas de 18 a 20°C. Las sales más solubles como  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  y  $\text{NaCl}$  son removidas en su totalidad de los suelos por los extractos acuosos; las sales de más baja solubilidad como  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NaHCO}_3$ , pasan de manera incompleta a los extractos acuosos, cuando estas se encuentran de manera considerable en los suelos y las sales como el  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ,  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ ,  $\text{CaCO}_3$  y el  $\text{MgCO}_3$  se disuelven en cantidades muy pequeñas (Diaz, Ortega, Ramirez, & Rone, 1986).

Las sales de fácil solubilidad pasan al extracto rápidamente en una relación 1:1 ya que un aumento sucesivo de la relación suelo-agua casi no influye en la cantidad extraíble de sales. Sin embargo, cuando se tiene un suelo sulfático con el aumento de la relación suelo-agua la cantidad de sales que son extraídas aumenta. Por lo que para evaluaciones generales la preparación de los extractos puede limitarse a la relación suelo-agua 1:5, ya que con esta relación todas las sales de fácil solubilidad pasan la solución (Diaz, Ortega, Ramirez, & Rone, 1986).

#### **4.3.1 CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS EN BASE AL pH Y A LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA**

El pH del suelo es una medida de la acidez o alcalinidad del suelo. Los valores menores a 7 indican acidez y los valores mayores indican alcalinidad. Dependiendo de su valor puede afectar la disponibilidad de los nutrientes para los cultivos, la actividad de microorganismos y la solubilidad de los minerales en el suelo. Comúnmente, los

valores de pH entre 6.0 y 7.5 son óptimos para el crecimiento de la mayoría de cultivos (USDA, 1999).

Los valores estándar de pH medidos en extractos de saturación pueden ser comparados con los valores de pH del agua que servirá como base. Un extracto más diluido, por ejemplo un extracto agua suelo 1:5, generalmente tendrá un pH mayor y un extracto con menor concentración generalmente tendrá un valor menor de pH (USDA, 2017).

Con el objeto de diferenciar los suelos salinos de los que no lo son se han sugerido ciertos factores arbitrarios, por ejemplo, se considera que cierto tipo de plantas empiezan a ser afectadas cuando el contenido de sales en el suelo excede el 1%. Un suelo es salino si el valor de conductividad eléctrica medido en un extracto de saturación es de 4dS/m o mayor (Richards, 1973).

En la Tabla 4.6 se presentan los valores del pH y los valores de la Conductividad Eléctrica de los diferentes extractos suelo-agua para cada perfil.

**TABLA 4.6**  
**VALORES DE pH Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN FUNCIÓN DE LOS**  
**EXTRACTOS DE SATURACIÓN, 1:5 Y 1:10**

PERFIL	SATURACIÓN		1:5		1:10	
	pH	CE dS/m	pH	CE dS/m	pH	CE dS/m
1	7.24	0.17	6.91	0.07	7.35	0.05
2	6.91	0.34	6.90	0.06	6.85	0.04
3	6.64	0.66	6.70	0.16	6.51	0.08
4	7.17	0.63	7.51	0.13	7.44	0.10
5	6.93	0.26	7.00	0.07	6.87	0.05
6	6.84	0.31	6.81	0.07	6.82	0.04
7	7.39	0.29	7.53	0.13	7.77	0.09
8	7.52	0.31	7.59	0.11	7.43	0.07
9	6.59	0.25	6.60	0.08	6.68	0.08
10	7.59	0.10	7.39	0.03	7.24	0.02
11	7.43	0.15	7.31	0.06	7.24	0.04
12	7.05	0.33	7.08	0.06	7.04	0.06
13	6.58	0.54	6.81	0.24	6.51	0.24
14	6.56	0.30	6.65	0.06	6.51	0.06
15	7.13	0.26	7.00	0.06	6.91	0.04

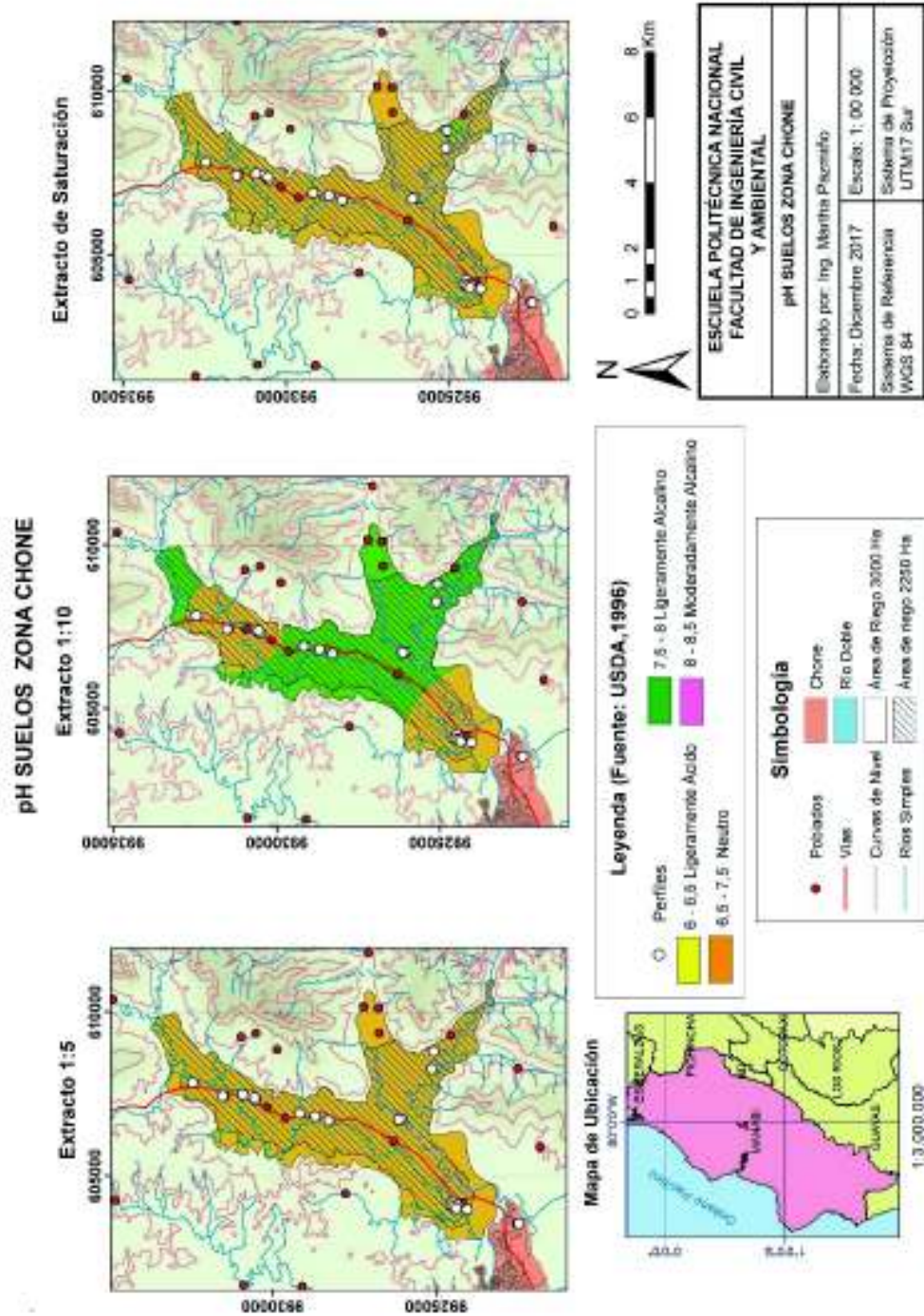
PERFIL	SATURACIÓN		1:5		1:10	
	pH	CE dS/m	pH	CE dS/m	pH	CE dS/m
16	7.29	0.08	6.95	0.02	6.71	0.02
17	7.63	0.48	7.21	0.08	7.09	0.06
18	7.04	0.10	6.98	0.03	6.49	0.03
19	7.20	0.19	7.06	0.05	7.00	0.03
20	7.12	0.19	7.03	0.05	6.85	0.04
21	6.91	0.08	6.70	0.02	6.55	0.02
22	7.09	0.18	6.96	0.04	6.82	0.03

ELABORACIÓN: Martha E. Pazmiño

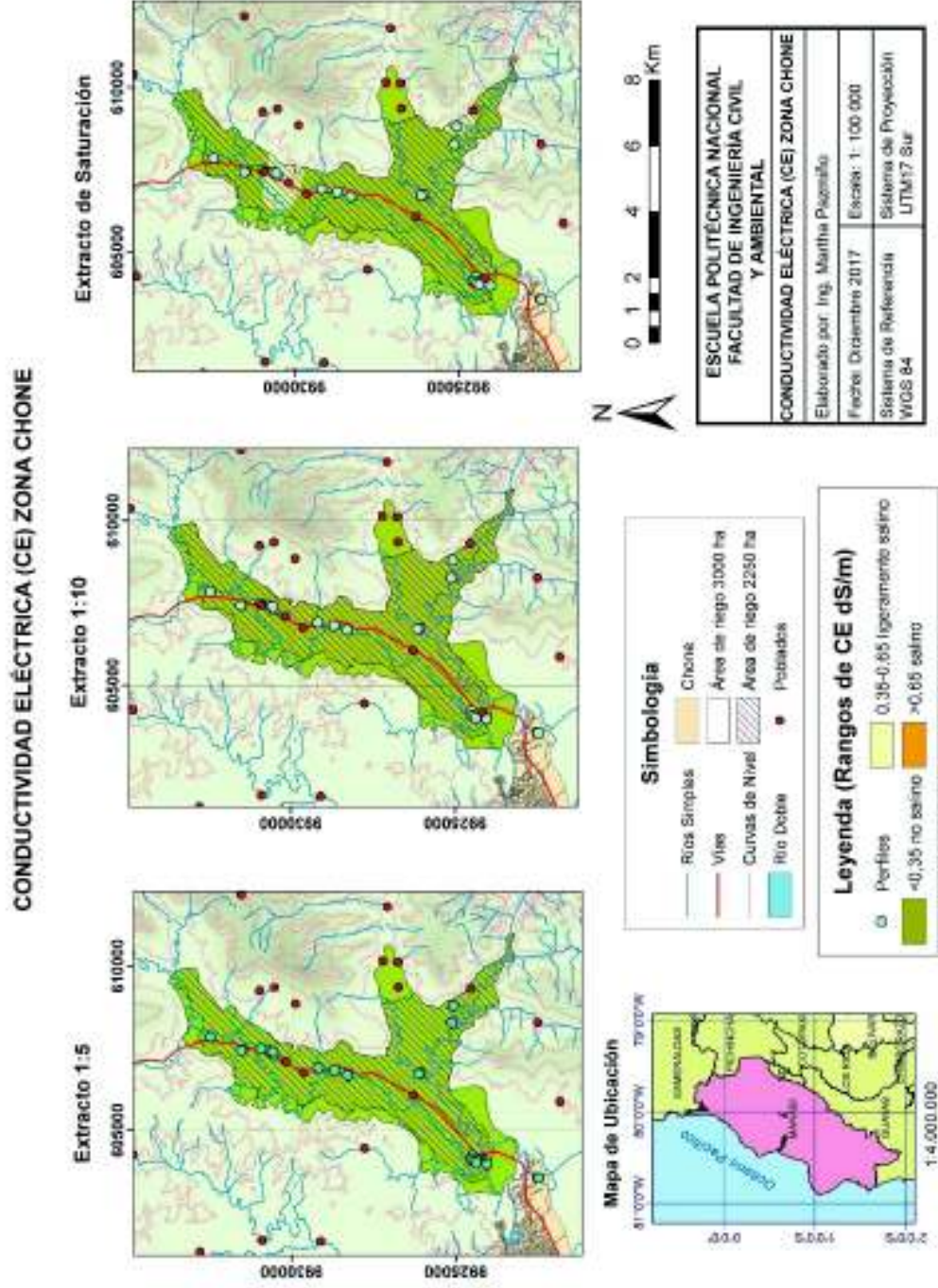
A continuación, las Figuras 4.4 y 4.5 presentan los mapas con la distribución espacial del pH y de la CE para extractos de saturación del suelo.



**FIGURA 4.4**  
**MAPA DE pH DE LOS PERFILES DE SUELO ESTUDIADOS**



**FIGURA 4.5  
MAPA DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DE LOS PERFILES DE SUELO ESTUDIADOS**



### **4.3.2 DISTRIBUCIÓN DE CATIONES Y ANIONES DEL MUESTREO**

La composición iónica de los suelos está determinada por cuatro cationes: calcio, magnesio, potasio y sodio y por cuatro aniones: carbonatos, bicarbonatos, cloruros y sulfatos.

Para la investigación de la salinidad del suelo con relación al desarrollo de las plantas se sugiere utilizar la conductividad del extracto de saturación como medio de evaluación ya que el porcentaje de saturación está directamente relacionado con los valores de la humedad que pueden contener los suelos (Richards, 1973).

En las Tablas 4.7, 4.8 y 4.9 se presentan la distribución de los cationes y aniones de los perfiles ensayados para determinar cómo se presentan las sales de las diferentes concentraciones.

**TABLA 4.7**  
**COMPOSICIÓN IÓNICA DE SUELOS EN meq/l SATURACIÓN**

Perfil	CE	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Σ Cat.	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Σ Aniones	%Error
<b>EXTRACTO SATURACIÓN</b>												
1	0,168	0,457	0,396	0,597	0,442	1,891	0,000	1,574	0,283	0,040	1,896	0,132
2	0,338	0,130	0,054	0,112	0,051	0,347	0,000	0,135	0,123	0,082	0,340	1,019
3	0,657	0,201	0,109	0,249	0,106	0,665	0,000	0,226	0,216	0,215	0,657	0,605
4	0,634	0,179	0,135	0,191	0,128	0,633	0,000	0,249	0,202	0,204	0,655	1,708
5	0,262	0,088	0,051	0,083	0,037	0,259	0,000	0,110	0,096	0,059	0,265	1,145
6	0,307	0,115	0,060	0,088	0,050	0,313	0,000	0,130	0,111	0,077	0,318	0,792
7	0,285	0,920	0,956	0,624	0,660	3,159	0,000	2,820	0,307	0,042	3,169	0,150
8	0,310	1,058	0,502	1,258	0,537	3,355	0,000	2,151	0,817	0,399	3,367	0,186
9	0,249	0,098	0,031	0,094	0,029	0,252	0,000	0,131	0,071	0,048	0,250	0,398
10	0,104	0,455	0,155	0,295	0,222	1,127	0,000	0,393	0,547	0,190	1,130	0,137
11	0,153	0,553	0,451	0,386	0,259	1,649	0,000	0,817	0,649	0,187	1,652	0,109
12	0,333	0,104	0,057	0,134	0,039	0,334	0,000	0,150	0,119	0,063	0,332	0,300
13	0,542	0,142	0,076	0,260	0,072	0,550	0,000	0,284	0,140	0,110	0,534	1,476
14	0,302	0,160	0,037	0,071	0,036	0,304	0,000	0,132	0,093	0,080	0,305	0,164
15	0,255	0,668	0,508	0,918	0,761	2,855	0,000	1,365	0,862	0,638	2,865	0,176
16	0,082	0,332	0,248	0,276	0,332	1,188	0,000	0,721	0,447	0,005	1,174	0,584
17	0,408	1,116	0,935	1,084	1,149	4,284	0,000	2,068	1,313	0,960	4,341	0,665
18	0,103	0,341	0,220	0,287	0,394	1,241	0,000	0,984	0,243	0,019	1,246	0,177
19	0,190	0,479	0,460	0,495	0,561	1,995	0,000	0,991	0,653	0,340	1,984	0,284
20	0,186	0,504	0,530	0,461	0,504	2,000	0,000	1,185	0,483	0,323	1,991	0,216
21	0,091	0,276	0,190	0,215	0,277	0,959	0,000	0,656	0,242	0,071	0,968	0,513
22	0,177	0,553	0,339	0,483	0,572	1,947	0,000	1,115	0,807	0,032	1,954	0,181
Σ						31,306					31,394	0,140

ELABORACIÓN: Martha E. Pazmiño

**TABLA 4.8**  
**COMPOSICIÓN IÓNICA DE SUELOS EN meq/l EXTRACTO 1:5**

Perfil	CE	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Σ Cat.	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Σ Aniones	%Error
<b>EXTRACTO 1:5</b>												
1	0,050	0,143	0,284	0,119	0,137	0,682	0,000	0,590	0,086	0,008	0,684	0,146
2	0,040	0,196	0,042	0,107	0,046	0,391	0,000	0,195	0,039	0,170	0,404	1,635
3	0,083	0,233	0,110	0,212	0,233	0,788	0,000	0,625	0,020	0,130	0,775	0,832
4	0,096	0,403	0,057	0,264	0,204	0,928	0,000	0,689	0,069	0,160	0,918	0,542
5	0,050	0,219	0,211	0,058	0,052	0,540	0,000	0,245	0,130	0,186	0,561	1,907
6	0,039	0,058	0,205	0,049	0,082	0,394	0,000	0,285	0,020	0,101	0,406	1,500
7	0,090	0,188	0,650	0,231	0,225	1,294	0,000	1,246	0,037	0,015	1,298	0,158
8	0,070	0,228	0,191	0,295	0,244	0,958	0,000	0,853	0,089	0,020	0,961	0,182
9	0,078	0,241	0,042	0,055	0,076	0,414	0,000	0,271	0,020	0,133	0,424	1,193
10	0,020	0,051	0,029	1,200	0,025	1,304	0,000	0,734	0,281	0,290	1,305	0,015
11	0,040	0,125	0,161	0,136	0,155	0,578	0,000	0,459	0,112	0,009	0,580	0,190
12	0,065	0,233	0,065	0,112	0,085	0,495	0,000	0,327	0,020	0,152	0,499	0,402
13	0,242	0,643	0,440	0,479	0,017	1,579	0,000	0,762	0,542	0,237	1,541	1,218
14	0,061	0,200	0,058	0,067	0,149	0,474	0,000	0,321	0,020	0,118	0,459	1,608
15	0,036	0,210	0,027	0,192	0,199	0,628	0,000	0,525	0,089	0,013	0,626	0,126
16	0,016	0,287	0,285	0,030	0,048	0,650	0,000	0,590	0,065	0,000	0,655	0,385
17	0,057	0,446	0,281	0,291	0,304	1,322	0,000	1,246	0,088	0,019	1,353	1,180
18	0,025	0,621	0,068	0,193	0,260	1,141	0,000	1,049	0,091	0,001	1,141	0,020
19	0,033	0,188	0,578	0,111	0,164	1,040	0,000	0,984	0,056	0,001	1,041	0,031
20	0,041	0,202	0,253	0,161	0,180	0,796	0,000	0,721	0,067	0,011	0,799	0,194
21	0,018	0,441	0,176	0,152	0,090	0,859	0,000	0,787	0,072	0,001	0,860	0,033
22	0,030	0,546	0,059	0,112	0,086	0,802	0,000	0,721	0,081	0,001	0,803	0,065
Σ						<b>18,056</b>					<b>18,093</b>	<b>0,102</b>

ELABORACIÓN: Martha E. Pazmiño

**TABLA 4.9**  
**COMPOSICIÓN IÓNICA DE SUELOS EN meq/l EXTRACTO 1:10**

Perfil	CE	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Σ Cat.	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Σ Aniones	%Error
<b>EXTRACTO 1:10</b>												
1	0,070	0,240	0,446	0,235	0,237	1,158	0,000	0,984	0,162	0,016	1,161	0,142
2	0,062	0,422	0,001	0,180	0,002	0,605	0,000	0,242	0,206	0,154	0,602	0,249
3	0,165	1,009	0,010	0,571	0,002	1,592	0,000	0,581	0,497	0,539	1,617	0,779
4	0,127	0,390	0,320	0,295	0,298	1,303	0,000	0,562	0,247	0,505	1,314	0,420
5	0,067	0,290	0,119	0,287	0,014	0,710	0,000	0,367	0,240	0,094	0,701	0,638
6	0,066	0,434	0,173	0,092	0,008	0,707	0,000	0,273	0,383	0,048	0,704	0,213
7	0,130	0,364	0,605	0,398	0,355	1,721	0,000	1,639	0,062	0,027	1,728	0,197
8	0,110	0,452	0,308	0,441	0,328	1,530	0,000	1,377	0,129	0,029	1,535	0,166
9	0,078	0,440	0,026	0,335	0,009	0,810	0,000	0,522	0,197	0,089	0,808	0,124
10	0,030	0,112	0,135	0,121	0,120	0,488	0,000	0,393	0,088	0,008	0,490	0,194
11	0,060	0,223	0,253	0,127	0,133	0,736	0,000	0,590	0,140	0,009	0,739	0,163
12	0,065	0,333	0,160	0,113	0,005	0,611	0,000	0,402	0,190	0,010	0,602	0,742
13	0,242	1,545	0,044	0,823	0,013	2,425	0,000	1,642	0,497	0,256	2,395	0,622
14	0,061	0,551	0,039	0,000	0,012	0,602	0,000	0,188	0,247	0,173	0,608	0,496
15	0,057	0,299	0,251	0,338	0,313	1,200	0,000	1,049	0,134	0,023	1,206	0,240
16	0,024	0,347	0,281	0,075	0,085	0,788	0,000	0,721	0,067	0,001	0,789	0,014
17	0,080	0,400	0,237	0,229	0,222	1,088	0,000	0,984	0,094	0,015	1,093	0,227
18	0,033	0,452	0,080	0,291	0,261	1,084	0,000	0,984	0,097	0,003	1,084	0,007
19	0,046	0,213	0,610	0,220	0,268	1,310	0,000	1,246	0,065	0,015	1,326	0,575
20	0,057	0,258	0,367	0,226	0,221	1,072	0,000	0,984	0,076	0,015	1,074	0,110
21	0,024	0,577	0,276	0,177	0,126	1,156	0,000	1,049	0,107	0,001	1,157	0,039
22	0,040	0,288	0,207	0,222	0,201	0,919	0,000	0,787	0,113	0,015	0,915	0,223
Σ						23,616					23,647	0,065

ELABORACIÓN: Martha E. Pazmiño

### 4.3.3 BALANCE DE ANIONES Y CATIONES

Para verificar la exactitud de los resultados obtenidos en los análisis de laboratorio de los extractos de suelo se utilizó la relación presentada en (APHA, 1999) para cada perfil de suelo:

$$\% \text{ de diferencia} = \frac{\sum \text{cationes} - \sum \text{aniones}}{\sum \text{cationes} + \sum \text{aniones}} * 100 \quad (5)$$

En la Tabla 4.10 se presentan los valores permisibles para las determinaciones analíticas

**TABLA 4.10  
PORCENTAJE PERMISIBLE DE DIFERENCIA EN LOS RESULTADOS ANALÍTICOS**

SUMA DE ANIONES meq/l	DIFERENCIA ACEPTABLE
0 – 3.0	± 0.2%
3.0 – 10.0	± 2%
10.0 - 800	5 %

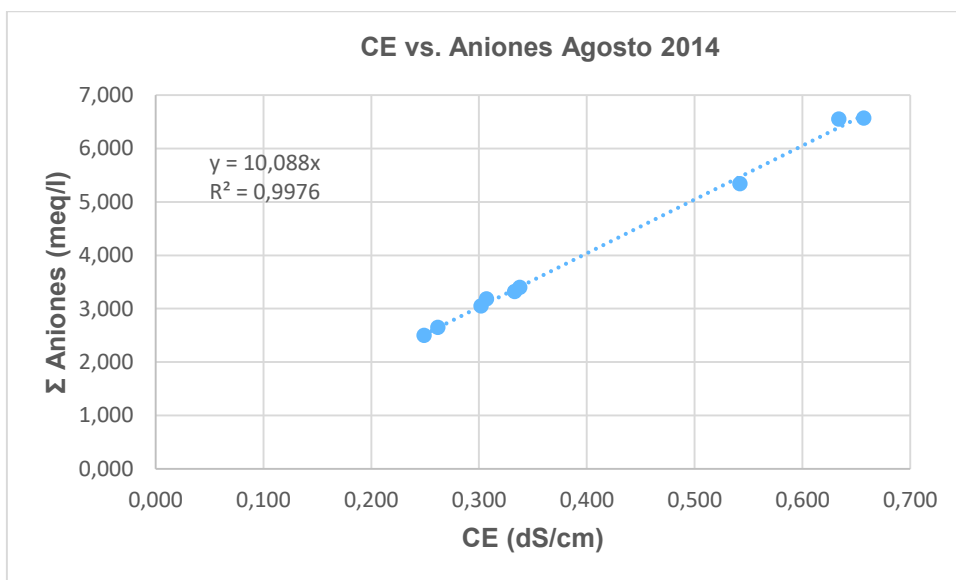
FUENTE: (APHA, 1999)

ELABORACIÓN: Martha E. Pazmiño

Richards (1973) también utiliza la regresión lineal entre la CE y la suma de cationes y aniones. En la regresión lineal se debe tener una pendiente ideal de 10% y una correlación que se aproxime a 1.

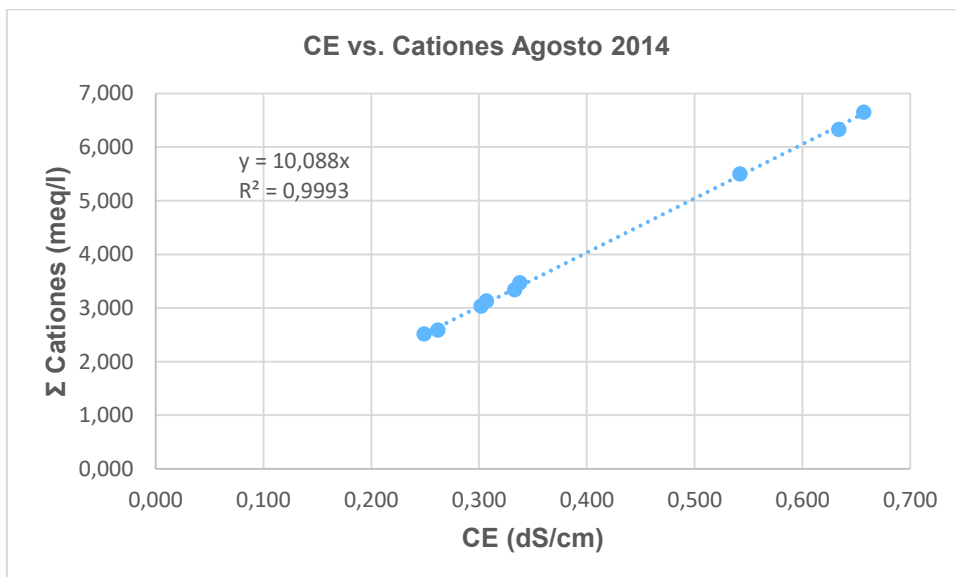
En las Figuras 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10 y 4.11 se presentan las regresiones para cada una de las épocas de muestreo y para los aniones y cationes, así primero el muestreo de agosto de 2014, luego el muestreo de enero de 2016 y al final el muestreo de agosto de 2016. En cada uno de los gráficos se puede observar que la pendiente se acerca al 10% y la correlación está también muy cerca al valor 1.

**FIGURA 4.6**  
**CE vs ANIONES AGOSTO 2014**



ELABORACIÓN: Martha E. Pazmiño

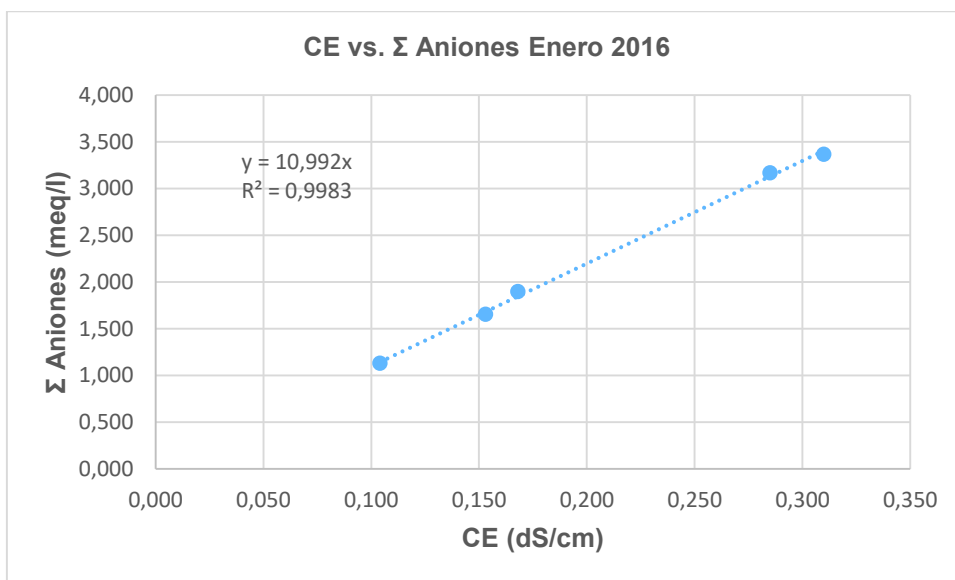
**FIGURA 4.7**  
**CE vs CATIONES AGOSTO 2014**



ELABORACIÓN: Martha E. Pazmiño

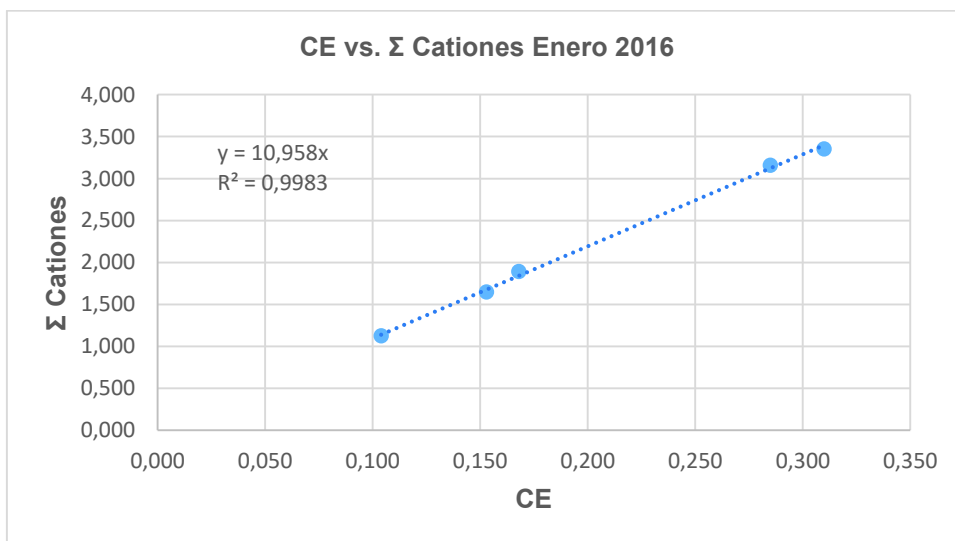


**FIGURA 4.8**  
**CE vs ANIONES ENERO 2016**



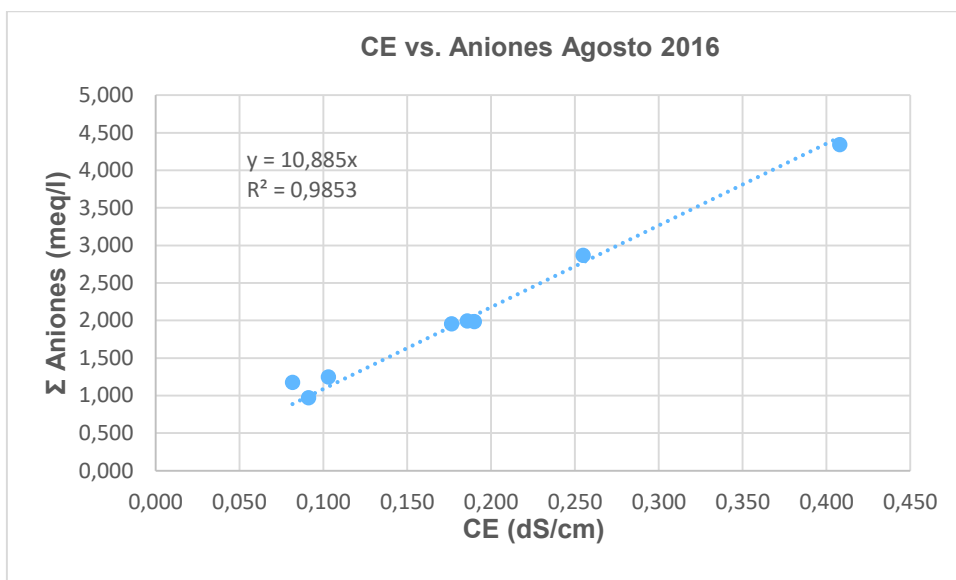
ELABORACIÓN: Martha E. Pazmiño

**FIGURA 4.9**  
**CE vs CATIONES ENERO 2016**



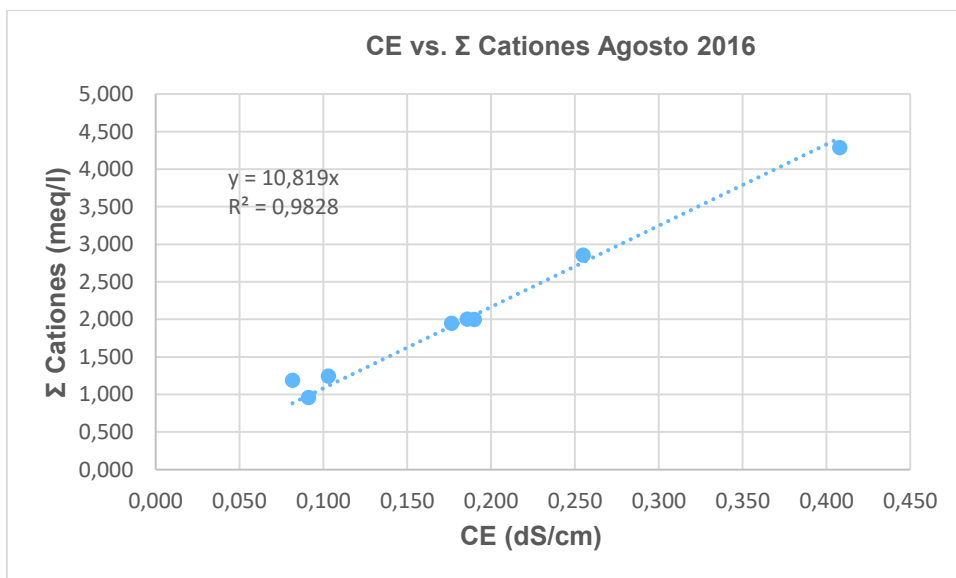
ELABORACIÓN: Martha E. Pazmiño

**FIGURA 4.10**  
**CE vs ANIONES AGOSTO 2016**



ELABORACIÓN: Martha E. Pazmiño

**FIGURA 4.11**  
**CE vs CATIONES AGOSTO 2016**



ELABORACIÓN: Martha E. Pazmiño

Otra comprobación encontrada en (APHA, 1999) es la relación entre los Sólidos Totales Disueltos medidos y los Sólidos Totales Disueltos calculados. La concentración de los STD medidos debe ser mayor que la concentración de los STD calculados y debe cumplir la relación presentada en la fórmula 6.

$$1.0 < \frac{STD \text{ medidos}}{STD \text{ calculados}} < 1.2 \quad (6)$$

Los SDT calculados se obtienen de la relación entre la suma de los 8 iones en mg/l y la CE en dS/m en función de la ecuación 7:

$$STD \text{ calculados} = 640 * CE \quad (7)$$

La CE es la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica y está relacionada con la concentración de sales disueltas en el extracto (SDT). La ecuación 7 representa una recta ideal tomando como pendiente referencial el 640. El valor de la pendiente referencial puede cambiar entre 550 y 750 y en la ecuación 7 será reemplazado por el valor de la pendiente en la gráfica de los extractos de saturación de los suelos.

La relación de STD para el muestreo de agosto 2014 varía entre 1.00 y 1.10, la del segundo muestreo de enero 2016 varía entre 1.00 y 1.10 y la relación del último muestreo de agosto de 2016 está entre 1.10 y 1.20 por lo que cumplen con el rango establecido.

La tercera comprobación igualmente señalada en (APHA, 1999) se basa en la Conductividad Eléctrica medida y la calculada, utilizando la fórmula 8, que determina el rango recomendado para que los datos cumplan con lo establecido.

$$0.9 < \frac{CE \text{ calculada}}{CE \text{ medida}} < 1.1 \quad (8)$$

Algunos valores de CE para iones comunes en agua se entregan en la Tabla 4.11

**TABLA 4.11**  
**FACTORES DE CONDUCTIVIDAD EN IONES COMUNES EN AGUA**

ION	Conductividad (25°C) $\mu\text{mhos/cm}$	
	meq/l	mg/l
Bicarbonato	43.6	0.715
Calcio	52.0	2.60
Carbonato	84.6	2.82
Cloruro	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, 1999)

ELABORACIÓN: Martha E. Pazmiño

También se debe comprobar que la suma de aniones y cationes debe ser 1/100 del CE medido. El criterio aceptado es como sigue:

$$100 * \sum \text{anión (o catión) en } \frac{\text{meq}}{\text{l}} = (0.9 - 1.1) * \text{CE} \quad (9)$$

Se debe comprobar por último los STD calculados y los valores de CE según la siguiente fórmula que marca un rango de validación:

$$\frac{\text{STD calculados}}{\text{CE}} = 0.55 - 0.7 \quad (10)$$

Los resultados analizados para los diferentes muestreos cumplen con todos los criterios establecidos en APHA (1999).

#### 4.3.4 CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS EN BASE A LA SODICIDAD

En la Tabla 4.12 los valores de la CE y del RAS original, RAS ajustado y RAS° presentan un 45.45% como C1-S1, agua de baja salinidad y bajo nivel de sodio, por su semejanza con el extracto de saturación se asume que el suelo tiene baja salinidad y bajo nivel de sodio. El restante 54.55% se clasifican como C2-S1, suelos de salinidad media y baja concentración de sodio, se pueden sembrar cultivos moderadamente

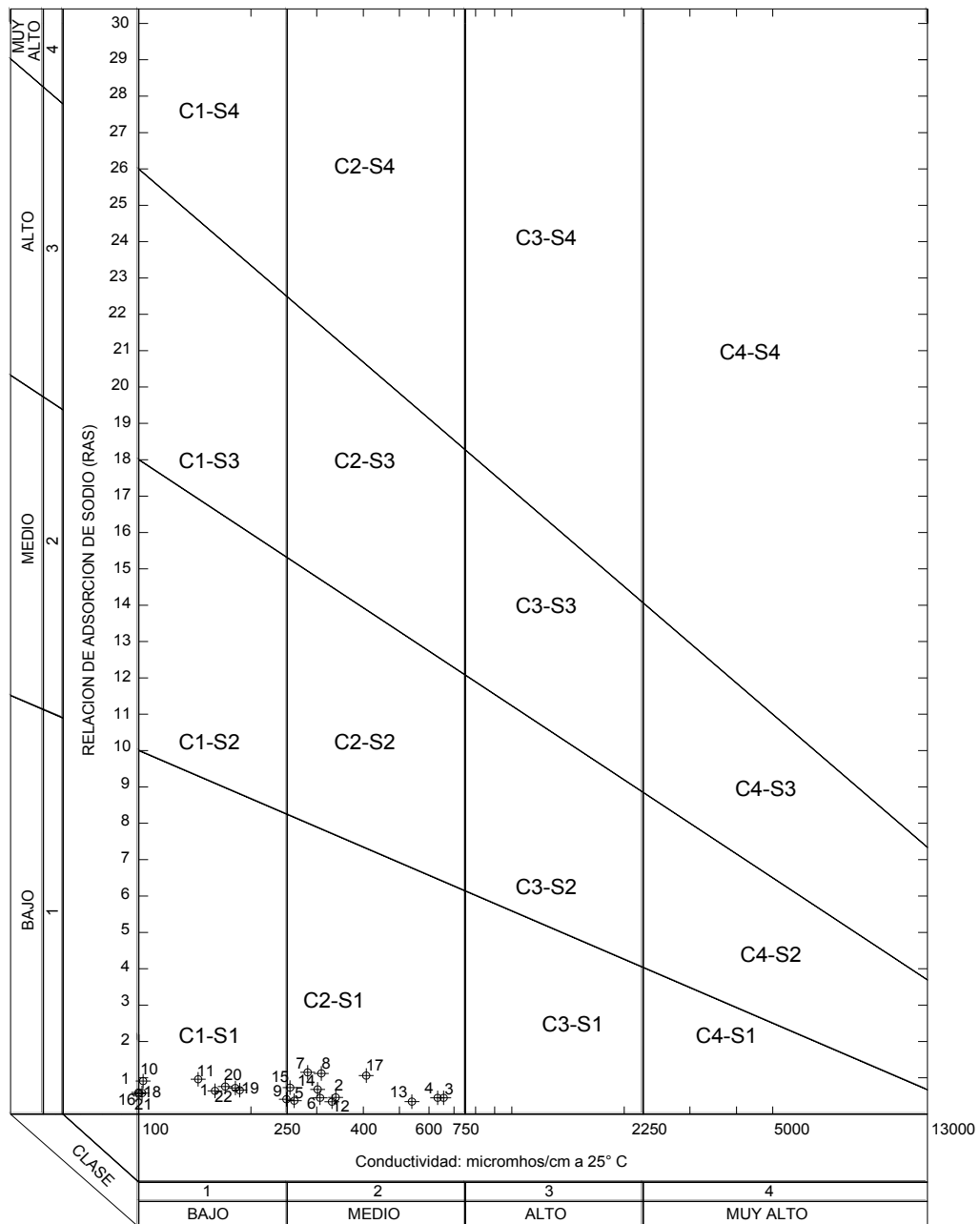
tolerantes a las sales. En los dos casos al tener clasificación S1, se pueden usar para la mayoría de suelos con pocos problemas de sodicidad, se debe tener en cuenta los cultivos que son muy sensibles a las acumulaciones del sodio (Cuellar, Ortega, Ramírez, & Sánchez, 2015), (Richards, 1973).

**TABLA 4.12**  
**CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS SEGÚN EL DIAGRAMA DE RICHARDS**

No. Perfil	RAS orig		RAS aj		RAS °	
1	0.63	C1-S1	0.42	C1-S1	0.59	C1-S1
2	0.46	C2-S1	-0.16	C2-S1	0.14	C2-S1
3	0.48	C2-S1	0.24	C2-S1	0.19	C2-S1
4	0.45	C2-S1	0.24	C2-S1	0.19	C2-S1
5	0.36	C2-S1	0.02	C2-S1	0.10	C2-S1
6	0.44	C2-S1	-0.25	C2-S1	0.14	C2-S1
7	1.15	C2-S1	1.30	C2-S1	1.12	C2-S1
8	1.12	C2-S1	1.18	C2-S1	1.10	C2-S1
9	0.40	C1-S1	0.11	C1-S1	0.11	C1-S1
10	0.90	C1-S1	0.07	C1-S1	0.50	C1-S1
11	0.97	C1-S1	0.20	C1-S1	0.66	C1-S1
12	0.35	C2-S1	-0.10	C2-S1	0.11	C2-S1
13	0.35	C2-S1	0.37	C2-S1	0.14	C2-S1
14	0.69	C2-S1	-0.70	C2-S1	0.20	C2-S1
15	0.73	C2-S1	0.61	C2-S1	0.64	C2-S1
16	0.60	C1-S1	0.06	C1-S1	0.41	C1-S1
17	1.06	C2-S1	0.68	C2-S1	1.02	C2-S1
18	0.58	C1-S1	0.43	C1-S1	0.44	C1-S1
19	0.66	C1-S1	0.52	C1-S1	0.52	C1-S1
20	0.73	C1-S1	0.46	C1-S1	0.58	C1-S1
21	0.56	C1-S1	0.29	C1-S1	0.37	C1-S1
22	0.76	C1-S1	0.41	C1-S1	0.61	C1-S1

ELABORACIÓN: Martha E. Pazmiño

**FIGURA 4.12**  
**DIAGRAMA DE RICHARD**



FUENTE. (Richards, 1973)  
 ADAPTACIÓN: (Carrera Villacrés, 2011)  
 ELABORACIÓN: Martha E. Pazmiño

La Figura 4.12 se basa en la Conductividad Eléctrica en microhoms por centímetro y la Relación de Adsorción de Sodio presentado por Richards (1973). Con los resultados obtenidos de los muestreos y la explicación que se dio en el párrafo anterior se concluye que no existe problema con este tipo de suelo y con la mayoría de cultivos, pueden usarse ya que tienen poca probabilidad de alcanzar grados peligrosos de sodio intercambiable (Can Chulim, Ramirez Ayala, Ortega Escobar, Trejo López, & Cruz Díaz, 2008).

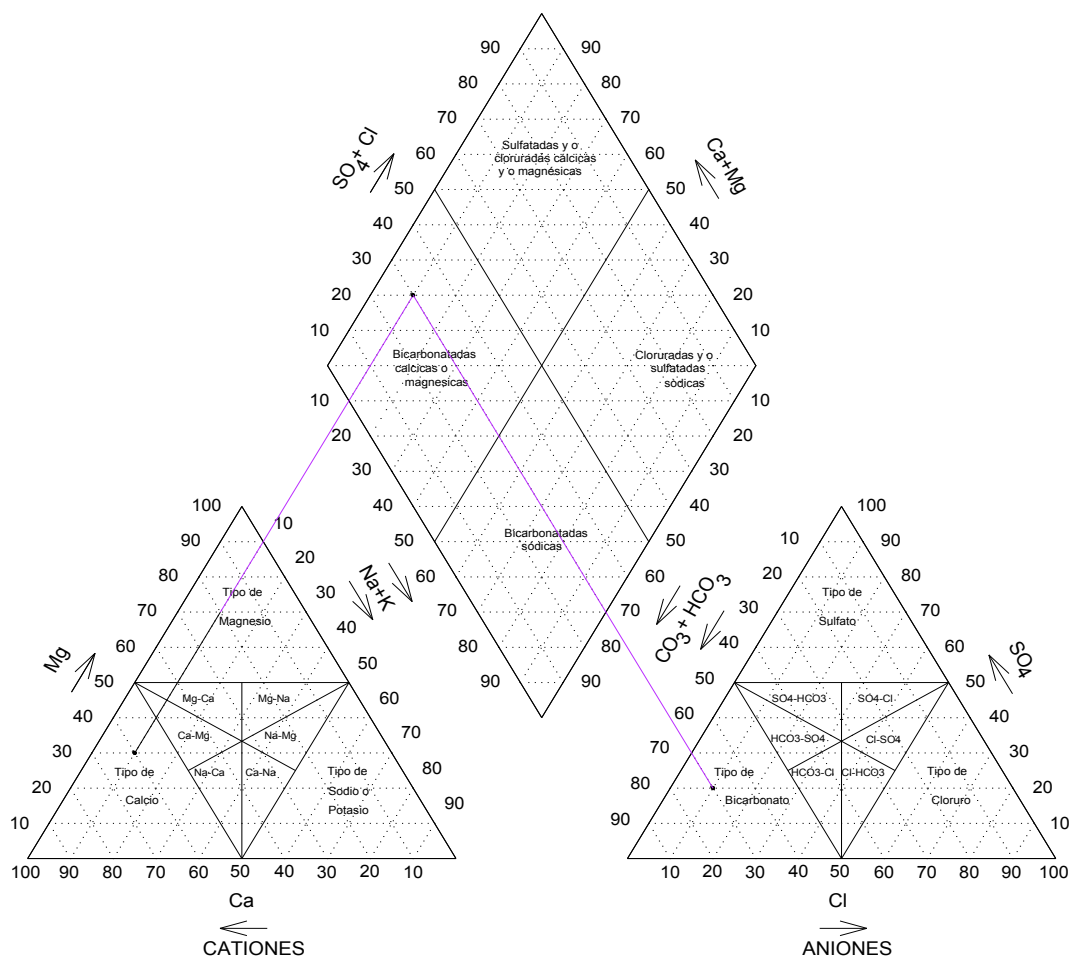
#### **4.3.5 CLASIFICACIÓN HIDROGEOQUÍMICA DE LOS SUELOS**

A más de los análisis hechos en los extractos de saturación en el laboratorio es importante también expresar los datos obtenidos en forma gráfica, hay un gran número de estos, pero el más usado es el diagrama trilineal de Piper. Este método sirve de base para representar los aniones, los cationes y la relación que existe entre ellos y se usa para la clasificación hidrogeoquímica de las aguas naturales. Este diagrama trilineal sólo describe la química esencial relativa de los constituyentes del agua pero no su concentración absoluta. La importancia de la utilización del diagrama de Piper está en la relación de la composición de la química de las aguas y el origen de los yacimientos (Carrera Villacrés, 2011).

El diagrama de Piper utiliza dos triángulos equiláteros, uno para cationes y otro para aniones, los datos de los dos diagramas triangulares se proyectan a un rombo central. En uno de los triángulos se representan los cationes  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  sumados y en el otro los aniones principales. El paso desde ambos triángulos hasta el rombo es inmediato y muy simple como se indica en el Gráfico 4.13. Cada análisis queda representado por tres puntos, dos en los triángulos y uno en el rombo (Sanchez, 2017).

El diagrama trilineal de Piper es utilizado en casi todos los estudios hidrogeoquímicos. En el caso de la salinidad, sirve para conocer la familia a la que pertenece el agua de riego, entonces se puede saber cuales son los efectos que puede tener el suelo y los cultivos por su utilización.

**FIGURA 4.13**  
**DIAGRAMA DE PIPER**

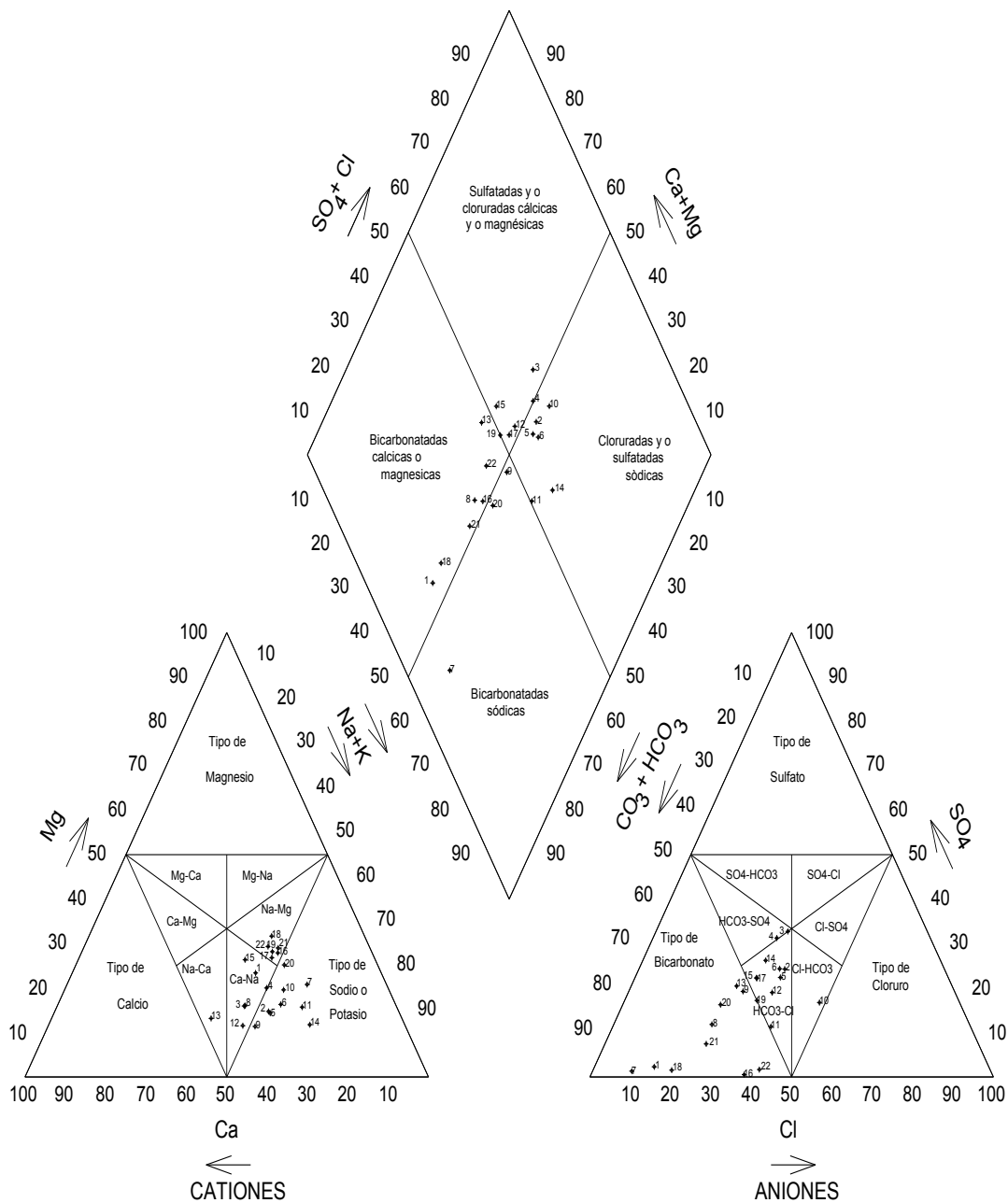


FUENTE: (Sanchez, 2017)  
ELABORACIÓN: Martha E. Pazmiño

En la Figura 4.14 se presentan los resultados de los aniones y cationes de los muestreos realizados.



**FIGURA 4.14**  
**DIAGRAMA DE PIPER CON LOS PUNTOS DE MUESTREO DE SUELO**



ELABORACIÓN: Martha E. Pazmiño

Al observar el diagrama de Piper se establece que los suelos de la zona estudiada pertenecen a la zona central del rombo superior establecido para las familias bicarbonatadas cálcicas 8 puntos, 2 puntos están en las familias bicarbonatadas

sódicas, 6 puntos están en las familias Sulfatadas sódicas y 6 en las familias de las cloruradas cálcicas.

#### **4.3.6 CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS EN BASE A LOS PROBLEMAS DE INFILTRACIÓN**

La infiltración está relacionada con la cantidad de sales totales y con la concentración de sodio, calcio y magnesio. La infiltración aumenta con la salinidad y disminuye con las concentraciones sódicas, es proporcional a las concentraciones salinas e inversamente proporcional a las concentraciones de sodio (Cuellar, Ortega, Ramírez, & Sánchez, 2015).

El agua con baja salinidad (CE menos de 0.5 dS/m y en especial cuando los valores son menores a 0.2 dS/m) inevitablemente va a causar problemas de infiltración. Estos efectos son similares a los causados por las aguas lluvia (Cuellar, Ortega, Ramírez, & Sánchez, 2015), que son corrosivas y tienden a lavar la superficie de los suelos y dejarlos libres de minerales solubles y de sales, especialmente calcio, reduciendo su influencia fuertemente estabilizadora de los agregados de la estructura del suelo. Sin sal y sin calcio el suelo se dispersa y las partículas muy finas de suelo que se dispersaron rellenan la mayoría de los espacios entre las partículas de suelo sellando la superficie y reduciendo el grado de infiltración del agua en el suelo. Se forma una capa dura de suelo (Can Chulim, Ramirez Ayala, Ortega Escobar, Trejo López, & Cruz Díaz, 2008).

Las aguas de baja concentración, al ser aguas de riego, presentan problemas de infiltración (Ayers & Westcot, 1994). Al haber evapotranspiración, las sales que son menos solubles precipitan al concentrarse, quedando como predominante la fracción más soluble. Por esto es que los iones más solubles son predominantes en la primera capa del suelo. En general, la infiltración aumenta con la salinidad o un incremento en el contenido de sodio en relación con el índice RAS. Para evaluar el efecto del agua de baja concentración, cuando es usada para riego, se debe usar la gráfica propuesta

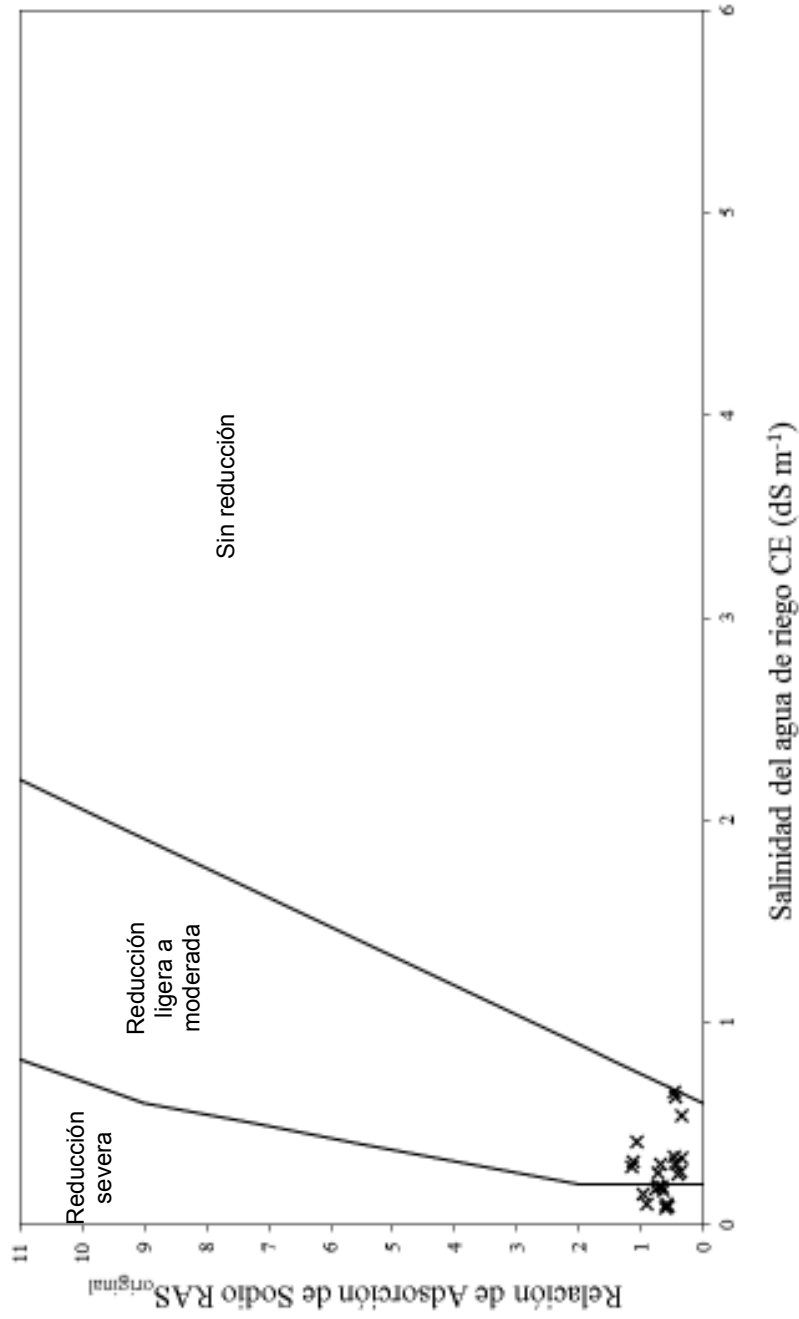
por Ayers y Westcot (1994) en la que relaciona la CE con el RAS (Can Chulim, Ramirez Ayala, Ortega Escobar, Trejo López, & Cruz Díaz, 2008). En este trabajo se evaluó las variaciones de la RAS bajo diferentes concepciones: RAS original, RAS ajustado y RAS corregido.

En la Figura 4.15 se presenta el grado de infiltración y la afectación provocada por el grado de adsorción de sodio RAS original. Se puede apreciar en los extractos de saturación de los perfiles estudiados que 8 muestras presentan una reducción severa de infiltración, mientras que las restantes 14 muestras tienen una reducción ligera a moderada, adicionalmente el gráfico presenta también los valores de RAS original muy bajos relacionados con valores bajos de CE que según la descripción dada por Can Chulim y otros (2008) forman en la parte superior del suelo una capa dura.

En la Figura 4.16 con el RAS ajustado hay muestras que inclusive salen fuera del rango con valores negativos dados por el índice de Langelier o Índice de saturación. Hay 4 muestras que están con valores negativos, 9 muestras que tienen una reducción severa de infiltración, 8 muestras que tienen una reducción ligera a moderada y 1 sólo punto sin reducción de infiltración.

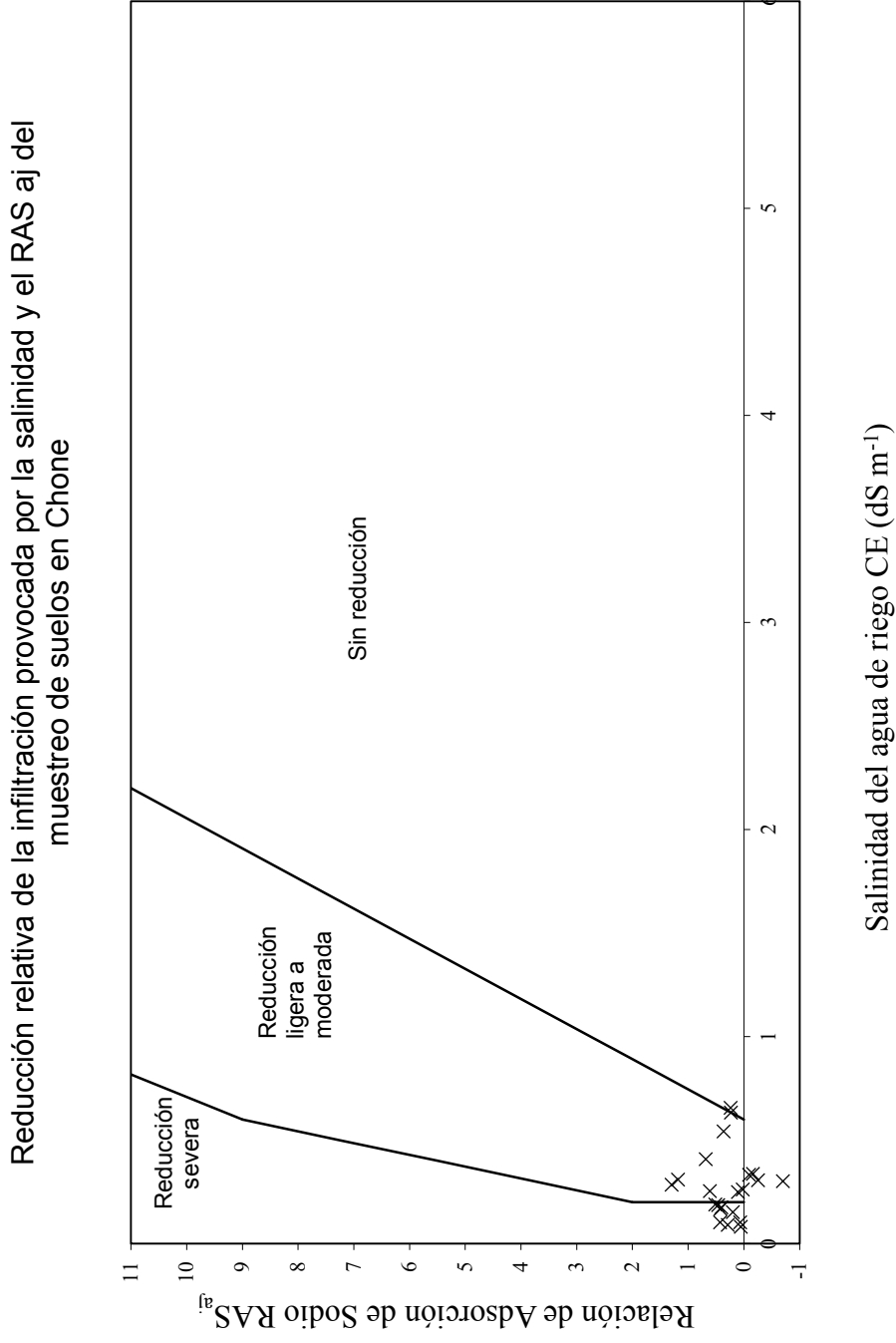
La Figura 4.17 con el RAS corregido presenta 8 perfiles que tienen reducción severa de infiltración, la mayoría de perfiles, 12 están ubicados en la zona de reducción ligera a moderada y únicamente 2 perfiles no presentan reducción de infiltración.

**FIGURA 4.15**  
**REDUCCIÓN RELATIVA DE LA INFILTRACIÓN PROVOCADA POR EL RAS ORIGINAL**  
 Reducción relativa de la infiltración provocada por la salinidad y el RAS orig del muestreo de suelos en Chone



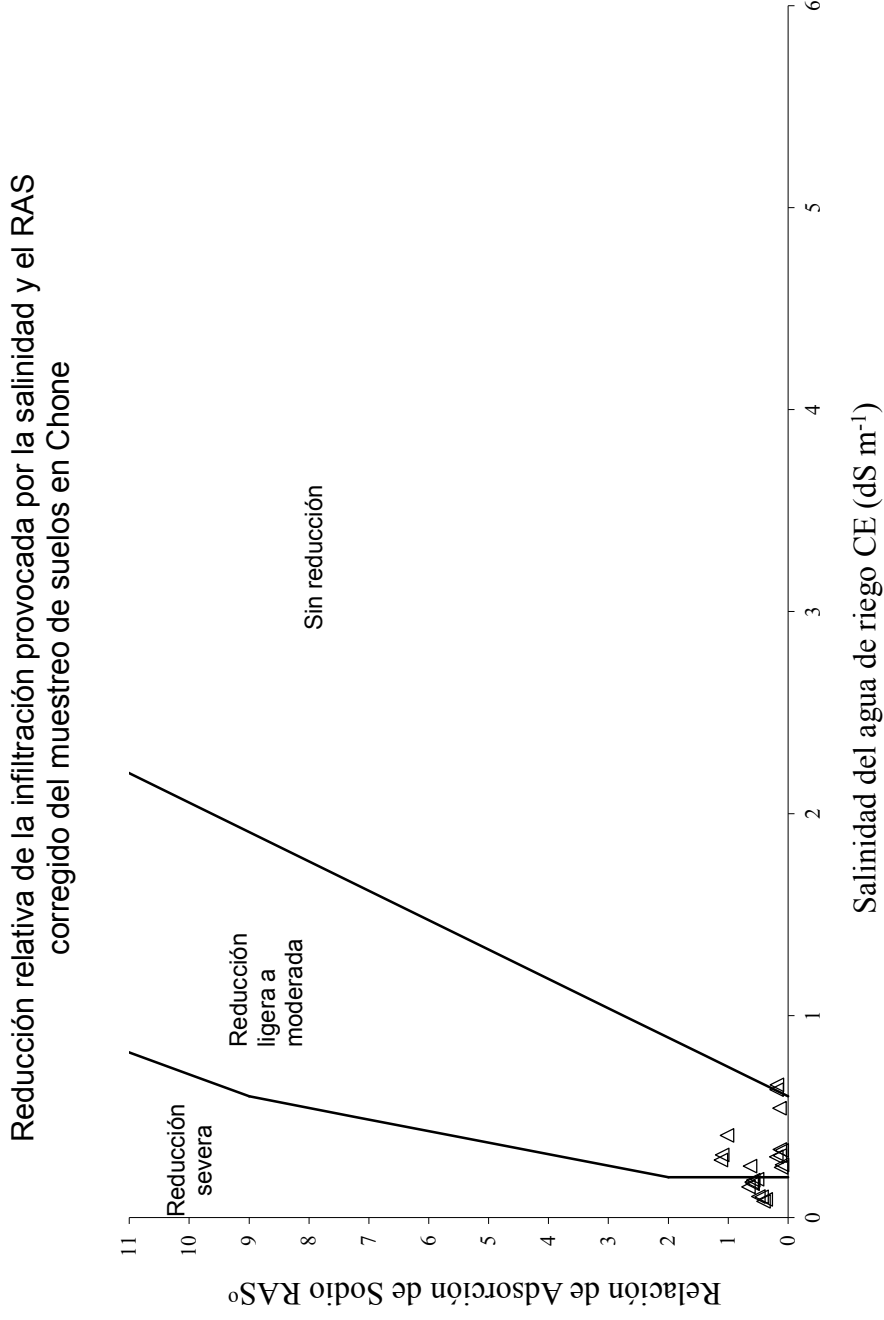
FUENTE: (Ayers & Westcot, 1994)  
 ELABORACIÓN: Martha E. Pazmiño

**FIGURA 4.16**  
**REDUCCIÓN RELATIVA DE LA INFILTRACIÓN PROVOCADA POR EL RAS AJUSTADO**



FUENTE: (Ayers & Westcot, 1994)  
ELABORACIÓN: Martha E. Pazmiño

**FIGURA 4.17**  
**REDUCCIÓN RELATIVA DE LA INFILTRACIÓN PROVOCADA POR EL RAS CORREGIDO**



FUENTE: (Ayers & Westcot, 1994)  
 ELABORACIÓN: Martha E. Pazmiño

## 4.4 TOXICIDAD POR IONES ESPECÍFICOS

De acuerdo a lo citado por Ayers & Westcot (1994), los problemas relacionados con la toxicidad por iones específicos se puede presentar cuando estos están presentes en el suelo en bajas concentraciones. En este estudio los iones estudiados, Sodio  $\text{Na}^+$ , Cloro  $\text{Cl}^-$  y Boro  $\text{B}^{+3}$ , arrojaron resultados diversos que se presentan a continuación.

En la Tabla 4.13 se presentan los parámetros de toxicidad para iones específicos.

**TABLA 4.13**  
**TOXICIDAD POR IONES ESPECÍFICOS. GRADOS DE AFECTACIÓN A PLANTAS SENSIBLES**

ION	SIN PROBLEMA	PROBLEMA CRECIENTE	PROBLEMA SEVERO
SODIO (RAS aj)	<3	3 – 9	>9
CLORUROS (meq/l)	<4	4 - 10	>10
BORO (mg/l)	<0.75	0.75 - 2	>2

FUENTE: (Ayers & Westcot, 1994)

ELABORACIÓN: Martha E. Pazmiño

En la mayoría de documentos de calidad del suelo desde el punto de vista agrícola se trata la toxicidad por exceso de los iones específicos. En este estudio los suelos presentan concentraciones pequeñas de los diferentes iones estudiados, cómo lo podemos constatar a continuación en los mapas de distribución y lo que también es preocupante, por ejemplo, el boro es esencial para los cultivos en bajas concentraciones.

### 4.4.1 BORO

El boro no se encuentra de forma uniforme distribuida en la corteza terrestre, por lo que sus concentraciones van a variar de una zona a otra. Cuando el suelo tiene un pH menor a 7, el compuesto predominante en la solución del suelo es el ácido bórico

( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ). Este compuesto se lixivia con facilidad, es por esto que el boro es considerado el más móvil de los micronutrientes (Torri, Urricariet, & Lavado, 2005).

El boro es un importante micro nutriente, de difícil manejo debido a que su movilidad en el floema de la planta, varía mucho entre especies vegetales, con síntomas de deficiencia y toxicidad en un rango muy estrecho (Carrera Villacrés, 2011). El boro desempeña un rol primario en la biosíntesis y estructura de la pared celular y en la integridad de la membrana plasmática. También es necesario para el transporte de azúcares, la lignificación celular, la síntesis de ácidos nucleicos y las respuestas hormonales (Martínez, Sarmiento, Fischer, & Jiménez, 2009).

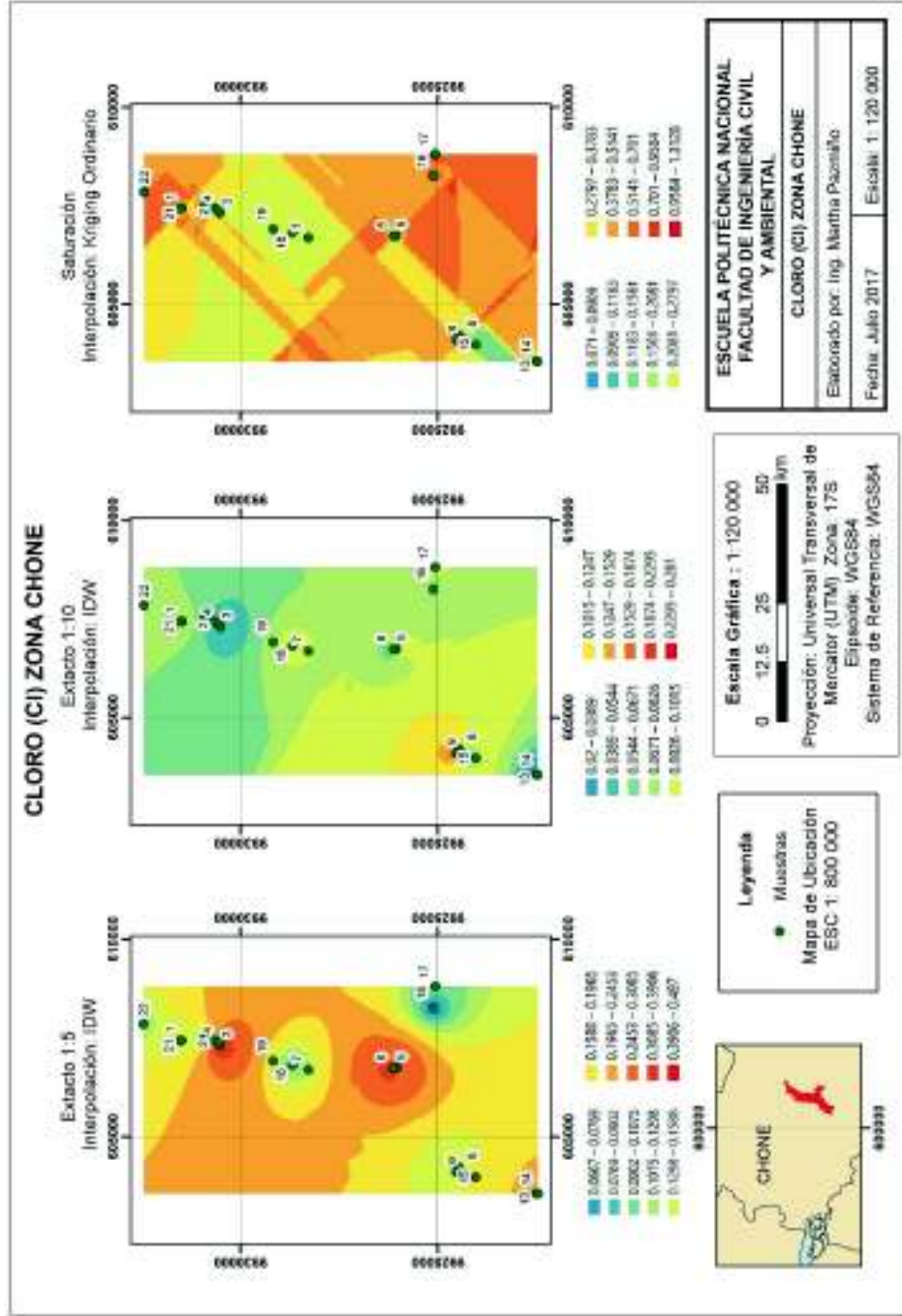
En todos los extractos de suelo de este estudio no se encontró presencia de boro. Recordemos que las muestras se obtuvieron a 20 cm. de la superficie, el análisis se realizó en la parte superior de la capa de suelo. Se puede explicar que la ausencia de boro en el suelo se deba a la predominancia de  $\text{Ca}^{2+}$  y que el metaborato inicialmente sódico reacciona con el  $\text{Ca}^{2+}$  del agua que contiene el suelo y forma un metaborato cálcico, que tiene una solubilidad considerablemente menor por lo que disminuye la concentración del boro que se puede solubilizar. Lo que al final va a generar deficiencia de boro en los cultivos. (Porta, López-Acevedo, & Roquero, 2003).

#### **4.4.2 CLORUROS**

En la Figura 4.18 se pueden apreciar los valores correspondientes a las diferentes concentraciones de los extractos de suelo en los que se hizo el análisis de cloruros. Haciendo referencia a los datos encontrados en el Cuadro 4.14, en este caso al igual que en el boro estamos en el caso de que los valores obtenidos en los ensayos son menores a los límites establecidos para tener problemas por toxicidad de iones.



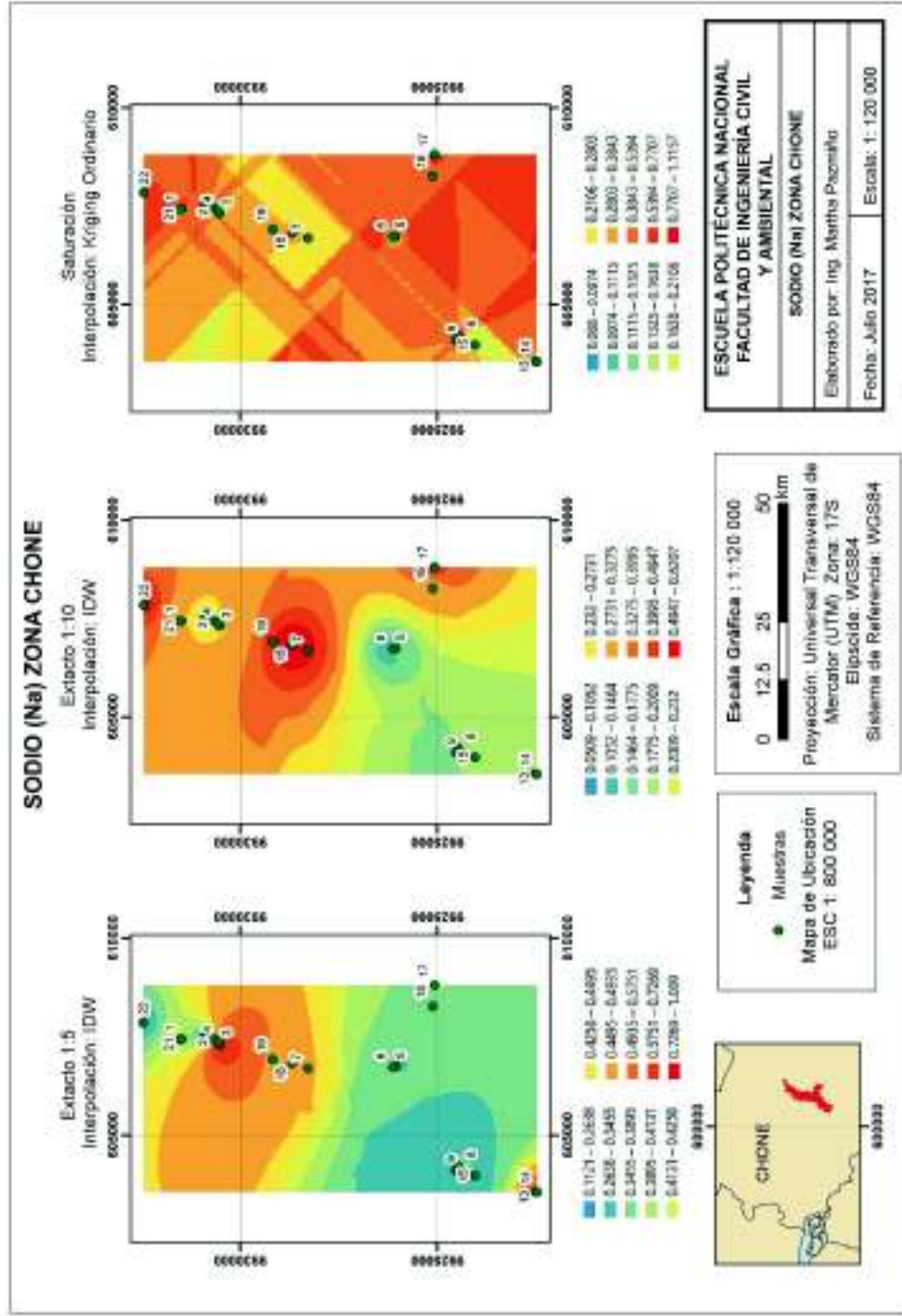
**FIGURA 4.18**  
**MAPAS DE DISTRIBUCIÓN DE CLORUROS EN LA ZONA DE PPMCH.**



#### **4.4.3 SODIO**

El análisis del comportamiento del sodio en la zona de estudio, fue tratado en la sección 4.3.4 de este estudio. A continuación, se presenta la Figura 4.19 en el que se aprecia el mapa de distribución del sodio en la zona del PPMCH para los tres extractos de suelo analizados en el laboratorio.

**FIGURA 4.19**  
**MAPAS DE DISTRIBUCIÓN DE SODIO EN LA ZONA DE PPMCH.**



## 4.5 ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

El Análisis de Componentes Principales (ACP) es una técnica estadística de síntesis de la información, o reducción de la dimensión, del número de variables, que examina las relaciones entre muchas variables cuantitativas. Los nuevos componentes principales serán la combinación lineal de las variables originales y serán variables normalizadas e independientes entre sí. (Terrádez, 2013).

Se realizó el análisis de los componentes principales de los iones que se encontraron en el extracto de saturación de las muestras de suelo en la zona de riego del PPMCH. A partir de los 8 iones estudiados y de los resultados obtenidos en el laboratorio, y luego de aplicar el software libre estadístico Minitab 17 se obtuvieron los componentes principales que influyen en el comportamiento de los suelos. En el estudio de los Componentes principales para este caso no se toma en cuenta al  $\text{CO}_3$  porque sus valores en todos los puntos de muestreo son cero. Los resultados de los componentes principales se presentan en la Tabla 4.14.

**TABLA 4.14**  
**COMPONENTES PRINCIPALES**

COMPONENTES PRINCIPALES	49.60%	82.40%	92.20%	96.70%
IONES	CP1	CP2	CP3	CP4
$\text{Ca}^{2+}$	0.286	0.522	0.099	-0.277
$\text{Mg}^{2+}$	-0.367	0.389	-0.357	-0.454
$\text{Na}^+$	-0.396	0.307	-0.304	0.739
$\text{K}^+$	0.445	0.297	0.273	0.146
$\text{HCO}_3$	-0.128	0.618	0.297	0.073
$\text{Cl}^-$	0.504	0.041	-0.114	0.370
$\text{SO}_4$	0.397	0.103	-0.771	-0.091

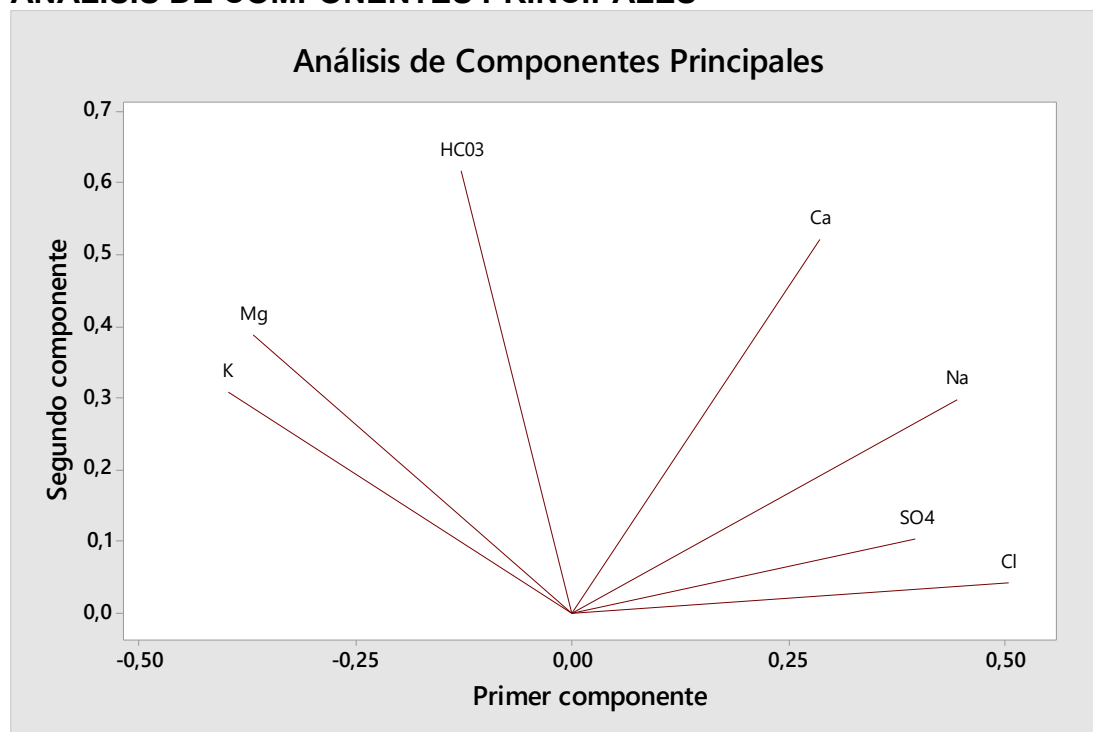
ELABORACIÓN: Martha E. Pazmiño

Al revisar los resultados, se observó que son 4 los componentes principales que aportan al análisis ya que el valor acumulado es el 96.70%. Estos son  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4$  y

$\text{HCO}_3$ . En la Figura 4.20 se muestran los componentes principales de los ensayos del extracto de saturación que se obtuvieron luego de la aplicación del Minitab 17.

Los componentes que tienen una mayor longitud en cada dirección de los componentes son los que se consideran principales.

**FIGURA 4.20**  
**ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES**



ELABORACIÓN: Martha E. Pazmiño

La presencia de  $\text{Na}^+$  en las aguas se debe al contacto con suelos salinos y se encuentra en mayor concentración que el  $\text{K}^+$ . (Osicka & Gimenez, 2004). Otro parámetro de calidad es la concentración de cloruros  $\text{Cl}$ , que proceden de la disolución de suelos y rocas que los contengan y que están en contacto con el agua (Metcalf Eddy, 1995).

En las aguas que contienen alta concentración de bicarbonatos  $\text{HCO}_3$  hay la tendencia de que el calcio y el magnesio precipiten como carbonato conforme la solución de

suelo se haga más concentrada. Las aguas bicarbonatadas se deben a la presencia de aguas calcáreas que están expuestas a la caliza (Richards, 1973).

## **4.6 ANÁLISIS GEOESTADÍSTICO**

De las variables principales obtenidas en el Análisis de Componentes Principales, se realizó el análisis espacial con el fin de obtener una correlación entre los puntos y poder predecir los valores de dichos parámetros en puntos no muestreados.

A continuación, se describe el análisis geoestadístico detallado para el parámetro Salinidad Potencial (SP) con los puntos muestreados. Los otros parámetros escogidos en el ACP serán presentados y analizados posteriormente en los mapas de distribución espacial.

### **4.6.1 ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS (AED)**

Al hacer el Análisis Exploratorio de Datos (AED) se examinan los datos que se obtienen de cualquier técnica estadística. Así se consigue un entendimiento básico de los datos y de las relaciones existentes entre las variables analizadas. El AED proporciona métodos sencillos para organizar y preparar los datos, detectando fallos en el diseño y en la recogida de datos, en el tratamiento y evaluación de datos ausentes. Permite también la identificación de casos atípicos y la comprobación de los supuestos subyacentes en la mayor parte de las técnicas multivariantes (Salvador Figueras & Gargallo, 2003).

Charco (2010) en su publicación Análisis Exploratorio de Datos Espaciales, recomienda que se debe aplicar el método gráfico histograma para comprobar la distribución de las variables de tipo cuantitativas. Se debe utilizar este método gráfico porque permite fácilmente representar a primera vista la distribución de los datos. Advierte adicionalmente que, para muestras pequeñas, puede existir una distorsión de

la representación visual, de tal forma que puede ser poco fiable. Para evitar esto, propone utilizar un diagrama de cuantiles (Q-Qplot).

Los diagramas Q-Qplot o de cuantiles, comparan en un sistema de coordenadas cartesianas, los cuantiles muestrales (eje X) con los cuantiles esperados bajo la hipótesis de normalidad. Si la distribución de partida es normal los diagramas tendrán que ser rectas que pasan por el origen (Castillo Gutierrez & Lozano Aguilera, 2007)

Los datos atípicos que se encuentran dentro del conjunto de muestras son otra consideración importante en el AED, no pueden ser especificados a ciencia cierta cómo benéficos o problemáticos, sino que deben ser completados mediante el análisis y debe evaluarse el tipo de información que pueden proporcionar. El principal problema es que son elementos que pueden no ser representativos de la población y pueden distorsionar seriamente el comportamiento de los contrastes estadísticos ( (Salvador Figueras & Gargallo, 2003).

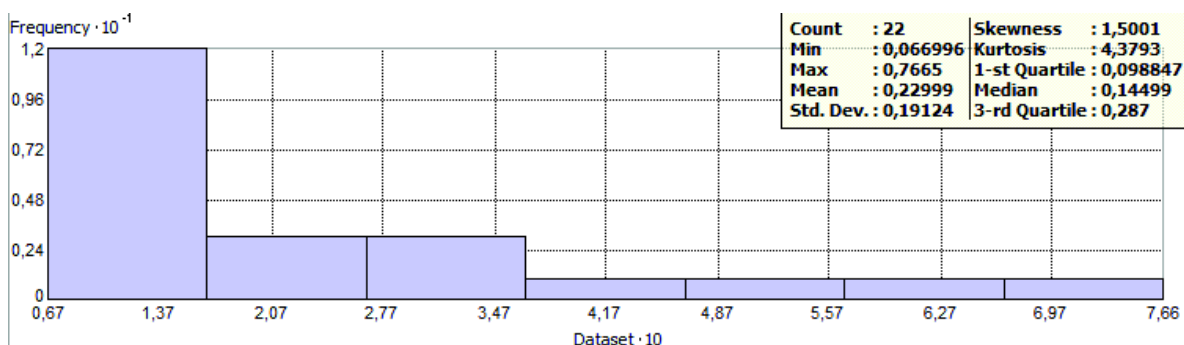
Este análisis se lo puede hacer gráficamente mediante histogramas, diagramas de caja o también numéricamente, mediante el cálculo de puntuaciones tipificadas. Se recomienda hacer un diagrama de caja y bigotes, que es una presentación visual que describe varias características importantes, como la dispersión y la simetría (Charco Y., 2010).

#### **4.6.1.1 Método gráfico (histograma)**

El histograma se elaboró dividiendo los datos en 7 barras, para obtener continuidad en el gráfico y agrupar a todos los 22 datos en los intervalos.

En la Figura 4.21 se presenta el histograma de la Salinidad Potencial de los datos obtenidos de los extractos de saturación. Fue realizado con los valores estadísticos que describen al conjunto de datos.

**FIGURA 4.21**  
**HISTOGRAMA SALINIDAD POTENCIAL (SP)**



ELABORACIÓN: Martha E. Pazmiño

Del histograma presentado se concluye que los datos no presentaron una distribución normal simétrica, gráficamente se observó que la distribución es sesgada hacia la derecha. Esto se comparó con los parámetros, curtosis y coeficiente de sesgo, que definieron la forma de la distribución. El coeficiente de sesgo otorga una distribución cuantitativa referida a la distribución, si los datos tienen una distribución normal, este coeficiente toma valores de cero. Para este caso, al ser el coeficiente de sesgo mayor a cero, indica una distribución asimétrica positiva. La curtosis o apuntalamiento cuantifica la compacidad de la distribución, cuando la distribución es normal toma el valor de cero. En este caso el análisis de este parámetro es mayor a cero por lo que distribución es de carácter leptocúrtica (Koch & Cabrera, 2010).

La distribución es normal cuando la media, la mediana y la moda tienen los mismos valores. Según los datos analizados en este caso la media (0.2299) fue mayor a la mediana (0.1449) por lo que obtuvo una curva asimétrica a la derecha. La desviación estándar es un índice de la dispersión de los datos. Para este estudio el valor es de 0.1912 lo que indica que los datos analizados no siguen una distribución normal (Tellez & Lemus, 2014).

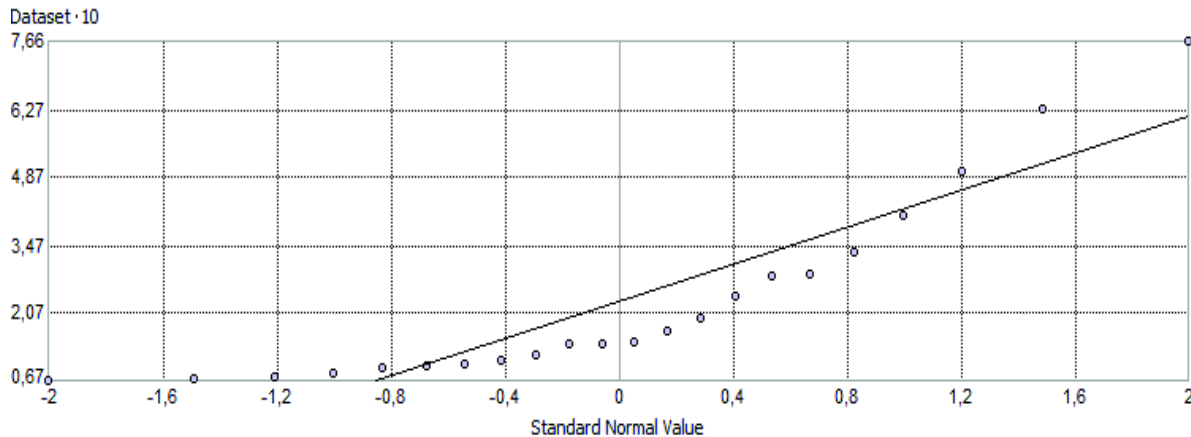


#### 4.6.1.2 Gráfico Q-Q Plot

En este estudio la cantidad de datos es reducida, solamente 22 puntos y siguiendo la recomendación de Charco (2010), se comprobó la distribución de los datos mediante el diagrama Q-Q plot, que permitió comparar la distribución empírica de los datos analizados con la distribución normal a través de los cuantiles. En la Figura 4.22 se observa el diagrama Q-Q plot obtenido para la Salinidad Potencial.

Se acepta la normalidad de los datos cuando la distribución de la variable se asemeja a la distribución normal, es decir presenta un comportamiento rectilíneo, se debe tener en cuenta que siempre se tenderá a observar mayor variabilidad en los extremos (Castillo Gutierrez & Lozano Aguilera, 2007).

**FIGURA 4.22**  
**DIAGRAMA DE CUANTILES (Q-Q PLOT) SALINIDAD POTENCIAL**



ELABORACIÓN: Martha E. Pazmiño

Como se observa en la Figura 4.22 para la variable SP se confirmó que no hubo una distribución normal de los datos. El comportamiento no es rectilíneo y los cuantiles de la variable no se asemejaron a los de la distribución normal. Esta tuvo un comportamiento en forma de S que confirma que la variable tiene una distribución leptocúrtica. En un gráfico Q-Q plot la forma de S significa que la distribución tiene

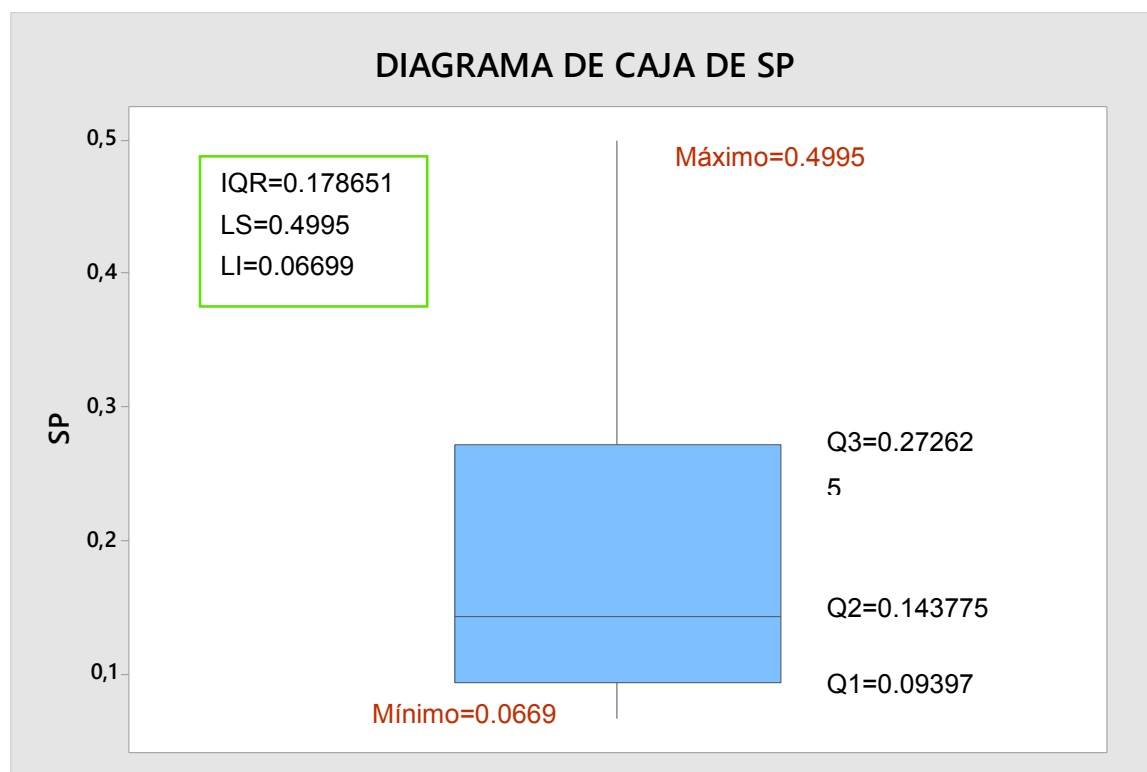
colas mayores o menores que la normal. Esto significa que existen pocas o muchas observaciones en las colas de la distribución (Bernal, 2013).

#### 4.6.1.3 Diagrama de caja

El diagrama de caja indica la existencia de datos atípicos además de que proporciona información sobre la simetría de los datos, su distribución y los valores de la mediana, el primer y tercer cuartil y el límite inferior y superior de la variable en estudio (Luceño & Gonzales, 2004).

En la Figura 4.23 se presenta el diagrama de caja y bigotes para la Salinidad Potencial.

**FIGURA 4.23**  
**DIAGRAMA DE CAJA DE SALINIDAD POTENCIAL**



ELABORACIÓN: Martha E. Pazmiño

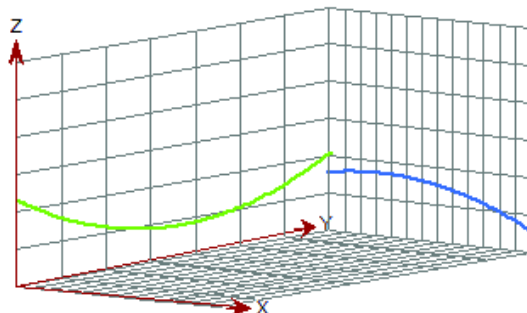
Como se observa en la figura no se encontró ningún dato atípico ya que los datos están comprendidos entre el límite inferior (0,06699) y superior (0.7665). El diagrama de caja está formado por una caja central que abarca el 50% de los datos y representa el recorrido por los diferentes cuartiles. La mediana o el segundo cuartil está representada por una línea horizontal en el gráfico. Cuando esta línea se encuentra en el centro de la caja, indica que los datos analizados tienen simetría. En el gráfico se observa que los datos no tienen simetría ni tienen distribución normal (Llinas & Rojas, 2005).

#### **4.6.1.4 Análisis de tendencia**

Este análisis sirve para determinar si el fenómeno que se estudia tiene una tendencia especial, si existen diferencias dependientes de la dirección de los valores característicos de la variable investigada. Esto es importante para el análisis geoestadístico, ya que el método Kriging parte de un supuesto de estacionalidad de las variables por lo que para su estudio se requiere depurar las tendencias para evitar que tengan influencias externas a los valores de las variables. Esta depuración es necesaria porque en el caso de existir una tendencia se tendría una influencia exógena de los valores de las variables. Además, es probable que luego de la depuración de las tendencias sigan existiendo variaciones que dependan de la dirección. (Koch & Cabrera, 2010).

En la Figura 4.24 se observa la distribución tridimensional de los valores de la Salinidad Potencial de las muestras a través de las coordenadas X, Y y Z

**FIGURA 4.24**  
**GRÁFICO DE TENDENCIA DE LA SALINIDAD POTENCIAL SP**



ELABORACIÓN: Martha E. Pazmiño

En este estudio los valores de la SP muestran una tendencia relativamente lineal a lo largo del eje Y, representado por la línea azul y una tendencia no lineal cuadrática, representado por la línea verde. Si no existiera una tendencia, las dos rectas serían horizontales (Koch & Cabrera, 2010).

Varios autores indican que la distribución normal de los datos es un requisito indispensable para el análisis geoestadístico por el método de Kriging. Con respecto a esto, Tomislav Hengl (2009), establece que los requisitos para la modelación por Kriging son la estacionaridad de los datos y la distribución normal. Por su parte Diggle y Ribeiro (2007), indican que pueden ser utilizados datos de distribución no normal, utilizando un método apropiado. En su publicación Krivoruchko (2000), menciona que a pesar de no ser un requisito indispensable para el método Kriging, se obtienen mejores resultados en la predicción de datos cuando estos tienen una distribución normal, y si no tienen distribución normal la incertidumbre de predicción será grande y los resultados obtenidos no serán confiables.

Ahora haciendo un resumen del análisis exploratorio de datos de la variable analizada se puede decir que esta no tiene una distribución normal, presenta una distribución

sesgada hacia la derecha, de carácter leptocúrtica sin datos atípicos y con una tendencia cuadrática en dirección Este-Oeste. Como se explicó anteriormente, la distribución sesgada a la derecha de los datos, no es un impedimento para el análisis geoestadístico usando el método Kriging, pero se sabe también que la incertidumbre de la predicción por la carencia de una distribución normal de los datos del estudio es grande. Adicionalmente, la estacionaridad de los datos si es un requisito para utilizar el método Kriging, por lo que es indispensable eliminar la tendencia de los datos en el análisis estructural.

#### **4.6.2 ANÁLISIS ESTRUCTURAL**

Una vez realizado el Análisis Exploratorio de Datos (AED), se hizo el análisis estructural o estudio variográfico en donde solamente se calcula y se ajustan los datos a un semivariograma teórico que caracterice la continuidad de la variable estudiada. Usualmente, el ajuste a modelos teóricos para la determinación de los parámetros del semivariograma se hace de forma visual. A veces se realizan ajustes polinomiales por el método de los mínimos cuadrados u otras variantes, aunque con estos se encuentra el mejor ajuste, no siempre se verifica la condición de que variograma obtenido sean siempre de tipo positivo, siendo a la final insatisfactorio (Gorsich & Genton, 1999).

El método geoestadístico utilizado fue Kriging ordinario. Este es un método empleado en variables relacionadas con la agricultura y medioambiente y da buenas predicciones cuando existe un muestreo intenso (Oliver, 2010).

A más del inverso ponderado de la distancia y la triangulación entre otras, las principales características que hacen de Kriging un método de estimación muy superior a las tradicionales son las que se detallan a continuación:

Mientras que los métodos tradicionales utilizan el concepto euclidiano de la distancia para el cálculo de los pesos que se aplicará a cada dato muestral, Kriging considera tanto la distancia como la geometría de la localización de las muestras. Empleando Kriging se minimiza la varianza del error esperado. Los métodos geoestadísticos

muestran una gran flexibilidad para la interpolación, pueden estimar valores puntuales o en bloque, así como métodos para incorporar información secundaria que esté relacionada con la variable principal (Moral Garcia, 2004)

#### **4.6.2.1. Semivariograma teórico**

Por la tendencia que presentan los datos en el espacio, fue necesario cumplir con el principio de estacionaridad removiendo la tendencia cuadrática que se detectó en el análisis exploratorio. El ArcGIS presenta la opción de remover la tendencia de los datos haciendo que los resultados del modelo sean más confiables.

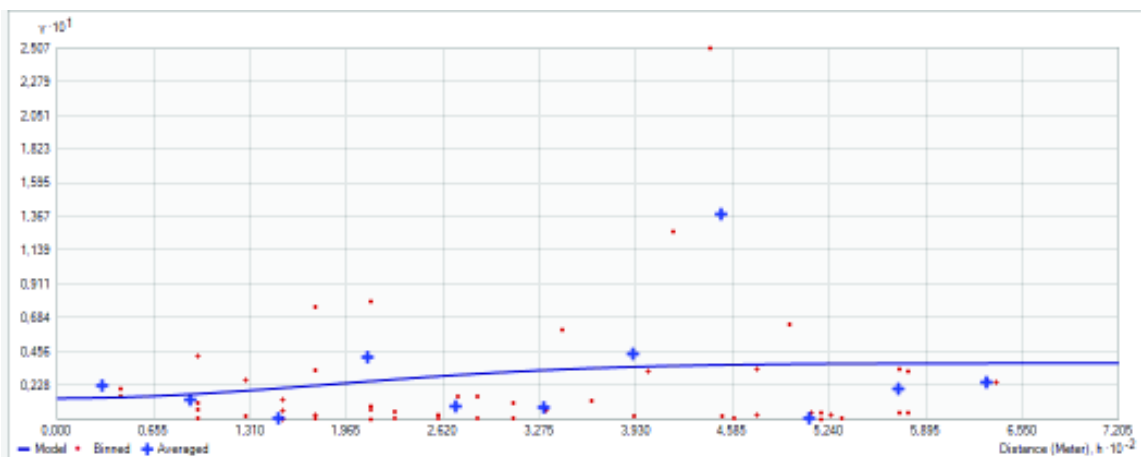
En su artículo Fuenzalida (2015), señala que se debe determina como óptimo al semivariograma que presenta el menor valor de Error Medio Cuadrático (RMS), por sus siglas en Inglés, la menor diferencia de validación cruzada, el menor Error Estandar más pequeño y próximo al RMS y adicionalmente con un valor de Error Medio Cuadrático Estandarizado (RMSS) cercano a uno.

Para la variable analizada, Salinidad Potencial, se tomó el modelo de semivariograma gaussiano. La Figura 4.25 presenta la representación del gráfico del semivariograma teórico. En este se observa el rango en el que la meseta alcanza su límite máximo es 451.90m. Este rango está dividido en 12 intervalos. El rango de los intervalos debe ser de tal forma que el número de pares en cada intervalo sea lo suficientemente grande para que el estimado del semivariograma sea relativamente estable. Se considera que entre 30 y 50 pares son suficientes para cumplir con este requerimiento (Díaz M. , 2002).

El efecto pepita ( $C_0$ ) del semivariograma tiene un valor diferente de cero (0.023), indicando que no parte del origen. Esto se suele interpretar como un error en las mediciones o una ausencia en los valores en distancias inferiores a las que se tomaron las muestras (Gallardo, 2006).

La meseta del semivariograma alcanzo el valor de 0.038, entonces el efecto pepita  $C_0$  representa el 37% de la meseta. Si interpretamos como un error en las mediciones, un modelo no puede tener un  $C_0$  mayor del 50% de la meseta para que pueda explicar bien la realidad (Díaz M. , 2002).

**FIGURA 4.25**  
**SEMIVARIOGRAMA DE LA SALINIDAD POTENCIAL SP**



ELABORACIÓN: Martha E. Pazmiño

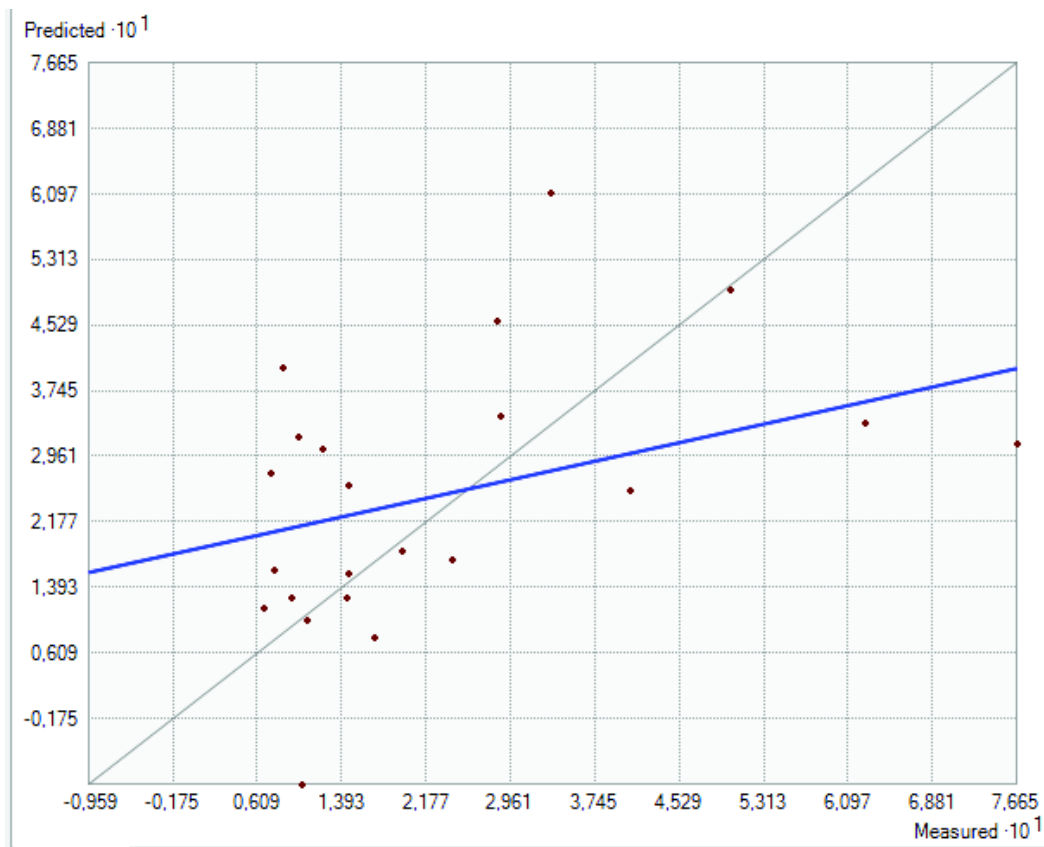
#### 4.6.2.2. Validación cruzada

En geoestadística, la técnica de la validación cruzada consiste en estimar cada punto a partir de los puntos vecinos, sin que el punto buscado intervenga en el proceso de estimación. Esta operación se repite para todos los puntos del conjunto de datos, obteniéndose al final una imagen con los errores de restitución o experimentales (Abarca & Chica, 2001).

En ArcGIS, para la validación cruzada compra los valores medidos con los predichos y los grafica en un sistema de coordenadas. La Figura 4.26 muestra la relación entre los valores medidos y los que se obtuvieron al aplicar el método Kriging.

Se tiene una buena correlación cuando la línea azul parte del origen y se aproxima a la dirección de la línea gris, cuya pendiente es  $45^\circ$  (Piñeiro, Perelman, Guerschman, & Paruelo, 2008). En este análisis la línea azul no pasó por el origen, la pendiente tiene un valor de  $28.77^\circ$ , y si a esto le sumamos el valor de  $R^2$  de 0.18, esto nos indica que por validación cruzada, no existió una buena relación entre los datos medidos y los de la predicción.

**FIGURA 4.26**  
**VALIDACIÓN CRUZADA MÉTODO KRIGING SALINIDAD POTENCIAL SP**



ELABORACIÓN: Martha E. Pazmiño

#### 4.6.3 PREDICCIÓN CON EL MÉTODO KRIGING

Para terminar el análisis geoestadístico, se debe hacer la predicción del método usando los datos existentes. El método Kriging se trata de una combinación de



métodos matemáticos y estadísticos. En este método la estimación o predicción de los valores desconocidos se basa en probabilidades (Koch & Cabrera, 2010). Se realizan estimaciones de la variable estudiada en los puntos no muestrales, considerando la estructura de correlación espacial seleccionada e incluyendo la información obtenida directamente en los puntos muestrales y la conseguida de forma indirecta en forma de tendencias conocidas (Moral Garcia, 2004),

La cantidad de puntos muestreados y las distancias entre ellos tienen gran importancia en el análisis geoestadístico. Mientras menor sea la distancia entre los puntos, se podrá obtener una mejor correlación predicción de los puntos intermedios o los no determinados. La cantidad de puntos que se necesitan depende de la variable a estudiar y del área que se estudiará (Dick & Gerard, 2007).

#### 4.6.3.1. Errores de precisión

Estos son los parámetros que indican la confiabilidad de los resultados obtenidos al hacer la predicción, siendo los más importantes el Error Medio Cuadrático (RMS) por sus siglas en Inglés, el Error Medio Cuadrático Estandarizado (RMSS) y el Error Estándar Promedio (ASE).

En la Tabla 4.15 se presentan los resultados de los errores de predicción obtenidos en el programa ArcGIS (2010).

**TABLA 4.15**  
**ERRORES DE PREDICCIÓN MODELO KRIGING ORDINARIO SP**

Número de datos	22
<b>RMS</b>	0.1818
<b>RMSS</b>	1.0179
<b>ASE</b>	0.1830

ELABORACIÓN: Martha E. Pazmiño

El RMS indica la suma de las distancias cuadradas entre los valores medidos y modelados. El ASE indica el error promedio que se comete al calcular un número arbitrario de modelos con estos datos. El RMSS, disminuye la proporción mencionada. Cuanto más cerca se encuentren los valores de la predicción a los valores de RMS y ASE, será mejor el modelo correspondiente. Si el RMS es más grande que el ASE, entonces el modelo representa variabilidad (dispersión) de modo muy inexacto. Cuando se tiene el caso opuesto, el modelo se adapta muy bien a la dispersión de los datos. Con el RMSS de 1 se indica que es un buen modelo, si es mayor a 1, la variabilidad se subestima y si es menor a 1 entonces se está sobreestimando la variabilidad (Koch & Cabrera, 2010).

El RMS es un parámetro que se usa para determinar la medida en la que el modelo no se ajusta a la información. Un valor pequeño, mientras más se acerque a cero estará indicando que se tiene una variación mínima y por lo tanto indique que es un buen estimador (Chai & Draxler, 2014).

En este caso, siendo los valores de los parámetros muy pequeños, el RMS es ligeramente menor que el ASE, lo que indica que el modelo se adapta bien a la dispersión. En tanto que el valor de RMSS es ligeramente mayor a 1, entonces se estaría subestimando la variabilidad (Koch & Cabrera, 2010).

#### **4.6.3.2. Mapas de predicción**

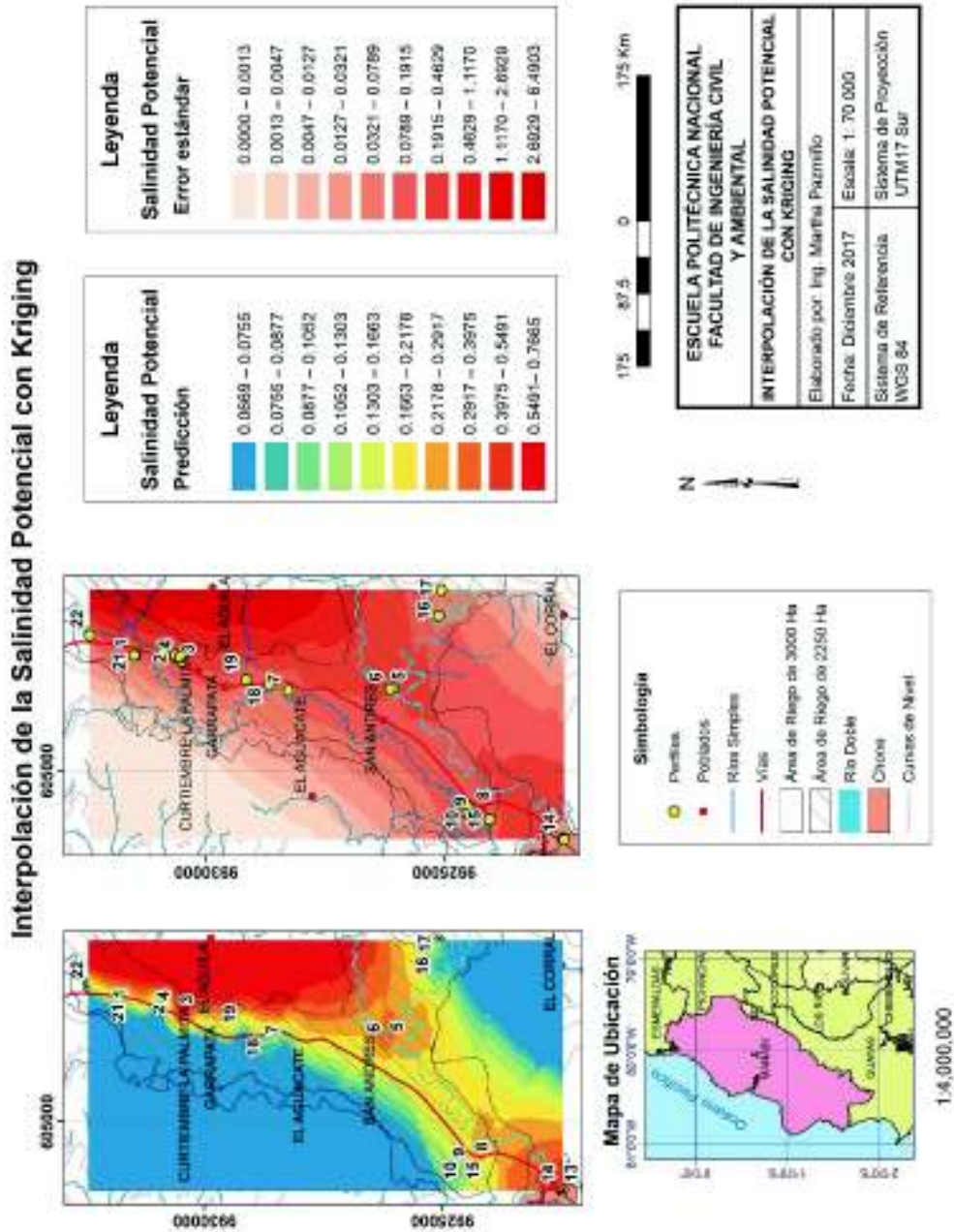
Una vez terminada la predicción de los datos con el método Kriging, el programa ArcGIS generó un mapa en el que se puede conocer el valor de la SP en cualquier punto dentro del conjunto de datos iniciales. También elaboró un mapa de Errores Estándar, en el que se puede apreciar el margen de error que existe en cada punto que se desea predecir. Se deben analizar los dos mapas para indicar con certeza si el valor producto de la predicción está dentro de un rango de confiabilidad.

En la Figura 4.27 presentan los mapas de predicción y error estándar como resultado de la aplicación del método probabilístico Kriging para la Salinidad Potencial.

La confiabilidad de un modelo geoestadístico se puede determinar sacando el porcentaje de confiabilidad mediante la resta entre 100 y el mayor estándar obtenido en el mapa de predicción de error o entre 100 y el error estándar promedio obtenido. Se considera que un modelo tiene buena confiabilidad cuando sobrepasa el 90% (Menéndez, 2012).

La confiabilidad del modelo Kriging para la Salinidad Potencial con 22 datos disponibles es del 81.70% con respecto al error estándar promedio y del 68.97% al considerar el error estándar máximo obtenido del mapa correspondiente. Al analizar estos resultados se puede apreciar que los porcentajes obtenidos son menores al que Menéndez (2012) establece como mínimo para tener buena confiabilidad, por lo que estaríamos ante un modelo no confiable. Esto se debe principalmente por la baja cantidad de datos, por lo que se debe densificar los datos en la zona de estudio para obtener una mejor correlación entre los valores que sirven como datos y por lo tanto al final una mejor predicción.

**FIGURA 4.27**  
**MAPA DE PREDICCIÓN MÉTODO KRIGING SALINIDAD POTENCIAL SP**



#### 4.6.4 ANÁLISIS DETERMINÍSTICO. METODO IDW

Los modelos determinísticos crean superficies a partir de los puntos medidos. El método IDW es uno de los métodos más usados en el campo de las ciencias del suelo (Bhunias, Shit, & Maiti, 2016). El método IDW puede arrojar resultados más cercanos a la realidad cuando el conjunto de datos no es muy grande y los modelos geoestadísticos no suelen dar respuestas confiables (Villatoro, Henríquez, & Sancho, 2008).

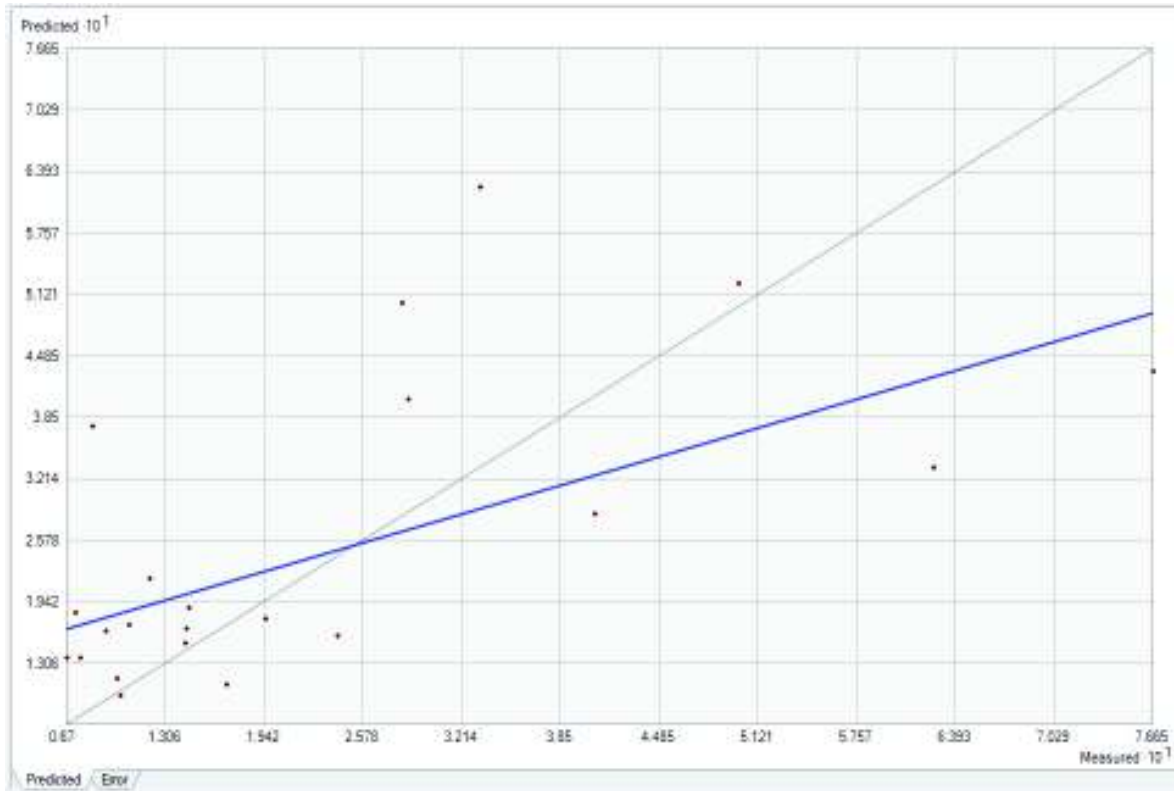
IDW estima donde están ubicados los puntos o los sectores cercanos a los puntos conocidos. El peso que se da a los puntos a interpolar es la inversa de la distancia desde el punto de interpolación. Como consecuencia, los puntos que están más cerca deberán tener mayor peso o mayor impacto. (Bhunias, Shit, & Maiti, 2016). Este método es similar al Kriging ordinario, ya que da más peso a los valores cercanos a un punto, pero posee menor complejidad de cálculo. El IDW utiliza un algoritmo simple basado en distancias (Villatoro, Henríquez, & Sancho, 2008).

IDW es un interpolador exacto, en el que los valores máximos y mínimos en la superficie interpolada pueden solamente estar en los puntos de la muestra. Como IDW no provee una predicción de errores estándar, la justificación del uso de este modelo se hace difícil (ArcGIS, 2010)

##### 4.6.4.1. Validación cruzada

La Figura 4.28 presenta los resultados de la relación entre los valores medidos con los valores interpolados usando el método IDW. Se observa que la línea no pasa por el origen igual que en Kriging pero la pendiente en este caso es de  $46.74^\circ$  y el valor de  $R^2$  es de 0.15. Estos valores indican a primera vista que existe una mejor correlación y que los resultados por este método son más aceptables que los obtenidos por el método Kriging.

**FIGURA 4.28**  
**VALIDACIÓN CRUZADA MÉTODO IDW SALINIDAD POTENCIAL SP**



ELABORACIÓN: Martha E. Pazmiño

#### 4.6.4.2. Errores de predicción

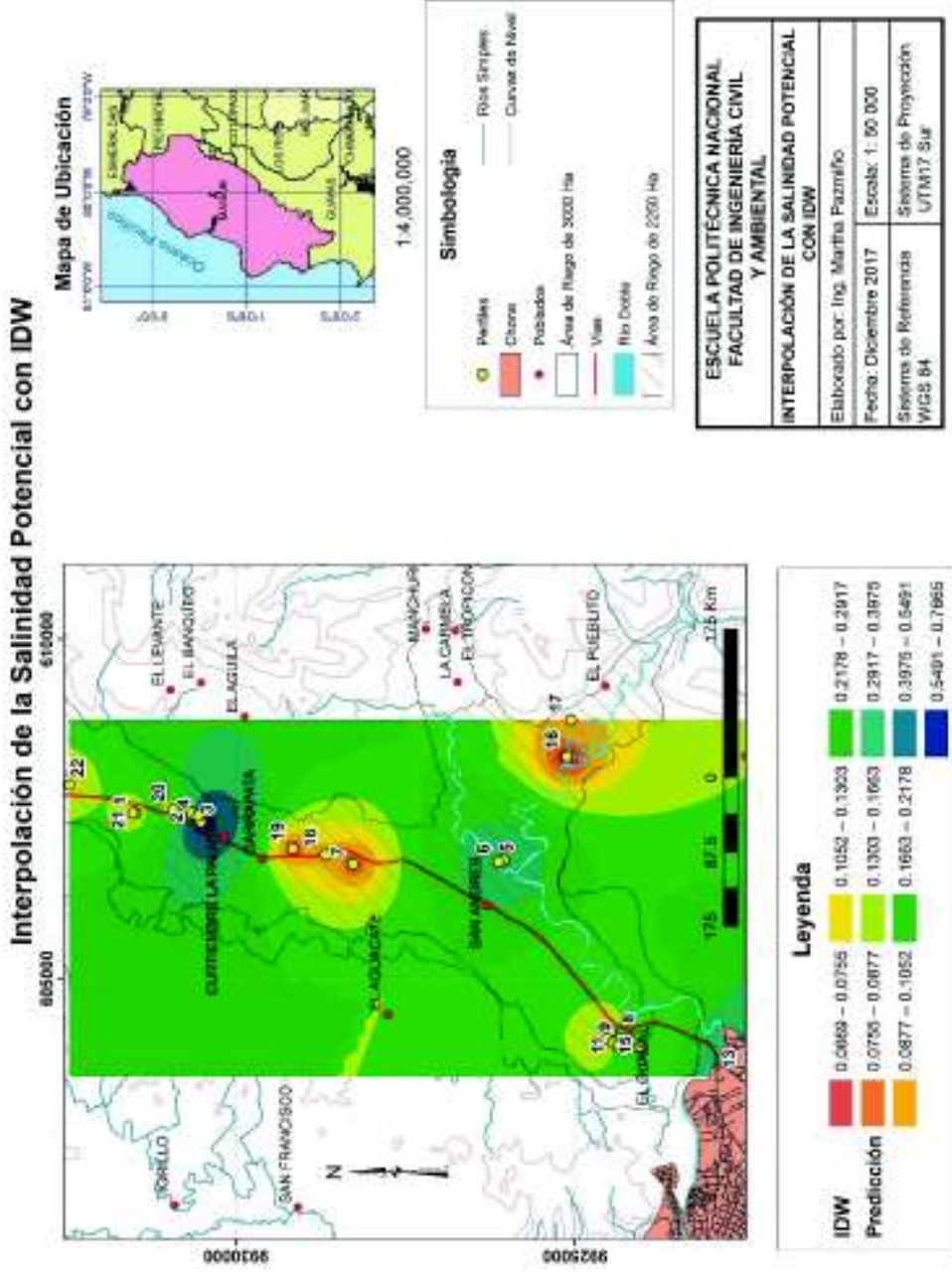
El método IDW es un modelo matemático y no probabilístico por lo que ArcGIS solo reporta el valor de RMS que como se mencionó anteriormente debe tener un valor lo más cercano a cero para que se validen los resultados.

En este caso para la SP con 22 datos se obtuvo un valor de RMS de 0.1504, que es menor al obtenido en el análisis con Kriging. También este valor muestra que el modelo IDW es el que más se ajustó al conjunto de datos de este estudio, corroborando así que para un número de datos escaso IDW es el método más idóneo ya que no requiere la realización de variogramas y tiene una menor complejidad de cálculo que el método Kriging ordinario (Villatoro, Henríquez, & Sancho, 2008).

#### **4.6.4.3. Mapa de interpolación**

En la Figura 4.29 se presenta el resultado de la interpolación realizada por ArcGIS utilizando el método IDW. Como se explicó anteriormente, en este mapa se puede conocer el valor de la variable estudiada en cualquier punto dentro de los límites del conjunto de datos. Además en teoría el valor que presenta el mapa es fijo, ya que este método no tiene errores, a diferencia de Kriging que hace predicciones, porque hace interpolaciones. Para este caso en el que se analiza la Salinidad Potencial, el mapa de resultados son reales es más exacto que en el modelo geoestadístico.

**FIGURA 4.29**  
**MAPA DE PREDICCIÓN. MÉTODO IDW SALINIDAD POTENCIAL SP**





#### 4.6.4.4. Comparación del Error Cuadrático Medio para determinar el mejor interpolador

Una vez terminado todo el análisis geoestadístico con los datos obtenidos en el laboratorio de los iones se hizo una comparación del Error Cuadrático Medio obtenido en la predicción con Kriging ordinario y el mismo valor en la interpolación con el método IDW.

Hay una gran cantidad de índices que se utilizan para evaluar la precisión de los métodos de interpolación, el Error Medio Cuadrático es el estándar para evaluar los resultados de los métodos de interpolación, debido a que reflejan los errores de estimación general y la sensibilidad de la predicción y además el efecto extremo de la utilización de diferentes muestras (Rocha & Gómez, 2014).

Para evaluar los métodos de interpolación aplicados a las variables de estudio y señalar cuál es el que ofrece un menor error de estimación se han utilizado el 20% de los valores calculados, tomados como muestra independiente y de estos se ha calculado el Error Cuadrático Medio (RMSE) (Saz, Serrano, De Luis, Serrano-Notivoli, & Longares, 2010). Para esto se utilizó la fórmula siguiente:

$$RMSE = (N^{-1} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2)^{0.5} \quad (11)$$

En donde:

N = número de observaciones

P<sub>i</sub> = valor obtenido en la predicción

O<sub>i</sub> = valor observado

En las Tablas 4.16 y 4.17 se detallan, en el primero, los resultados obtenidos luego de realizar la comparación de los Errores Cuadráticos Medios para cada uno de los iones analizados en las diferentes concentraciones de los extractos de suelo analizados en el laboratorio y en el segundo el resumen con el mejor interpolador con el menor valor del ECM. Luego, a continuación, se presentan los mapas de distribución de los iones

de este estudio utilizando el mejor interpolador para cada concentración. (Figuras 4.30, 4.31, 4.32, 4.33, 4.34, 4.35, 4.36)

**TABLA 4.16**  
**COMPARACIÓN VALORES DE ECM ENTRE MÉTODOS KRIGING E IDW**

COMPARACIÓN ENTRE MÉTODOS KRIGING E IDW			
Parámetro	Concentración muestra	Kriging	IDW
<b>Na</b>	Saturación	0,41810	0,35367
	Extracto 1:5	0,55492	0,51618
	Extracto 1:10	0,25572	0,32257
<b>K</b>	Saturación	0,44201	0,42612
	Extracto 1:5	0,35969	0,35494
	Extracto 1:10	0,39349	0,41921
<b>Ca</b>	Saturación	0,45567	0,36379
	Extracto 1:5	0,10421	0,18179
	Extracto 1:10	0,07237	0,05354
<b>Mg</b>	Saturación	0,43828	0,35966
	Extracto 1:5	0,21303	0,06208
	Extracto 1:10	0,08602	0,05888
<b>HCO<sub>3</sub></b>	Saturación	1,33126	1,06449
	Extracto 1:5	0,98952	0,87053
	Extracto 1:10	0,41864	0,86146
<b>Cl</b>	Saturación	0,40679	0,33569
	Extracto 1:5	0,20770	0,13776
	Extracto 1:10	0,25830	0,26233
<b>SO<sub>4</sub></b>	Saturación	0,29672	0,28519
	Extracto 1:5	0,07838	0,05831
	Extracto 1:10	0,11193	0,08275

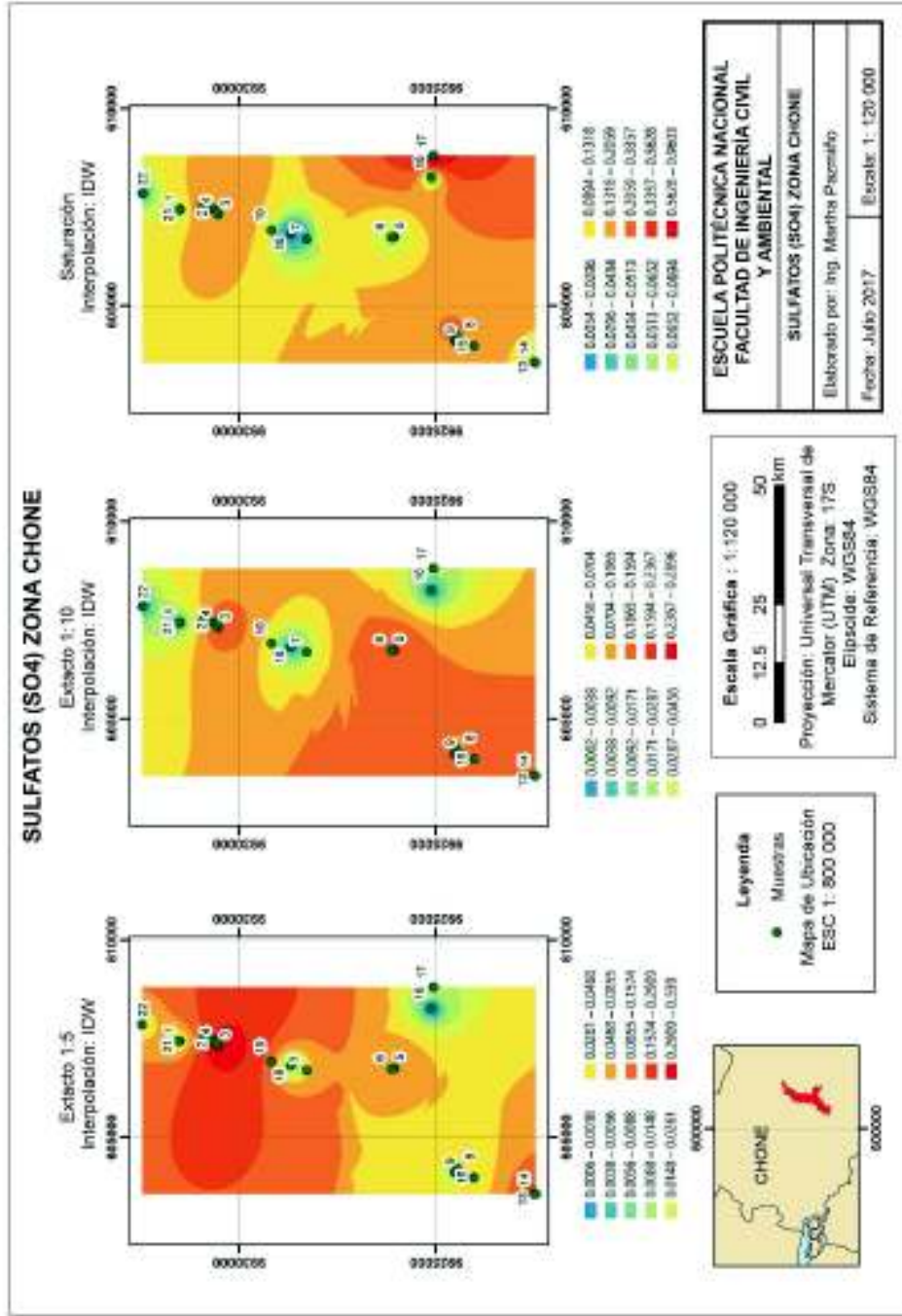
ELABORACIÓN: Martha E. Pazmiño

**TABLA 4.17**  
**MEJOR INTERPOLADOR ENTRE MÉTODOS KRIGING E IDW**

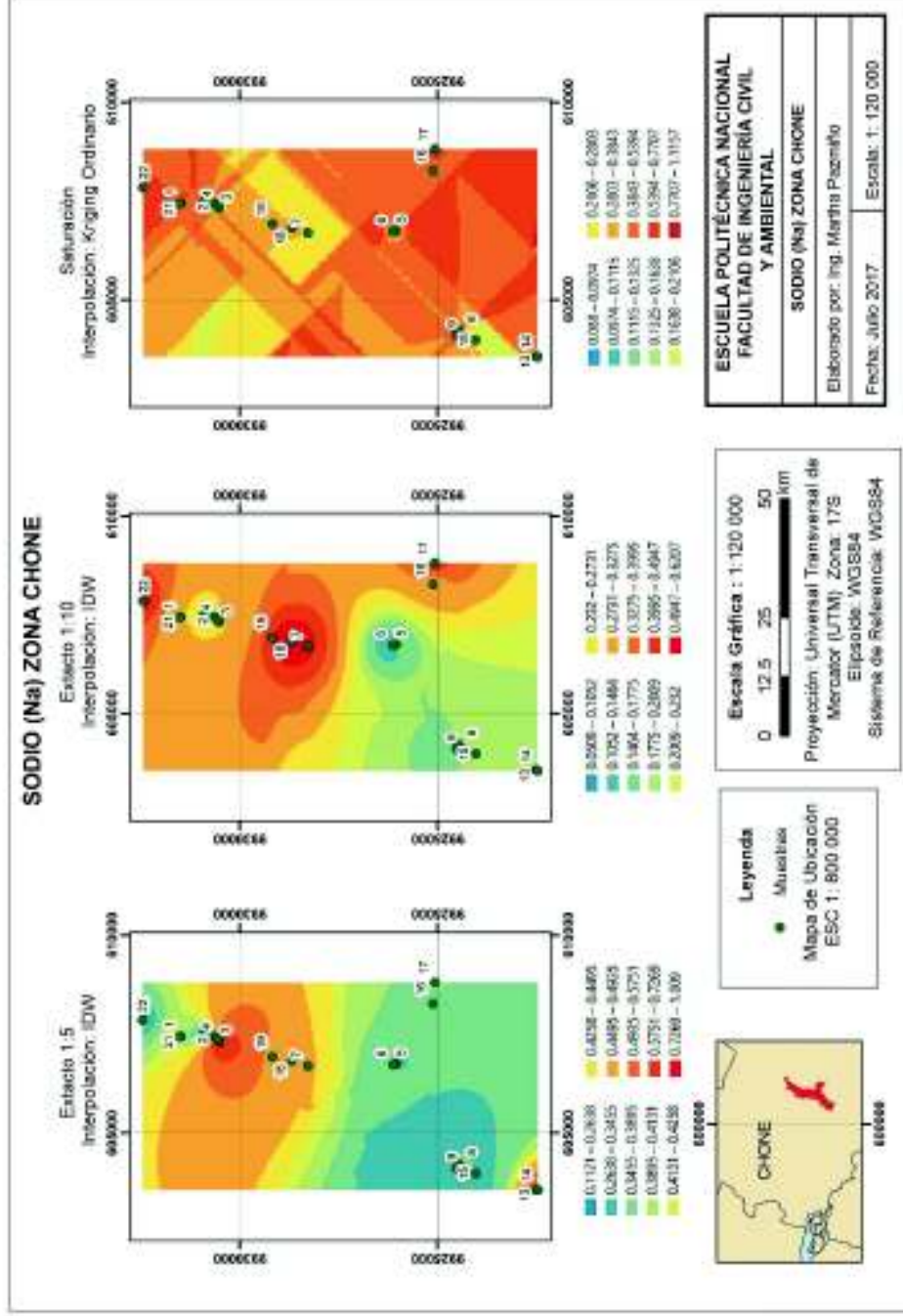
Parámetro	Concentración muestra	RESULTADO COMPARACIÓN	
		MENOR ECM	DESCRIPCIÓN
Na	Saturación	0,35367	<b>IDW</b>
	Extracto 1:5	0,51618	<b>IDW</b>
	Extracto 1:10	0,25572	<b>KRIGING</b>
K	Saturación	0,42612	<b>IDW</b>
	Extracto 1:5	0,35494	<b>IDW</b>
	Extracto 1:10	0,39349	<b>KRIGING</b>
Ca	Saturación	0,36379	<b>IDW</b>
	Extracto 1:5	0,10421	<b>KRIGING</b>
	Extracto 1:10	0,05354	<b>IDW</b>
Mg	Saturación	0,35966	<b>IDW</b>
	Extracto 1:5	0,06208	<b>IDW</b>
	Extracto 1:10	0,05888	<b>IDW</b>
HCO <sub>3</sub>	Saturación	1,06449	<b>IDW</b>
	Extracto 1:5	0,87053	<b>IDW</b>
	Extracto 1:10	0,41864	<b>KRIGING</b>
Cl	Saturación	0,33569	<b>IDW</b>
	Extracto 1:5	0,13776	<b>IDW</b>
	Extracto 1:10	0,25830	<b>KRIGING</b>
SO <sub>4</sub>	Saturación	0,28519	<b>IDW</b>
	Extracto 1:5	0,05831	<b>IDW</b>
	Extracto 1:10	0,08275	<b>IDW</b>

ELABORACIÓN: Martha E. Pazmiño

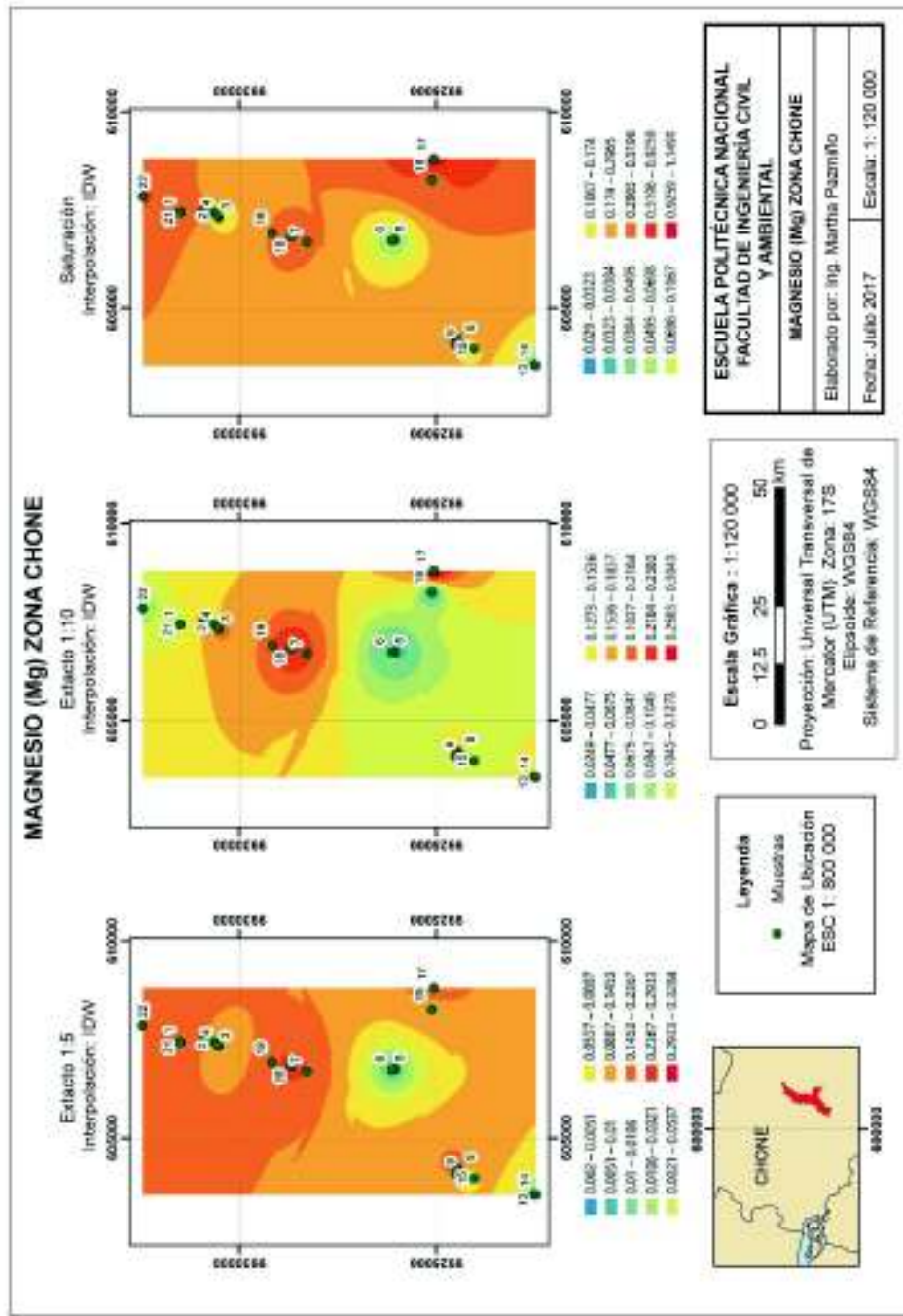
**GRAFICO 4.30  
MAPAS DE DISTRIBUCIÓN DE SULFATOS EN LA ZONA DE PPMCH.**



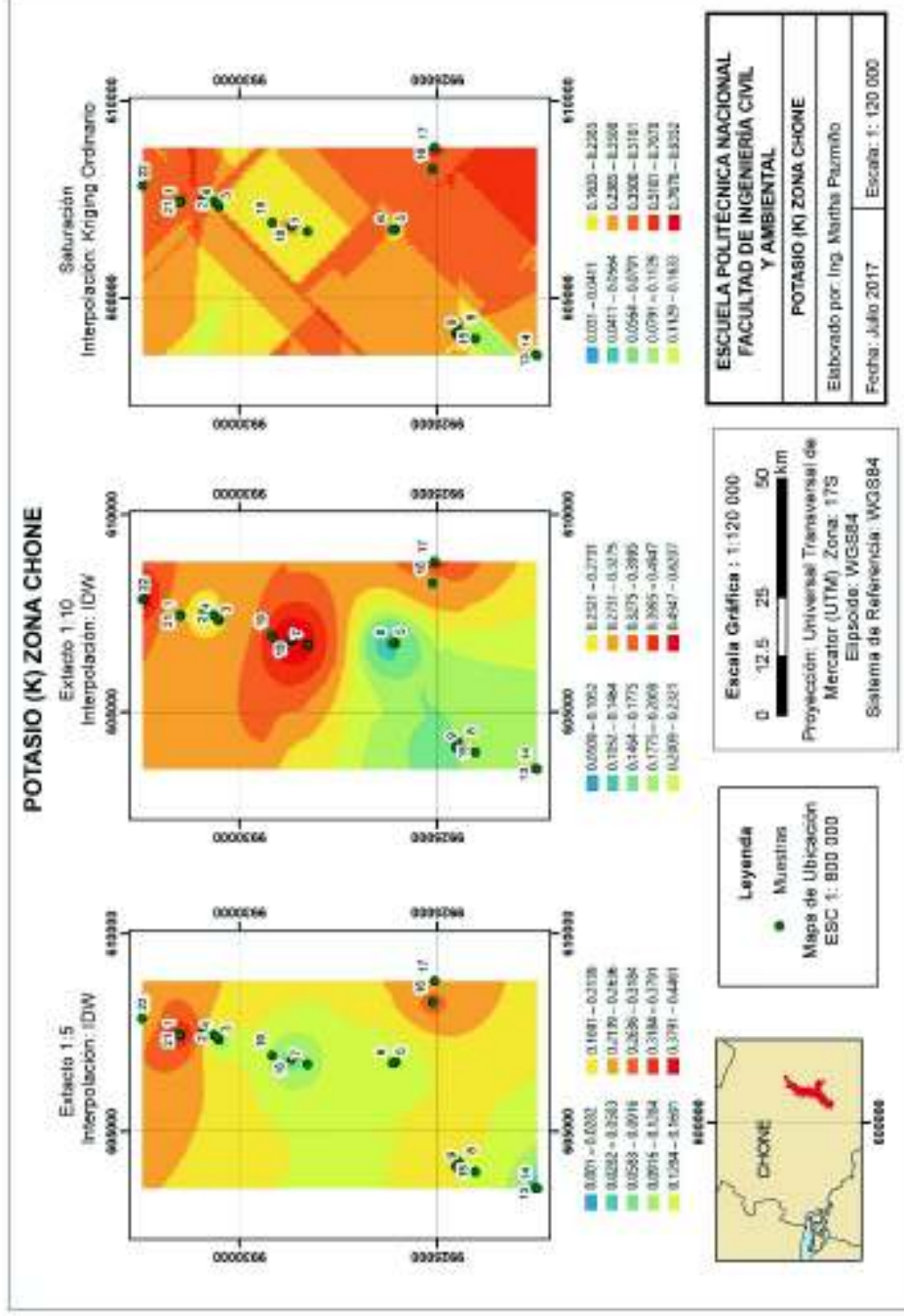
**GRAFICO 4.31**  
**MAPAS DE DISTRIBUCIÓN DE SODIO EN LA ZONA DE PPMCH.**



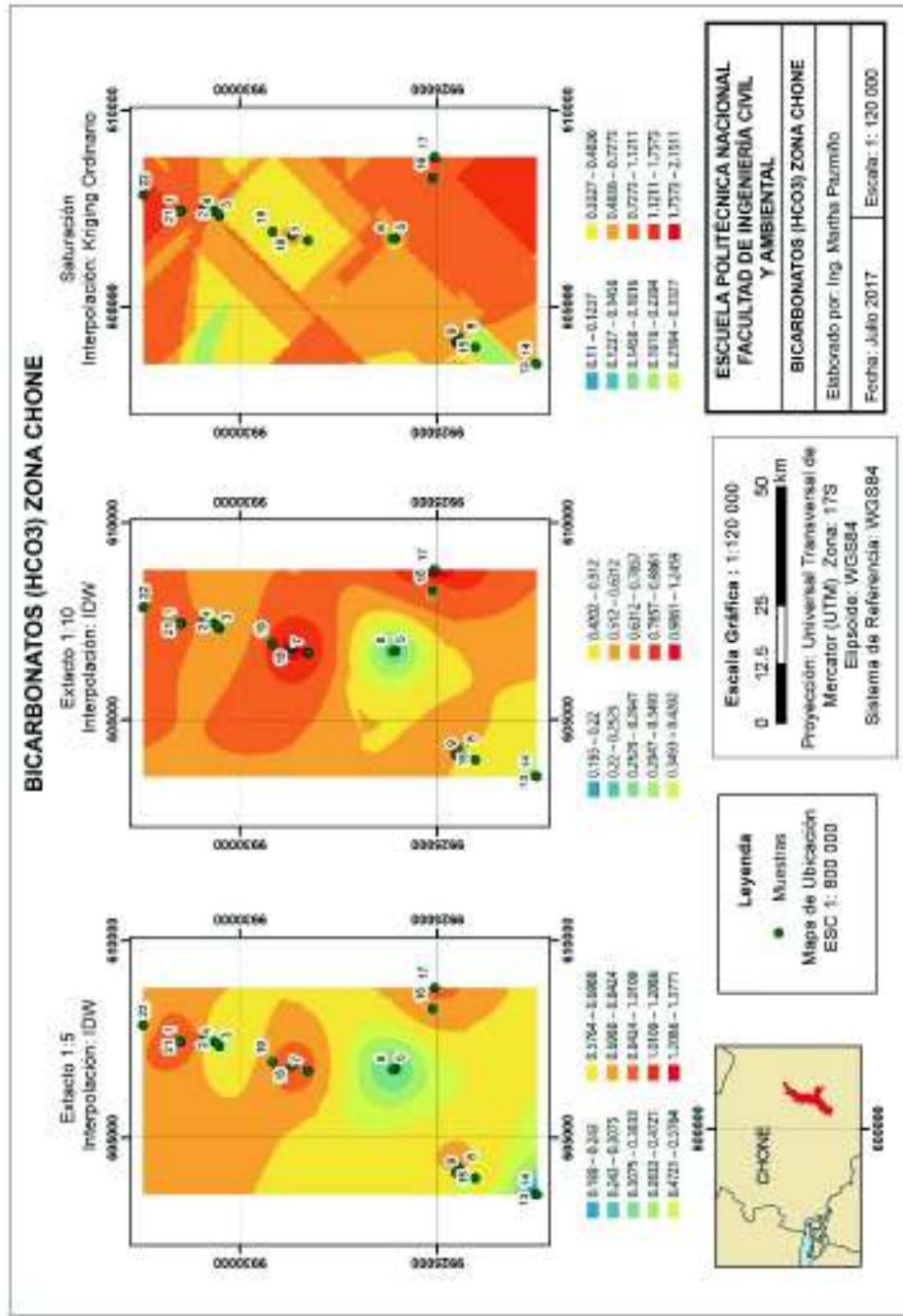
**GRAFICO 4.32**  
**MAPAS DE DISTRIBUCIÓN DE MAGNESIO EN LA ZONA DE PPMCH.**



**GRAFICO 4.33**  
**MAPAS DE DISTRIBUCIÓN DE POTASIO EN LA ZONA DE PPMCH**

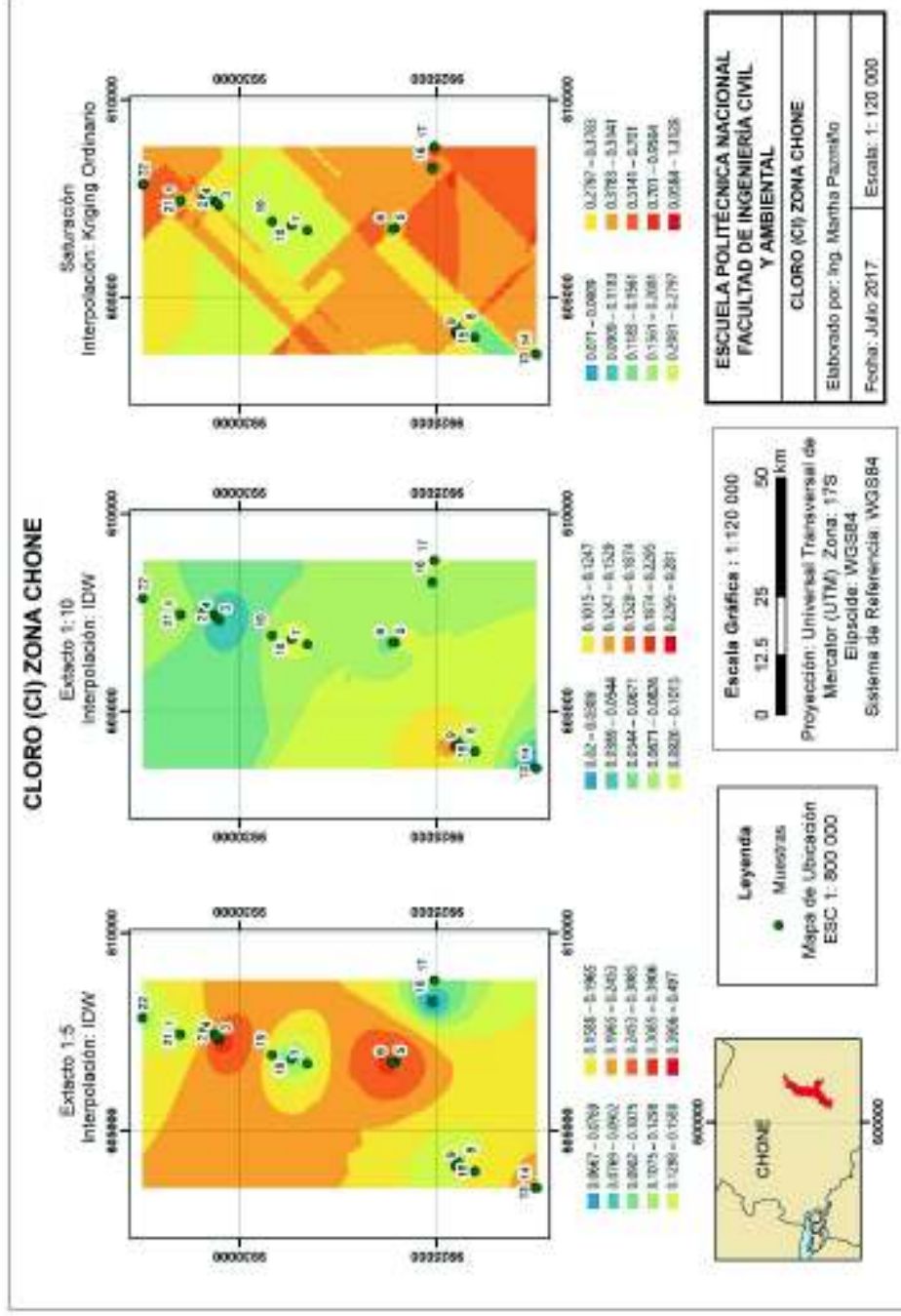


**GRAFICO 4.34  
MAPAS DE DISTRIBUCIÓN DE BICARBONATOS EN LA ZONA DE PPMCH**

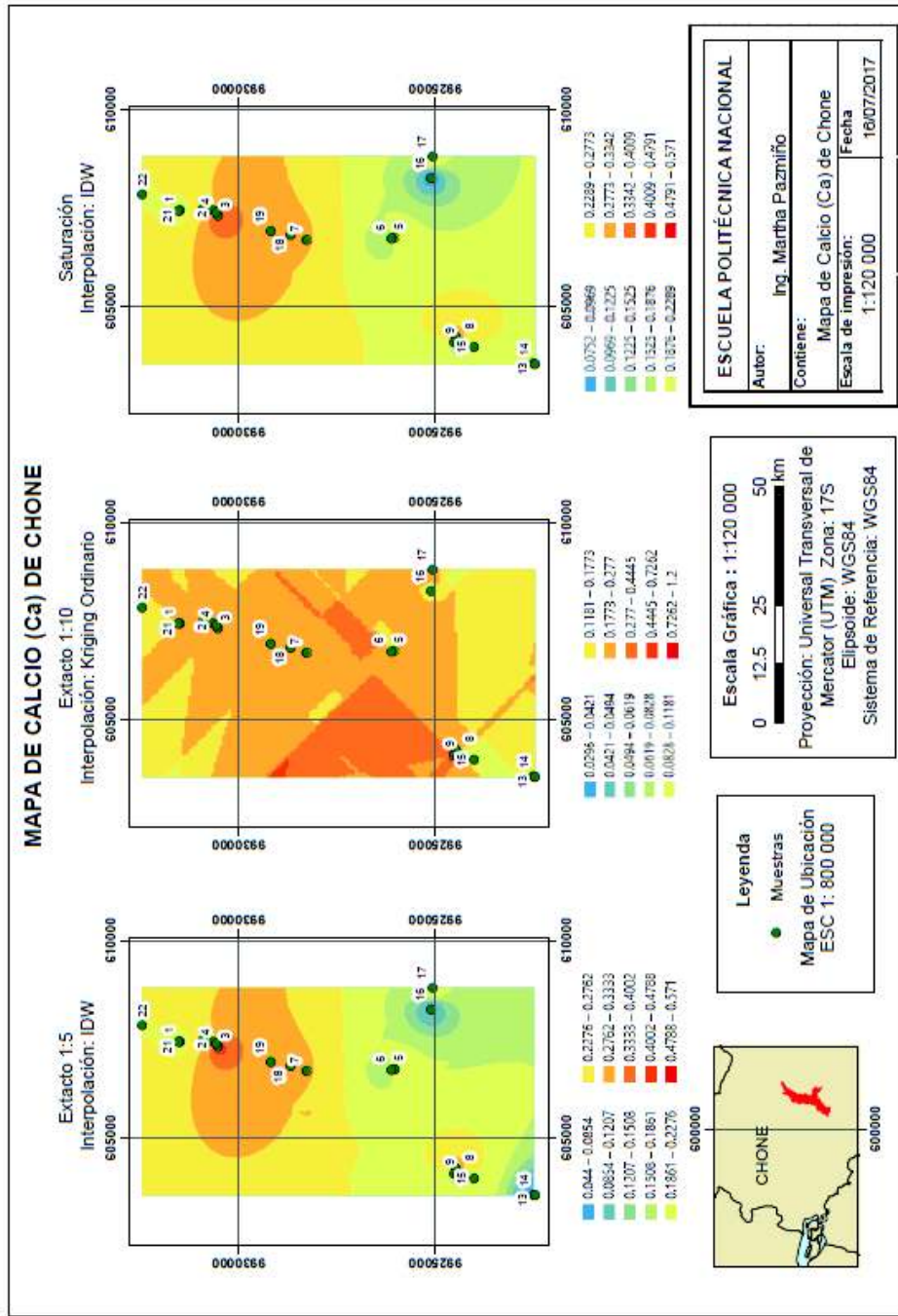




**GRAFICO 4.35  
MAPAS DE DISTRIBUCIÓN DE CLORUROS EN LA ZONA DE PPMCH**



**GRAFICO 4.36**  
**MAPAS DE DISTRIBUCIÓN DE CALCIO EN LA ZONA DE PPMCH**



## **CAPITULO 5**

### **PROPUESTA DE UN PLAN DE MANEJO Y MITIGACIÓN PARA LOS SUELOS DE LA ZONA DE RIEGO DEL PPMCH**

Para tratar los problemas que se generan en el suelo de la zona de riego del PPMCH y plantear medidas que ayuden a manejar de mejor forma este recurso vital, se debe tratar con información que involucra al manejo de la cuenca hidrográfica del Río Chone y se debe conocer la estrecha relación entre agua y suelo. Esta sección se va a enfocar principalmente en el suelo y la relación que tiene el cambio climático y el manejo agropecuario.

#### **5.1 LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RIO CHONE**

Una cuenca hidrográfica se define como un territorio delimitado por la propia naturaleza, por los límites de las zonas de escurrimiento de las aguas superficiales que confluyen hacia un mismo cause. La cuenca hidrográfica está conformada por componentes biofísicos, como agua y suelo, biológicos como la flora y la fauna y humanos, que guardan interrelación y equilibrio entre ellos, de manera que si se afecta a uno, se produce un desbalance que pone en peligro la cuenca como un sistema (Ramakrishna, 1997).

La cuenca hidrográfica es un sistema donde los procesos hidrológicos, geomorfológicos, edáficos y culturales se hallan conectados y donde se generan procesos hidrometeorológicos como erosión, remociones en masa, inundaciones y crecidas torrenciales. Con estos antecedentes, se desprende que el mal uso de los recursos naturales en la cuenca alta, media y baja puede ser una amenaza con diferentes grados de intensidad en toda la cuenca, con impactos de mayor intensidad en la cuenca baja (Carvajal, Rodríguez, & FAO, 2010).

El sistema Carrizal-Chone tiene un área de 2267 km<sup>2</sup>, y está comprendida entre las coordenadas 1°4'15.04"S, 0°27'14-23"S, 80°27'14.23"W y 79°52'11.78"W. Limita al norte con las cuencas del Río Briseño y Río Jama, al sur con las cuencas del Río Portoviejo y Río Guayas, al este con el Océano Pacífico, la cuenca del Estero Pajonal y al oeste con la cuenca del Río Guayas (Carvajal, Rodríguez, & FAO, 2010). La parte superior de la cuenca del río Chone está constituida por la subcuenca del Río Grande (188 km<sup>2</sup>), por la subcuenca del río Mosquito (117 km<sup>2</sup>) y la subcuenca del río Garrapata (150.50 km<sup>2</sup>). Estas subcuencas conforman un sistema hidrográfico que confluyen en la ciudad de Chone y por consiguiente tienen una gran influencia en el desarrollo de las localidades que se encuentran cercanas a los ríos (CRM; INERHI; CONADE;OEA, 1991).

Por su ubicación entre la línea de playa y la cordillera Costanera, tiene un régimen de precipitaciones muy característico, caracterizándose por una época invernal muy fuerte en los primeros meses del año y un verano extendido entre mayo y noviembre. Los promedios anuales de precipitación van desde 1500mm – 1750 mm como máximos y mínimos entre 0mm y 500mm en la época seca. (Carvajal, Rodríguez, & FAO, 2010).

## **5.2 EL RECURSO SUELO**

El suelo es un recurso básico en la producción agropecuaria, está expuesto a diversos elementos naturales y antrópicos que pueden causar su degradación o ser causante de contaminación de la producción. Cuando la causa principal de la degradación del suelo es la erosión hídrica, se requiere la implementación de medidas para evitar la desintegración y arrastre de las partículas. Estas pueden ser la siembra directa, uso de coberturas, mínima labranza, cultivos asociados, pasturas mejoradas, siembra a contorno entre otras (Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica, 2008).

Los problemas de infiltración pueden ser detenidos a través de la implantación de un conjunto de prácticas que lleven a la conservación del suelo como: la sistematización y protección del área para controlar el escurrimiento superficial, la preparación del suelo, la siembra de cultivos y la cobertura del suelo (IITA, Instituto Internacional de Agricultura Tropical, 2000).

El uso y manejo de fertilizantes para mejorar la producción, deben estar autorizados y aplicados según las recomendaciones del fabricante para evitar riesgos de contaminación en los trabajadores, consumidores y del ambiente y además lograr su efectividad (Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica, 2008).

### **5.3 EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA DEGRADACIÓN DEL SUELO**

El manejo de la tierra y el cambio climático están estrechamente ligados. Las áreas degradadas presentan una alta vulnerabilidad al cambio en los patrones climáticos y las poblaciones que se encuentran en estas zonas están ampliamente afectadas por estos impactos. Cierta tipo de prácticas han contribuido a que estos cambios se evidencien, la deforestación, las malas prácticas agrícolas y la ganadería están íntimamente ligadas con cambios en el patrón climático y en la degradación de los suelos de la zona de estudio (Segarra, 2014).

En esta sección nos vamos a centrar en el efecto de la agricultura tiene en los suelos de la zona y sobre todo en las medidas que se deben tomar para a través de un manejo sostenible de la tierra poder prevenir y revertir la degradación de la tierra y así evitar la desertificación de la zona. Cómo se ha venido explicando a lo largo del presente trabajo, al tener un contraste en el comportamiento climático en la provincia de Manabí, entre lluvias excesivas e inundaciones y períodos largos de una ausencia casi total de lluvias, el manejo del suelo debe estar enfocado en potenciar el combate contra la degradación del suelo.

Hay ciertas malas prácticas agrícolas que incluyen la quema para limpieza de los campos de cultivo, los monocultivos, el uso irracional de agroquímicos, la reducción de los períodos de barbecho, la intensificación de cultivos y la pérdida de los conocimientos ancestrales sobre técnicas de labranza, diversidad agrícola y aprovechamiento del agua han contribuido en los últimos años en la degradación del suelo. Estas malas prácticas agrícolas repercuten directamente en el suelo debido a la erosión y a la pérdida de nutrientes por acción de la lluvia y el viento (Segarra, 2014).

La estructura y composición del suelo se altera por el uso intensivo de agroquímicos y por las quemas de los residuos generados en el proceso agrícola y altera a los microorganismos encargados de descomponer la materia orgánica y de la fijación de los nutrientes y carbono. Las poblaciones más vulnerables son las que no pueden revertir los procesos de degradación a los que ellos contribuyen, porque se ven obligados a seguir produciendo bajo el mismo esquema que conocen (Segarra, 2014).

#### **5.4 DIAGNÓSTICO Y ESTRATEGIAS PARA LA EJECUCIÓN DE ACTIVIDADES EN LA CUENCA**

El diagnóstico de la cuenca como paso previo al inicio de nuevos proyectos, permite conocer aspectos biofísicos, socioeconómicos y ecológicos propios de la zona. Al tener este diagnóstico se tiene mejor conocimiento de los problemas del área geográfica a intervenir, sus causas y sus efectos, lo que permite que las acciones a realizar sean más efectivas. Se deben seleccionar instrumentos metodológicos como sondeos, encuestas, entrevistas, talleres participativos o reuniones con representantes locales (SENA, 1997).

Es necesario estar seguro desde el principio para qué se va a utilizar el monitoreo y la evaluación del suelo. Uno de los impactos de mayor importancia es la erosión hídrica y eólica y se dan de diferentes tipos. Para diseñar un sistema de monitoreo para suelos se necesita conocer lo que se quiere monitorear y para qué. Se podrá proveer

información valiosa para desarrollar políticas a nivel nacional, planificar y programar fondos a nivel nacional, regional y local. Se deben identificar obras de conservación de suelos adecuadas para convencer a los agricultores que la pérdida de suelo es importante (World Vision, 2014).

En grandes proyectos las estrategias ejecutan acciones mediante procesos escalonados y participativos, ayudando a que el proyecto llegue a la etapa de ejecución. Después de la planificación se procede a la etapa donde la condición previa es conocer las tecnologías a implementar.

## **5.5 MEDIDAS DE MANEJO SOSTENIBLE DE LA TIERRA EN CULTIVOS.**

El manejo sostenible de la tierra es la adopción de prácticas de buen uso del suelo, el agua y la biodiversidad para permitir a sus usuarios obtener beneficios económicos y sociales, garantizando al mismo tiempo el potencial para mantener las funciones ambientales de los recursos para beneficios de las generaciones actuales y futuras. Varias prácticas del manejo sostenible de la tierra contribuyen a la prevención de la degradación del suelo y la tierra, a su restauración, y son también medidas de mitigación y adaptación al cambio climático (Segarra, 2014).

Segarra (2014) detalla las prácticas de manejo sostenible en cultivos, establece las acciones a tomar para cada uno de las formas de uso de suelo agrícola en la zona y determina su aporte para prevenir la desertificación y la degradación del suelo.

### **5.5.1 MANTILLO Y RESIDUOS AGRÍCOLAS**

El mantillo es un abono natural, producto de la descomposición y fermentación de restos vegetales compost, turba y estiércol. Los residuos agrícolas son plantas leñosas

o herbáceas y las malezas, que necesitan ser retirados del campo para no estorbar a otras tareas agrícolas como la resiembra o la etapa de crecimiento de los cultivos.

Evita la degradación del suelo al impedir la evaporación del agua por efecto de la insolación y el viento. Libera gradualmente los nutrientes C, N, P, K y Mg para las plantas. Favorece la aireación y emisión de nuevas raíces protegiéndolas de los cambios atmosféricos. Evita la degradación del suelo al impedir la escorrentía y la erosión eólica. Evita además la sobrecarga de los cuerpos de agua cercanos con los sedimentos productos de la erosión. Favorece el mantenimiento de la temperatura del suelo y del aire y por lo tanto ayuda a evitar la pérdida de agua frente a los cambios extremos de esta (Segarra, 2014).

Cómo medida de mitigación se establece que aunque la cantidad de carbono secuestrado depende de la cantidad, calidad y tiempo de almacenamiento de los mantillos y residuos vegetales, estos pueden secuestrar carbono y lo fijan al suelo. Esta práctica de manejo sostenible de la tierra puede aplicarse en casi todas las zonas intervenidas y utilizadas para la agricultura y la ganadería. Se recomienda su principal utilización en las zonas donde hay cultivos de ciclo corto en regiones de piso climático cálido (Segarra, 2014).

### **5.5.2 ROTACIÓN Y DIVERSIFICACIÓN DE CULTIVOS**

La rotación de cultivos consiste en alternar cultivos de diferentes especies, con exigencias nutritivas en un mismo lugar, durante ciclos distintos. Esto favorece a que la acción de las raíces contribuya a suministrar elementos químicos propios de cada cultivo. También es importante la diversificación y combinación de cultivos ya que se suspenden las cadenas tróficas de las plagas y se disminuye la proliferación de enfermedades, incrementando su rendimiento (Segarra, 2014).

El aporte que estas medidas tienen para la prevención de la degradación y desertificación del suelo es mantienen la fertilidad a través del aporte de materia orgánica a diferentes alturas del perfil del suelo y de los distintos tipos de cultivos. La



rotación de cultivos, a más de unas buenas prácticas agrícolas, implica un uso racional de fertilizantes químicos, llegando a disminuir las dosis minimizando la contaminación con nitrógeno agrario del suelo y de los cuerpos de agua. Al tener diferentes cultivos en diferentes épocas que tienen enraizamientos a diferentes profundidades favorecen la infiltración e impiden la compactación del suelo. Con estas prácticas se puede afirmar que aunque la cantidad de carbono secuestrado depende de la cantidad, calidad y tiempo de permanencia de los cultivos, se puede mitigar un promedio de 0.39 toneladas de CO<sub>2</sub> por hectárea y por año (Segarra, 2014).

### **5.5.3 GESTIÓN DE FERTILIZANTES**

La mejor respuesta al uso de fertilizantes se obtiene si el suelo tiene un alto nivel de fertilidad cuyos factores determinantes son: la materia orgánica, la textura, la estructura, la profundidad, el contenido de nutrientes, la capacidad de almacenamiento, la reacción del suelo y la ausencia de elementos tóxicos (IFA, 2002).

El suelo está compuesto por partículas minerales de diferentes tamaños, que proceden de la alteración del material parental, de materia orgánica y de cantidades variables de agua y de aire. La textura del suelo y su estructura son de gran importancia para la fertilidad del suelo y para el crecimiento de las plantas. Se deben tener mucho cuidado cuando se aplican los fertilizantes para evitar que haya lixiviación de nutrientes como el nitrógeno y el potasio (IFA, 2002).

Debido a las presiones demográficas y económicas se ha visto que hay un abuso en el uso de los fertilizantes a base de nitrógeno, fósforo y potasio, lo cual causa a la larga, si no se maneja adecuadamente, daños en la composición y biología del suelo. Sin embargo, hay que establecer que la aplicación técnica del tipo de fertilizante y el conocimiento del entorno en el que se aplica, incrementa el rendimiento de los cultivos. En la actualidad se están desarrollando fertilizantes orgánicos provenientes de plantas y animales aunque no se ha generalizado su uso (Segarra, 2014).

El uso excesivo de fertilizantes sintéticos y biocidas pueden acarrear problemas con la calidad del agua que se usa para el consumo y para el riego, ayudar a la salinización del suelo. Además se considera que es un catalizador en los procesos de desertificación y degradación del suelo agrícola debido a la acumulación de sustancias tóxicas que no permiten la regeneración del suelo y de trasladar estas sustancias a la microbiota del suelo, a los cultivos y a los animales que lo consumen, incluyendo al hombre, lo que genera un proceso de bio-acumulación (Segarra, 2014).

El uso de fertilizantes orgánicos y la transición hacia un manejo adecuado y eficiente de estos disminuye notablemente el uso de productos químicos, asegurando el uso sostenible de las tierras de cultivo. Estos fertilizantes o abonos orgánicos son de fácil elaboración y de muy fácil disposición. Con esta práctica se reduce las emisiones de Gases de Efecto Invernadero porque aprovecha el carbono de la biósfera y no de los depósitos de carbono (Segarra, 2014).

Un adecuado manejo del suelo permite mejorar la fertilidad de los suelos a través de la incorporación de abono orgánico y del material vegetal que se deja descomponer en el mismo terreno. Mejora la capacidad de retención de humedad en el suelo en los periodos de sequía, lo que permite que haya un importante crecimiento de microorganismos que descomponen la materia orgánica y mejora la fertilidad del suelo. El suelo no se erosiona fácilmente con las inundaciones, primero por la composición y ordenamiento de los árboles frutales en los terrenos, hay drenajes en la finca y los linderos con muros de hierba impiden el arrastre del suelo. (Carvajal, Rodríguez, & FAO, 2010).

#### **5.5.4 MEDIDAS PARA EVITAR LA EUTROFIZACIÓN DEL EMBALSE Y SUS CONSECUENCIAS CON LOS SUELOS.**

La construcción de la presa trajo una serie de problemas con las aguas del embalse que luego serán usadas para el riego de la zona. El principal problema es la eutrofización de tipo hipertrófica en el río Grande, lo que conlleva a un gran impacto

social, ambiental y económico a los poblados que se ubican en su rivera. (Palacios Orejuela, Ushiña Huera, & Carrera Villacrés, 2018)

Como soluciones ante este problema, Palacios, Ushiña y Carrera (2018) en su estudio plantean el desarrollo de nuevas técnicas en las que se hace uso de tecnosoles, que son suelos extraídos del lugar a remediar para su posterior alteración por el hombre, en los que se adicionará de forma técnica cierto tipo de artefactos. Para que se denomine tecnosoles propiamente, debe existir la adición de elementos ajenos al suelo (>30%), caso contrario, si sólo alteran sus propiedades, se trata de un suelo modificado. La calcinación es un cambio de las propiedades físicas y químicas mediante el incremento de la temperatura, haciendo que se volatilicen los compuestos orgánicos del suelo. La finalidad de este proceso sería la de conseguir un suelo modificado capaz de adsorber fosfatos disueltos que permitan evitar la eutrofización en la parte baja de la cuenca. (Palacios Orejuela, Ushiña Huera, & Carrera Villacrés, 2018).

## **5.6 MARCO LEGAL**

### **5.6.1 CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR 2008**

En el Título Segundo, Derechos, Capítulo segundo correspondiente a los Derechos del buen vivir en la Sección segunda del Ambiente sano, Art. 14 establece que el Estado ecuatoriano “reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*.” “Declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la preservación del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.”

En el Título Sexto, Régimen de Desarrollo, Capítulo primero de los Principios generales en el Art.276 establece en la sección 4 como uno de los objetivos “recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural.”

En el Título Séptimo, Régimen del Buen Vivir, Capítulo segundo, Biodiversidad y recursos naturales en el Art. 409 determina que “es de interés público y prioridad nacional la conservación del suelo, especial su capa fértil. Se establecerá un marco normativo para protección y uso sustentable que prevenga su degradación, en particular la provocada por la contaminación, la desertificación y la erosión. En áreas afectadas por procesos de degradación y desertificación, el Estado desarrollará y estimulará proyectos de forestación, reforestación y revegetación que eviten el monocultivo y utilicen, de manera preferente, especies nativas y adaptadas a la zona.”

A continuación, el Art. 414 correspondiente a la Sección segunda, Biósfera, ecología urbana y energías alternativas, dispone que “el Estado adoptará medidas adecuadas y transversales para la mitigación del cambio climático, mediante la limitación de las emisiones de gases de efecto invernadero, la deforestación y de la contaminación atmosférica; tomará medidas para la conservación de los bosques y la vegetación y protegerá a la población en riesgo.”

#### **5.6.2 ACUERDO MINISTERIAL 045 DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE**

En el Acuerdo Ministerial 045 se expide las normas de la Autoridad Ambiental Nacional de Desertificación, Degradación de Tierras y Sequía, su estructura y competencias.

En el Art. 2 detalla la Estructura de la Autoridad Ambiental Nacional de Desertificación Degradación de Tierras y Sequía que estará presidida por el Ministro de Ambiente o

su delegado permanente debidamente acreditado será quien presida esta instancia y que coordinará su accionar con la Subsecretaría de Cambio Climático del MAE.

En el Art. 3 establece las competencias de esta Autoridad “para convocar a Secretarías y Ministerios de Estado con competencias en la materia, para generar de manera conjunta políticas, lineamientos y normativas” para esta lucha y para “el manejo sostenible de la tierra”. “Procurar que en la jurisdicción de Gobiernos Autónomos Descentralizados amenazados por la Desertificación, Degradación de Tierras y Sequías, implementen en coordinación con el MAE, iniciativas y medidas adecuadas con enfoque de manejo sostenible de la tierra.” Adicionalmente “establecer vínculos de comunicación y coordinación con el Secretariado de la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación CNULD.

### **5.6.3 ACUERDO MINISTERIAL 068 DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE**

En este Acuerdo Ministerial se describe el procedimiento para la Acreditación ante el Sistema Único de Manejo Ambiental (SUMA), competencias de las autoridades ambientales y la Participación Ciudadana.

El Art. 8 del Capítulo segundo, detalla que para obtener esta acreditación deberá presentar una solicitud por parte de la máxima autoridad del Gobierno Autónomo Descentralizado provincial o municipal u organismo sectorial, donde se haga referencia a las bases legales que determinan las competencias administrativas en materia ambiental. También una declaración de la política ambiental sectorial, especificar los sectores a los cuales aspira tener competencias ambientales, entre otros. Debe además cumplir con ciertos aspectos jurídicos, económicos, institucionales, humanos, técnicos y tecnológicos que le permitan cumplir con sus responsabilidades cuando son acreditados.

En el Capítulo tercero, Art. 19 se indica que “el Ministerio del Ambiente es competente para gestionar todos los procesos relacionados con la prevención, control y

seguimiento de la contaminación ambiental, de todos los proyectos, obras o actividades a desarrollarse en el país. Esta facultad puede ser delegada a los Gobiernos Autónomos Descentralizados provinciales y/o municipales, u organismo sectorial, que conforme a la ley están facultados para acreditar su sub-sistema de manejo ambiental a través del proceso previsto para la acreditación.”

El Art. 20 establece como competencia exclusiva a la Autoridad Ambiental Nacional, en caso de no existir una Autoridad Ambiental de aplicación responsable.

En el Art. 21 del Capítulo tercero se habla sobre la competencia de las Autoridades Ambientales de Aplicación Responsable y establece: “dado que los procesos para la prevención, control y seguimientos de la contaminación ambiental, son tareas interdisciplinarias que involucran a diferentes autoridades ambientales dentro de una misma circunscripción, en necesario identificar cual es la autoridad ambiental de aplicación responsable que es competente para llevar estos procesos; por tal motivo y sin perjuicio de lo que dispone el artículo anterior, se establecen los siguientes parámetros:

- a. Competencias a nivel de organizaciones de gobierno
- b. Competencias a nivel de personas naturales o jurídicas no gubernamentales.”

El Capítulo Séptimo de la Participación Ciudadana establece en el Art. 62 trata sobre “La participación ciudadana en la gestión ambiental tiene como finalidad considerar e incorporar los criterios y las observaciones de la ciudadanía, especialmente la población directamente afectada por un proyecto, obra o actividad, sobre las variables ambientales relevantes de los estudios ambientales y planes de manejo ambiental, siempre y cuando sea técnica y económicamente viable, para que las actividades o proyectos que puedan causar impactos ambientales se desarrollen de manera adecuada, minimizando y/o compensando estos impactos a fin de mejorar las condiciones ambientales para la realización del proyecto, obra o actividad en todas sus fases. La participación ciudadana en la gestión ambiental se rige por los principios de legitimidad y representatividad y se define como un esfuerzo tripartito entre i) las

instituciones del Estado; ii) la ciudadanía; y iii) el promotor interesado en realizar una actividad o proyecto.”

## CONCLUSIONES

- La composición iónica de los suelos de la zona de riego de la Fase 2 de Proyecto Propósito Múltiple Chone, estudiados en este trabajo, debido a su historia geológica, da lugar a la predominancia de calcio y bicarbonatos. Al hacer la comparación de los valores obtenidos en el laboratorio en los extractos de suelo estudiados con los valores referenciales de la Norma TULSMA, ninguno sobre pasa los rangos límites establecidos.
- El valor del pH de los extractos de suelo analizados varía entre 6.56 y 7.59 determinando que los suelos están entre neutros y ligeramente alcalinos, donde los efectos tóxicos de los elementos son mínimos.
- Los valores de CE van entre 0.08 dS/m como mínimo y 0.66 dS/m como máximo. Al tener estos valores muy pequeños y adicionalmente valores de pH también muy pequeños se encontró que los límites de todas las normas ambientales establecen límites que no aplican en este caso y la mayoría de documentos tratan sobre suelos en los que por su caracterización sobrepasan los límites de las normas.
- La distribución de aniones y cationes de los perfiles de suelo estudiados dan como resultado que los iones dominantes para los extractos de saturación ( $1 \approx 0.2-0.6$ ) son  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{HCO}_3^-$ , para la relación 1:5 y 1:10 son dominantes  $\text{Na}^+$  y  $\text{HCO}_3^-$ .
- De acuerdo a la clasificación de los suelos en función de la Densidad Aparente se tiene que el 72.72% (16 perfiles) son suelos arcillosos, el 22.73% (5 perfiles) son suelos francosos y el 4.55% (1 perfil) corresponde a un suelo orgánico y volcánico.



- Sobre la Densidad Real, el promedio esta obtenido luego del análisis de las muestras de suelo de la zona de estudio es de 2.31. La mayoría de los perfiles estudiados, 19 (86.36%) tienen minerales de arcilla y el resto de perfiles, tres (13.36%) tienen cuarzo y feldespato.
- Según los parámetros de la clasificación de los suelos en base a la sodicidad y comparando los valores de CE con las diferentes formas de RAS, el 45.45% de los perfiles estudiados son C1-S1, suelos de baja salinidad y bajo nivel de sodio. El 54.55% son C2-S1, suelos de salinidad media y baja concentración de sodio, lo que permite sembrar cultivos moderadamente tolerantes a las sales. Al ser todos los perfiles S1 existe pocos problemas de sodicidad y esto requiere que se tome en cuenta para cultivos que son sensibles a la acumulación de sodio. Con la explicación que se dio anteriormente se concluye que no existe problema con estos tipos de suelo y con la mayoría de cultivos, pueden usarse ya que tienen poca probabilidad de alcanzar grados peligrosos de sodio intercambiable.
- Con respecto a la clasificación hidrogeoquímica obtenida del diagrama de Piper se establece que los suelos de la zona de riego están en la zona central del rombo superior, indicando 8 muestras que pertenecen a la familia bicarbonatada cálcica. 2 muestras son de la familia bicarbonatada sódica, 6 muestras están en la zona de la familia sulfatada sódica y 6 pertenecen a la familia clorurada cálcica.
- Interpretando los porcentajes de sodio encontrados, se concluye que la posibilidad de generar suelos sódicos es alta, con esto los problemas de infiltración aumentan, por lo que es indispensable encontrar un sistema de riego que solvante las necesidades de la zona.

- Al utilizar el diagrama que se usa para analizar la reducción relativa de infiltración por salinidad, se puede apreciar que 8 perfiles correspondientes al 36.36% tienen reducción severa de infiltración. 12 perfiles, el 54.55% están ubicados en la zona de reducción ligera y solamente 2 perfiles, el 9.09% no presenta reducción de infiltración. Se pueden solucionar los problemas de infiltración con el desarrollo de un sistema de riego eficiente que supla las necesidades de los cultivos y que mantenga la humedad adecuada.
- El contenido de boro en todos los puntos que se tomaron muestras a los 20 cm de la superficie, en los extractos de saturación ( $1 \approx 0.2-0.6$ ), 1:5 y 1:10 es 0 mg/l. Durante el trabajo de laboratorio se utilizaron varios protocolos para analizar el contenido de boro en las muestras, pero siempre el resultado fue el mismo: no existe presencia de boro en el suelo a esa profundidad. Una explicación puede ser que este compuesto se lixivia con facilidad, es por esto que el boro es considerado el más móvil de los micronutrientes, por lo tanto, no hay problemas de toxicidad por boro.
- Se debe tener un especial cuidado con el suelo superficial, ya que como se pudo observar en las dos épocas de muestreo, en el invierno la cantidad de lluvias generan una capa de suelo suelto, que en ciertas zonas se convierte en lodo y en verano forma una capa superficial muy dura. Para esto se debe analizar y conocer a ciencia cierta las características del sitio y sobre todo procurar no degradar el suelo para que pueda servir por muchos años sin disminuir su producción.
- Para la realización de los mapas de distribución de los iones principales presentes en los extractos de los suelos de este estudio, se hizo la comparación entre los métodos de interpolación Kriging e IDW y se utilizó para cada caso el mejor interpolador de acuerdo al menor valor del Error Medio Cuadrático.

- Los agricultores de la zona de estudio que se dedican a la actividad agrícola cultivan especies diversas dentro de una misma área, así en un mismo terreno encontramos cítricos y cacao, por ejemplo. Esta práctica a más del desconocimiento de las características del suelo, no permiten realizar un adecuado riego ni un adecuado sistema de fertilización lo que al generalizar y tratarlas del mismo modo pueden generar, con el constante mal uso, contaminación, degradación y hasta puede llegar a la desertificación.

## RECOMENDACIONES

- Se debe tener un especial cuidado con el suelo superficial, ya que como se pudo observar en las dos épocas de muestreo, en el invierno la cantidad de lluvias generan una capa de suelo suelto, que en ciertas zonas se convierte en lodo y en verano forma una capa superficial muy dura. Para esto se debe analizar y conocer a ciencia cierta las características del sitio y sobre todo procurar no degradar el suelo para que pueda servir por muchos años sin disminuir su producción
- Para la utilización de fertilizantes para mejorar la producción, se debe conocer con certeza las necesidades de los cultivos predominantes en la zona, para suplir sus necesidades para evitar generar daños en la estructura del suelo.
- Para asegurar que el funcionamiento y la rentabilidad de la implementación del plan de manejo de los suelos de la zona de riego de la Fase dos del PPMCH es importante que los involucrados, pobladores, industriales y entes gubernamentales, tengan conciencia sobre los beneficios que se van a obtener y la importancia de asegurar la calidad de los recursos. Uno de los principales objetivos del PPMCH es el incremento de la producción asegurando el fortalecimiento de los parámetros de la nueva matriz productiva que va a llevar a un aumento de los indicadores económicos de la zona.
- Para hacer el análisis con un modelo geoestadístico es recomendable tener un mayor número de datos para realizar un modelo que permita predecir de mejor manera el comportamiento de los parámetros de estudio.

## **ANEXOS**

### **1. TOMA DE MUESTRAS**

Una vez determinada la metodología para la toma de muestras y establecidas las coordenadas de los puntos de muestreo se llega al sitio. Luego de hacer una inspección visual se retira todo resto de vegetación, hojas, ramas, troncos y raíces. Una vez limpio el lugar se empieza a excavar una zona cuadrada de aproximadamente 0.50 m por lado. Se retiran los primeros 0.20m del suelo que se considera como la capa vegetal, donde está la mayor parte de raíces y residuos vegetales en descomposición. Para la excavación se utilizan herramientas como picos, palas o barrenos que no estén oxidados porque podrían contaminar las muestras de suelo.

Las muestras se toman a partir de los 0.20 m. Se recogen por lo menos 3.5 kilos de suelo, en dos fundas de dos kilos de capacidad. Se utilizan fundas de plástico con sello, tipo Ziplock. Se coloca cinta adhesiva para garantizar que no haya fuga de humedad del suelo. Se etiqueta cada una para conocer el número de la muestra de suelo, las coordenadas y la altura del sitio escogido para el muestreo

### **2. TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS**

Una vez tomadas y etiquetadas el número de muestras requeridas se las debe transportar en un contenedor cerrado para garantizar que estas no pierdan la humedad natural hasta llegar al laboratorio. Se las debe conservar de esta manera y transportarlas al laboratorio en el menor tiempo posible para preservar las características del suelo. Se utiliza una de las fundas con suelo para los ensayos que se necesitan y la otra funda queda como reserva para análisis posteriores.

### **3. PREPARACIÓN DE MUESTRAS DE SUELO.**

Como primer paso secar la porción de suelo que se necesita para los ensayos de laboratorio, aproximadamente 1.5 kilos por muestra.

Se seca el suelo para facilitar su manejo, mejorar la homogenización y disminuir los cambios químicos indeseables (NOM-021-SEMARNAT, 2000).

Las muestras de suelo se secan al ambiente, a la sombra y a una temperatura menor a 35°C y con una humedad relativa del ambiente entre 30 y 70%, cuidando que no sean contaminadas con algún agente externo que pueda alterar sus características.

El secado se debe realizar extendiendo la muestra de suelo sobre una superficie limpia que puede ser charolas de plástico, vidrio, aluminio, fibra de vidrio, polietileno o papel. Se extiende la muestra hasta una profundidad menor a 2.5 cm. Se debe mover el suelo diariamente para garantizar que se seque uniformemente.

Una vez que el suelo esté seco, cuando el ensayo de humedad diaria así lo indique, cuando la diferencia de pesos entre dos días consecutivos sea mínima, se debe retirar rocas, piedras pequeñas o cualquier material orgánico visible, hojas, ramas y raíces pequeñas.

Posteriormente, se procede a triturar los terrones grandes de suelo con un combo de goma o con un mazo de madera para reducir el tamaño de las partículas.

Se tamiza el suelo utilizando un tamiz de acero inoxidable, con aberturas de 2mm de diámetro, malla No. 10.

El suelo tamizado se lo vuelve a guardar en las fundas herméticas que se usaron anteriormente. Este es el que se utiliza para determinar la caracterización físico-química del suelo desde el punto de vista agrícola (NOM-021-SEMARNAT, 2000).

#### **4. PREPARACIÓN DE EXTRACTOS SUELO-AGUA**

Para los ensayos de caracterización físico-química del suelo se utiliza extractos suelo-agua en diferentes proporciones y concentraciones. Se necesitan extractos en proporciones 1≈0.2-0.6 (saturación), 1:5 y 1:10. Estas proporciones y concentraciones se las obtiene mezclando diferentes cantidades de suelo con agua destilada. A continuación, se explica cómo preparar estos extractos.

##### **4.1 EXTRACTO DE SATURACIÓN 1≈0,2-0,6**

###### **Materiales y equipos:**

- 400 gramos de suelo seco y tamizado
- Agua destilada
- Recipiente de plástico con tapa con capacidad para 1 kg
- Botella con tapa para 500 ml
- Probeta de 100 ml
- Espátula
- Balanza analítica
- Bomba de vacío
- Filtro de porcelana
- Filtros de papel
- Balón Kitasato
- Membrete con identificación de la muestra de suelo

###### **Procedimiento:**

Pesar en la balanza analítica los 400 gramos de suelo y se utiliza el recipiente de plástico para realizar la mezcla del suelo con el agua destilada. En la probeta de 100ml se coloca agua destilada hervida y fría. Se añade poco a poco el agua, puede ser al principio de 50 ml en 50 ml, en el suelo y se procede a mezclar usando la espátula, se

repite la operación reduciendo la cantidad de agua hasta obtener una mezcla pastosa de suelo.

¿Hasta cuanto poner? Va a depender del tipo de suelo y de su contextura. Para saber que se ha alcanzado el punto de saturación se deben observar tres parámetros: 1) La mezcla debe tener la superficie brillante. 2) Al pasar la espátula en forma diagonal las paredes del surco que se forma deben prácticamente juntarse y 3) al girar el recipiente y colocarlo vertical no debe haber corrimiento de la pasta. Es por esto que la proporción es abierta entre 0.2 y 0.6 del peso del suelo.

Una vez obtenida la pasta saturada se coloca en refrigeración hasta el día siguiente para permitir que el agua que se utilizó para la mezcla tome de este los compuestos que serán analizados en las pruebas posteriores.

Al día siguiente, se pone la pasta saturada en el filtro de porcelana con el filtro de papel que forma parte del conjunto Balón Kitasato-bomba de vacío para que se extraiga de esta el extracto que es agua con diferentes concentraciones de elementos del suelo.

Dependiendo del tipo de suelo, de sus características, se toma un tiempo que puede ir entre 1 hora y 5 horas para que sea extraído todo el extracto de saturación.

Una vez obtenido este extracto, se lo traslada a una botella con tapa para 500ml. Se procede a etiquetar poniendo el número de muestra, la concentración en este caso saturación y la fecha de extracción. Se debe mantener en refrigeración para conservar las características del extracto sin alteración.

#### **4.2 EXTRACTO 1:5**

##### **Materiales y equipos:**

- 50 gramos de suelo seco y tamizado
- 250 ml de agua destilada



- Recipiente de plástico con tapa con capacidad para 1 kg
- Botella con tapa para 500 ml
- Probeta de 100 ml
- Espátula
- Balanza analítica
- Bomba de vacío
- Filtro de porcelana
- Filtros de papel
- Balón Kitasato
- Membrete con identificación de la muestra de suelo

**Procedimiento:**

En la balanza analítica pesar los 50 gramos de suelo seco y tamizado, colocarlo en el recipiente plástico.

Con la probeta medir los 250 ml de agua destilada hervida y fría. Poner en el recipiente con el suelo, mezclar con la espátula hasta formar una mezcla de color oscuro.

Dejar reposar en el refrigerador hasta el día siguiente para permitir que el agua tome los compuestos del suelo.

Al día siguiente se procede de la misma forma que para la pasta de saturación, colocando la mezcla en el filtro de porcelana y la bomba de vacío para extraer el agua del suelo.

Guardar el extracto en refrigeración en la botella etiquetada para realizar las pruebas de caracterización de la muestra.

**4.3 EXTRACTO 1:10****Materiales y equipos:**

- 25 gramos de suelo seco y tamizado
- 250 ml de agua destilada
- Recipiente de plástico con tapa con capacidad para 1 kg
- Botella con tapa para 500 ml

- Probeta de 100 ml
- Espátula
- Balanza analítica
- Bomba de vacío
- Filtro de porcelana
- Filtros de papel
- Balón Kitasato
- Membrete con identificación de la muestra de suelo

**Procedimiento:**

En la balanza analítica pesar 25 gramos de suelo seco y tamizado, colocarlo en el recipiente plástico.

Con la probeta medir los 250 ml de agua destilada hervida y fría. Poner en el recipiente con el suelo, mezclar con la espátula hasta formar una mezcla de color oscuro.

Dejar reposar en el refrigerador hasta el día siguiente para permitir que el agua tome los compuestos del suelo.

Al día siguiente se coloca la mezcla suelo-agua en el filtro de porcelana y la bomba de vacío para extraer el agua del suelo.

Guardar el extracto en refrigeración en la botella etiquetada para realizar las pruebas de caracterización de la muestra.

**5. TARADO DE CRISOLES****Materiales y equipos:**

- Crisoles de porcelana
- Balanza analítica
- Estufa
- Desecador con gel de sílica

**Procedimiento:**

El crisol de porcelana se seca en una estufa a 105°C por 24 horas. Se retira el crisol de la estufa una vez ha transcurrido el tiempo requerido. Dejar que el crisol se enfríe en el desecador. Pesar el crisol vacío frío en la balanza analítica. Etiquetar el crisol con los datos respectivos de la muestra a analizar.

A continuación, se detallan los ensayos realizados para hacer la caracterización físico-química de los suelos agrícola que vamos a analizar.

**ENSAYOS REALIZADOS****6. CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO.****Introducción.**

Según Fernández Linares y otros (2006), el agua es muy importante en el proceso natural de todo ser vivo. En su forma molecular participa en algunas reacciones metabólicas celulares, es un solvente y portador de nutrientes entre el suelo y las plantas y dentro de estas. Intemperiza las rocas y los minerales, ioniza los micro y los macro nutrientes que las plantas toman del suelo y permite que la materia orgánica sea biodegradable.

El contenido de agua en el suelo puede ser benéfico pero a veces también perjudicial. El exceso de agua en los suelos favorece la lixiviación de sales y de otros compuestos. El agua es un regulador importante de las actividades físicas, químicas y biológicas del suelo.

Es por eso la importancia de determinar el contenido de humedad del suelo para saber si este elemento básico para el desarrollo agrícola tiene lo que es necesario para hacer producir una zona.

**Materiales y equipos:**

- 30 g. de suelo
- 1 crisol de porcelana previamente tarado

- Balanza analítica
- Estufa
- Desecador con Gel de Sílica

**Procedimiento:**

Pesar el crisol tarado (A). Tomar aproximadamente 30 gr de suelo húmedo. Pesar el crisol con el suelo húmedo antes de poner la muestra en la estufa por 24 horas a 105°C (B). Una vez transcurrido este tiempo, sacar las muestras de la estufa. Dejar el crisol con el suelo en el desecador hasta que esté frío para pesar nuevamente (C).

Se repite esta parte del ensayo con las muestras de los suelos que están en proceso de secado para comprobar todos los días el cambio de humedad. Se dice que el suelo está seco cuando se logra un peso constante de las muestras. Recordar que siempre se debe pesar la muestra en el crisol totalmente frío. Conservar los crisoles siempre en el desecador para que no absorba humedad del ambiente y para que no altere el peso a medir.

**Cálculos:**

Para obtener el porcentaje de humedad del suelo se debe aplicar la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Humedad: } \frac{B - C}{C - A} \times 100$$

Donde:

A = Peso del crisol tarado

B = Peso del crisol + suelo húmedo

C = Peso del crisol + suelo seco

**7. DETERMINACIÓN DEL pH DEL SUELO**

Según Fernández Linares y otros (2006), el pH del suelo es una propiedad química del suelo que tiene un efecto importante en el desarrollo de los seres vivos. Se refiere

a la concentración de los iones hidrógeno activos ( $H^+$ ) que se da en la interfase líquida del suelo, por la interacción de los componentes sólidos y líquidos. La concentración de iones hidrógenos es fundamental en los procesos físicos, químicos y biológicos del suelo.

Los valores del pH determinan la calidad del suelo. Así serán fuertemente ácidos ( $pH < 5$ ), moderadamente ácido ( $pH$  entre 5.1 y 6.5), neutros ( $pH$  entre 6.6 y 7.3), medianamente alcalinos ( $pH$  entre 7.4 y 8.5) y fuertemente alcalinos ( $pH > 8.5$ ) (Carrera, Guevara , & Gualichicomín, 2014).

El pH es una de las mediciones más comunes e importantes en los análisis químicos rutinarios de suelo, ya que controla reacciones químicas y biológicas en el suelo. La determinación del pH es afectada por varios factores tales como el tipo y cantidad de constituyentes orgánicos que contribuyen a la acidez del suelo, la concentración de sales en la solución, la relación suelo - solución, la presión parcial de bióxido de carbono y el efecto de la suspensión asociado con el potencial de unión, etc. (NOM-021-SEMARNAT, 2000)

El valor de pH es el logaritmo del recíproco de la concentración de iones hidrógeno, que se expresa por números positivos del 0 al 14.

Tres son las condiciones posibles del pH en el suelo: la acidez, la neutralidad y la alcalinidad. (Fernandez Linares, y otros, 2006)

#### **Materiales y equipos:**

- Extractos suelo agua en diferentes concentraciones
- Medidor Multiparamétrico
- Sonda para medir pH (Andrades & Martínez, 2014)

## REGISTRO FOTOGRÁFICO PRIMER MUESTREO



**Muestreo suelos Enero 2016**



**Muestreo suelos Enero 2016**



**Muestreo suelos Enero 2016**



**Zona muestreo Enero 2016**



**Suelo inundado Enero 2016**



**Muestreo suelos Enero 2016**



**Muestreo suelos Enero 2016**



**Sitio muestreo Enero 2016**



**Muestreo suelos Enero 2016**



**Muestreo suelos Enero 2016**

### **REGISTRO FOTOGRÁFICO SEGUNDO MUESTREO**



**Sitio muestreo Agosto 2016**



**Muestreo suelos Agosto 2016**



**Muestreo suelos Agosto 2016**



**Muestra suelos perfil No. 7**



**Muestreo suelos Agosto 2016**



**Muestreo suelos Agosto 2016**



**Muestreo suelos Agosto 2016**



**Muestra suelos perfil No.8**





**Sitio muestreo Agosto 2016**



**Muestreo suelos Agosto 2016**



**Muestreo suelos Agosto 2016**



**Muestra suelos perfil No.9**



**Muestreo suelos Agosto 2016**



**Muestra suelos perfil No.12**



**Muestreo suelos Agosto 2016**



**Muestreo suelos Agosto 2016**

**REGISTRO FOTOGRÁFICO PREPARACIÓN DE MUESTRAS Y ENSAYOS DE LABORATORIO**

**SECADO DE MUESTRAS DE SUELO**



## TAMIZADO DE SUELO



## PESAJE DE SUELO PARA PREPARAR EXTRACTOS DE SUELO



## PREPARACIÓN DEL SUELO



Suelo 1:5



Suelo Saturado (1≈0.2-0.6)



## PREPARACIÓN EXTRACTOS DE SUELO



Bomba de vacío



Extractos de suelo 1:10 y saturación

**REGISTRO DE ENSAYOS****pH****Multiparamétrico****Multiparamétrico y sonda pH****Ensayo de Residuo Evaporado y Calcinado****Muestra****Estufa****Mufla**

## Fosfatos



**Muestra preparada**



**Espectofotómetro y muestra en la celda para lectura**



## Bibliografía

- Abarca, F., & Chica, M. (2001). Descriptor textual geoestadístico basado en validación cruzada. Aplicación a la clasificación de imágenes. Teledetección, medio ambiente y cambio global, 461- 464.
- Aguilera Contreras, M., & Martínez Elizondo, R. (1996). Relaciones agua, suelo, atmósfera. Cuarta Edición. Chapingo, México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Alarcón Vera, A. L. (2001). El Boro como nutriente esencial. Revista Horticultura, 1-11.
- Andrades, M., & Martínez, M. E. (2014). Fertilidad del suelo y parámetros que lo definen. Logroño: Universidad de la Rioja.
- APHA. (1999). Standard Methods for the examination of water and wastewater 19th edition. Washington D.C.: American Public Health Association.
- ArcGIS. (2010).
- Ayers, R., & Westcot, D. (1994). Water quality for agriculture. Rome: FAO.
- Barrios Castillo, I. M. (2014). Calidad de aguas naturales y residuales en el sistema hidrográfico Valle del Mezquital, Hidalgo México. Montecillo, Texcoco, México, México: Colegio de Postgraduados Montecillo.
- Bautista Cruz, A., Echevers, J., Del Castillo, R., & Gutierrez, C. (2006). La Calidad del suelo y sus indicadores. Madrid: Asociación española de Ecología terrestre.
- Bautista, A., Etcheverri, J. D., Del Castillo, R., & Gutierrez, M. (2004). <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=149>. Obtenido de Ecosistemas, revista científica y técnica de Ecología y Medio Ambiente: <https://www.researchgate.net/publication/39486973>
- Bernal, E. (2013). Bioestadística Básica para Investigadores con SPSS. Bubok Publishing S.L.

- Bhunja, G., Shit, P., & Maiti, R. K. (2016). Comparison of GIS-based interpolation methods of spatial distribution of soil organic carbon. Journal of Saudi Society of Agricultural Science, 114-126.
- Burrough, P. A., & McDonnell, R. A. (1998). Principles of Geographical Information Systems. Recuperado el 2017, de [http://dds.cepal.org/infancia/guide-to-estimating-child-poverty/bibliografia/capitulo-IV/Burrough%20Peter%20A%20y%20McDonnell%20Rachael%20A%20\(1998\)%20Principles%20of%20geographical%20information%20systems.pdf](http://dds.cepal.org/infancia/guide-to-estimating-child-poverty/bibliografia/capitulo-IV/Burrough%20Peter%20A%20y%20McDonnell%20Rachael%20A%20(1998)%20Principles%20of%20geographical%20information%20systems.pdf)
- Bustamante, H. (1986). Potencial del agua en el suelo. Revista de la Facultad Nacional de Agronomía, 39(2), 27-38.
- Can Chulim, A., Ramirez Ayala, C., Ortega Escobar, M., Trejo López, C., & Cruz Díaz, J. (2008). Evaluación de la Relación de Adsorción de Sodio en las aguas del Río Tulancingo, Estado de Hidalgo, México. Terra Latinoamericana, 26(3), 243 - 252.
- Carrera Villacrés, D. V. (2007). Calidad del agua del sistema hidrográfico Zahuapan-Atoyac. Montecillo. Texcoco.
- Carrera Villacrés, D. V. (2007). Calidad de las aguas del sistema hidrográfico Zahuapan-Atoyac. Montecillo, Texcoco. México.
- Carrera Villacrés, D. V. (2011). Salinidad en suelos y aguas superficiales y subterráneas de la cuenca evaporítica de Río Verde-Matehualé Tesis de Doctorado. Montecillo, Texcoco, México.
- Carrera, D., & Pérez, A. (2013). Salinidad, fosfatos, nitratos y problemas de infiltración en las aguas de irrigación del Cantón Milagro, Ecuador. Revista Ciencias UNEMI(No. 9), 85-95.
- Carrera, D., Crisanto, T., Guevara, P., & Maya, M. (2015). Relación entre la composición química inorgánica del agua de precipitación y la evaporación en la cuenca del río Chone. (Vol. Vol 6). Quito, Ecuador: Revista Enfoque UTE.
- Carrera, D., Guevara, P., & Gualichicomín, G. (2014). Caracterización Físico-química desde el punto de vista agrícola de los suelos de la zona de riego del Proyecto



- Multi-propósito Chone. Revista del Congreso de Ciencia y Tecnología ESPE, 71-80.
- Carrera, D., Sanchez, V., Portilla, O., & Bolaños, D. (2017). Similarity index between irrigation water and soil saturation extract in the experimental field of Yachay University Ecuador. Earth and Environmental Science(82), 12.
- Carvajal, J., Rodriguez, F., & FAO. (2010). Sistematización de prácticas para el aprovechamiento de Recursos Naturales en la cuenca del Chone. Roma: FAO.
- Carvajal, J., Rodríguez, F., & FAO. (2010). Sistematización de prácticas para el aprovechamiento de recursos naturales en la cuenca del Chone. Roma: FAO.
- Castillo Gutierrez, S., & Lozano Aguilera, E. D. (2007). Q-Qplot Normal. Los puntos de posición gráfica. Iniciación a la investigación, 20. Jaén, España: Universidad de Jaén.
- Cepeda Dovala, J. M. (2010). Química del suelo. México: Trillas.
- Chai, T., & Draxler, R. (2014). Root Mean Square Errors (RMSE) or Mean Absolute Errors (MAE)?- Arguments against avoiding RMSE in the literature. Geoscientific Model Development, 1247- 1250.
- Charco Y., C. (2010). Análisis Exploratorio de Datos Espaciales. Universidad Autónoma de Madrid.
- Cochran, W. (1977). Sampling Techniques. New York: John Wiley & Sons.
- CRM; INERHI; CONADE;OEA. (1991). Plan integral de desarrollo de recursos hídricos de la provincia de Manabí. Washington D.C-: OEA.
- Cuellar, E., Ortega, M., Ramírez, C., & Sánchez, E. (13 de JUNIO de 2015). Evaluación de la relación de adsorción de sodio de las aguas de la red hidrográfica del Valle del Mezquital, Hidalgo. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 6(5), 977-989.
- Díaz, L. F., Ortega, M., Ramirez, C., & Rone, J. L. (1986). Descripción de las regularidades del proceso de lavado de suelos salinos. Tesis. Montecillo, Texcoco, México, México.
- Díaz, M. (2002). Geoestadística aplicada. México: Instituto de Geofísica, UNAM.

- Díaz, M., & Gonzales, R. (2009). Geoestadística Aplicada. Estimación espacial. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Dick, J., & Gerard, D. (2007). Optimization of sample patterns for universal Kriging of environmental variables. Science Direct, 86-95.
- Diggle, P., & Ribeiro, P. J. (2007). Model based Geostatistics. Springer.
- FAO. (2002). Fertilidad del suelo. En FAO, Conservación de los Recursos Naturales para una agricultura sostenible. (pág. 19). Roma: FAO.
- FAO. (2002). Manejo de la Humedad del Suelo. En FAO, Conservación de los Recursos Naturales para una Agricultura Sustentable (pág. 34). Roma: FAO.
- FAO. (2009). Guía de descripción de suelos. Roma: FAO.
- Fassbender, E., & Bornemisa, E. (1994). Química de suelos con énfasis en América Latina. San José Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- Fernandez Linares, L. C., Rojas, N. G., Roldán, T., Ramirez, M., Segarra, H., Uribe, R., . . . Arce, J. M. (2006). Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de suelos contaminados. México: SERMANAT, INE, IMP.
- Fuenzalida, M. (2015). Evaluación de los modelos geoestadísticos aplicados a la exposición al contaminante atmosférico PM10 en Chile. XIV Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica.
- Gallardo, A. (2006). Geoestadística. Ecosistemas: Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente, 1-11.
- García, A. (2012). Criterios modernos para evaluación de la calidad del agua para riego (Primera Parte). Obtenido de [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/B3BD6ED103283DDD85257A2F005EF91B/\\$FILE/6%20Art.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/B3BD6ED103283DDD85257A2F005EF91B/$FILE/6%20Art.pdf)
- García, H. (s.f.). Qué es el análisis multivariado. Pasto Colombia: Universidad de Nariño.

- Gorsich, D., & Genton, M. (1999). Variogram Model selection via Non Parametric Derivate Estimation. Journal of the International Association for Mathematical Geology, 249-270.
- Guisande, C., Barreiro, A., Maneiro, I., Riveiro, I., Vergara, A., Vaamonde, A. (2006). Tratamiento de Datos. Vigo: Diaz de Santos.
- Gupta , U. C., Jame, Y. W., Campbell, C. A., Leyshon, A. J., & Nicholaichuk, W. (1985). Boron toxicity and deficiency: A review. Canadian Journal of Soil Science, 381-409.
- Hengl, T. (2009). A practical guide to Geostatistical Mapping. Amsterdam.
- IEE- SINAGAP. (2013). Memoria técnica. Cantón Chone. Geomorfología. Memoria Técnica, Instituto de Estudios Estratégicos y Sistema de información Nacional de Agricultura, Ganadería y Pesca, Quito.
- IFA. (2002). Los fertilizantes y su uso. Paris: FAO.
- IHOBE, Sociedad Pública de Gestión Ambiental. (1998). Estudio Histórico y diseño de muestreo. Guía Metodológica. País Vasco: Departamento de Ordenación del Territorio.
- IITA, Instituto Internacional de Agricultura Tropical. (2000). Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. Boletín de tierras y aguas FAO.
- INAMHI, CLIRSEN,FAO. (2008). Estudio Hidrológico de inundaciones en la cuenca alta del Río Chone. Quito: INAMHI.
- INEC. (2012-2016). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua ESPAC. Quito: INEC.
- INHAMI. (2008). Estudio Hidrológico de inundaciones en la cuenca alta del río Chone. Obtenido de <http://www.inamhi.gob.ec/index.php/agua/estudios-hidrologicos/208-estudio-sistema-de-alerta-temprana-Chone>
- Johnston, K., Hoef, J. M., Krivoruchko, K., & Lucas, N. (2001). Using ArcGis Geostatistical Analyst. Recuperado el 2016, de [http://dusk2.geo.orst.edu/gis/geostat\\_analyst.pdf](http://dusk2.geo.orst.edu/gis/geostat_analyst.pdf)

- Juarez Badillo, E., & Rico Rodriguez, A. (2005). Fundamentos de la Mecánica de Suelos. Tomo 1 (Tercera Edición ed., Vol. 1). México: Limusa.
- Koch, A., & Cabrera, P. (2010). Análisis Exploratorio de Datos Espaciales. UNI\_GIS Módulo electivo estadística espacial.
- Krivoruchko, K. (2000). Introduction to modeling spatian processes using Geostatistical Analyst. ESRI.
- Kutilek, M., & R., N. D. (2015). Soil. The skin of our planet Earth. New York: Springer.
- Lema, E., Carrión, C. (2013). Generación de un modelo geoestadístico de concentración de plomo en el suelo de las parroquias San Rafael y Sangolquí. Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE.
- Llinas, H., & Rojas, C. (2005). Estadística descriptiva y distribución de probabilidad. Bogota: Ediciones Uninorte.
- López F., Y. (2000). Relaciones hídricas en el continuo agua-suelo-planta-atmósfera. Cali: Universidad Nacional de Colombia.
- Luceño, A., & Gonzales, F. (2004). Métodos estadísticos para medir describir y controlar la variabilidad. Servicios de publicaciones de la Universidad de Cantabria.
- Martínez Villavicencio, N., López Alonso, C., Basurto Sotelo, M., & Pérez Leal, R. (Septiembre de 2011). Efectos por salinidad en el desarrollo vegetativo. *Tecnociencia*, 5(3), 156-161.
- Martínez, F., Sarmiento, J., Fischer, S., & Jiménez, F. (2009). Fisiología de cultivos- síntomas de deficiencia de macronutrientes y boro en plantas de uchuva (Physalis peruviana L). *Agronomía Colombiana*, 27(2), 169-178.
- Menéndez, M. (2012). Aplicación de técnicas geoestadísticas en la estimación de área basimétrica. Oviedo: Universidad de Oviedo.
- Metcalf Eddy. (1995). Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. Madrid: McGraw-Hill.

- Ministerio Coordinador de la Producción, Empleo y Competitividad. (2011). Agenda para la transformación productiva Territorial. Provincia de Manabí. MCPEC, Quito.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica. (2008). Buenas prácticas agropecuarias. San José de Costa Rica.
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2008). Control de Inundaciones en la ciudad de Chone. Estudio de Impacto Ambiental. COPADE-ICA, Quito.
- Ministerio del Ambiente del Perú. (2014). Guía para el muestreo de suelos. Lima.
- Moral Garcia, F. (2004). Aplicación de la geoestadística en las ciencias ambientales. Ecosistemas, Revista Científica y Técnica de Ecología y Medioambiente, 78-86.
- Moral García, F. (2004). Aplicación de la geoestadística en las ciencias ambientales. Ecosistemas. Revista científica y técnica de ecología y medioambiente, 78-86.
- NMX-AA-132-SCFI. (2006). Norma Mexicana para muestreo de suelos. México: SCFI.
- NOM-021-SEMARNAT. (2000). Norma Oficial Mexicana. Fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. México: SEMARNAT.
- Oliver. (2010). Geostatistical applications for precision agriculture. Springer.
- Osicka, R., & Gimenez, M. d. (2004). Determinación del contenido de sodio y potasio en aguas naturales subterráneas por fotometría de llama. Universidad Nacional del Nordeste.
- Otero, L., Francisco, A., Gálvez, V., Morales, R., Sanchez, I., Labaut, M., . . . Rivero, L. (2006). Caracterización y evaluación de la salinidad. La Habana: Instituto de suelos del Ministerio de Agricultura.
- Palacios Orejuela, I., Ushiña Huera, D., & Carrera Villacrés, D. (2018). Uso de suelos calcinados para minimizar la eutrofización mediante adsorción de fosfatos de Chone, Ecuador. Revista FIGEMPA: Investigación y Desarrollo 1 (1), 47-53.
- Piñeiro, G., Perelman, S., Guerschman, P., & Paruelo, J. (2008). How to evaluate models; observed vs. predicted or predicted vs. observed. Ecological modeling, 316-322.

- PNUD. (2015). Objetivos del Desarrollo Sostenible. París: PNUD.
- Porta, J., López-Acevedo, M., & Roquero, C. (2003). Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Madrid: Mundi-Prensa.
- Ramakrishna, B. (1997). Estrategia de extensión para el manejo integrado de cuencas hidrográficas: Conceptos - experiencias. San José de Costa Rica: IICA.
- Ramirez, E. (8 de Julio de 2012). Ciencia del Suelo. Obtenido de [sueloscience.blogspot.com](http://sueloscience.blogspot.com)
- Rhoades, J., Kandiah, A., & Mashali, A. (1992). The use of saline waters for crop production. Rome: FAO.
- Richards, L. (1973). Diagnostic and Improvement of Saline and Alkali Soils. Washington D.C.: Richards L.A. Editors.
- Rocha, M., & Gómez, D. (Octubre de 2014). Memorias. XVI Simposio Internacional SELPER 2014. Medellín, Colombia.
- Rubio Gutierrez, A. M. (2010). La densidad aparente en suelos forestales del Parque Natural Los Alcornocales. Sevilla, España: Universidad de Sevilla.
- Rucks, L., Garcia, F., Keplan, A., Ponce de León, J., & Hill, M. (2004). Propiedades físicas del suelo. Montevideo: Universidad de la República.
- Rucks, L., García, F., Keplan, A., Ponce de León, J., & Hill, M. (2004). Propiedades físicas del suelo. Montevideo: Universidad de la República de Uruguay.
- Salaverry Fagnoli, M. A. (2014). Efectos de veinte niveles de salinidad del agua de riego en los indicadores agronómicos del cultivo de acelga en la cosecha. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Salvador Figueras, M., & Gargallo, P. (2003). Análisis Exploratorio de Datos (AED).
- Sanchez, F. J. (2017). Hidrología superficial y subterránea (1 ed.). Salamanca: Createspace Independent Publishing.
- Saz, M., Serrano, R., De Luis, M., Serrano-Notivol, R., & Longares, L. (2010). Comparación de métodos de interpolación y de regresión para la cartografía de

- temperaturas máximas y mínimas absolutas: El caso de Navarra (Norte de España) en 2009. España: Universidad de Navarra.
- Schloeder, C., Zimmermanb, N., & Jacobs, M. (2001). Comparison of Methods for Interpolating Soil Properties Using Limited Data. Obtenido de <https://dl.sciencesocieties.org/publications/sssaj/65/2/470>
- Segarra, P. (2014). Sinergias entre degradación de la tierra y cambio climático en los paisajes agrarios del Ecuador. Mecanismo mundial de la CNUCLD. Quito: El Telégrafo.
- Sela, G. (2016). SMART. Obtenido de <http://www.smart-fertilizer.com/es/articles/soil-salinity>
- SEMARNAT, SEGARPA. (2010). Salinidad del suelo. Nayarit México.
- SENA. (1997). Manual técnico para el manejo de cuencas hidrográficas. Bogotá: Publicaciones Digitales SENA.
- SENAGUA. (2010). Estudio de Impacto Ambiental y Manejo Ambiental del Proyecto Propósito Múltiple Chone. Portoviejo.
- Sharpley, A., & Withers, P. (1994). The environmentally sound management of agricultural phosphorus. Fertilizer Research, 133-146.
- Shaxon, F., & Barber, R. (2005). Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal. Boletín de suelos FAO(79), 105. Roma: FAO.
- Soto, D. (12 de Noviembre de 2015). Los suelos agrícolas del Ecuador. Obtenido de Los suelos agrícolas del Ecuador: <https://es.slideshare.net/diegofabricios/los-suelos-agricolas-del-ecuador>
- Szabolcs, I. (2000). Salt affected Soils. Boca Raton: CRC Press Inc.
- Tamayo, C. (2016). Calidad del agua y suelo en la cuenca del río Ambi para uso agrícola en los campos experimentales de la ciudad del conocimiento Yachay mediante análisis físico- químico. Sangolquí.
- Tellez, C., & Lemus, D. (2014). Estadística descriptiva y probabilidad con aplicaciones en R. Universidad Los Libertadores.

- Terrádez, M. (2013). Análisis de Componentes Principales. Obtenido de Universidad Abierta de Cataluña: [http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/Componentes\\_principales.pdf](http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/Componentes_principales.pdf)
- Thompson, L., & Troeh, F. (2002). Los suelos y su fertilidad. Madrid: Reverté.
- Torri, S., Urricariet, S., & Lavado, R. (2005). Micronutrientes y otros elementos traza. Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos, 189-205.
- TULSMA. (2015). Libro VI Anexo 2. Quito: MAE.
- USDA. (1999). Guía para la evaluación de la calidad de aguas y suelos EEUU. Washington D.C., EEUU: USDA. Obtenido de [https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/stelprdb1044786.pdf](https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044786.pdf)
- USDA. (2017). Soil Survey Manual (4ta. Edición ed.). Washington.
- Velásquez, M., Ortega, M., Martínez, A., Kohashi, J., & García, N. (2002). Relación funcional PSI-RAS en las aguas residuales y suelos del valle del Mezquital Hidalgo, México. Terra Latinoamericana., 459-464.
- Villatoro, M., Henríquez, C., & Sancho, F. (2008). COMPARACIÓN DE LOS INTERPOLADORES IDW Y KRIGING EN LA VARIACIÓN ESPACIAL DE pH, Ca, CICE y P DEL SUELO. Obtenido de [http://www.mag.go.cr/rev\\_agr/v32n01-095.pdf](http://www.mag.go.cr/rev_agr/v32n01-095.pdf)
- World Vision. (2014). Manual de manejo de cuencas.
- Yesca Thomas, H. (2008). Estudio sobre el efecto de contenido de humedad de un suelo por la aplicación de coloides. Cuahuila, México: Universidad Autónoma Antonio Narro.
- Zavaleta, J. (2010). Kriging: Un Método de Interpolación. Obtenido de Universidad Nacional Autónoma de México: <http://lya.ciencias.unam.mx/computocientifico/archivos/PMK-S1.pdf>