



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA
CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO
AMBIENTE**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO GEÓGRAFO Y DEL MEDIO
AMBIENTE**

**TEMA: CALIDAD DE AGUA Y SUELO EN LA CUENCA DEL
RIO AMBI, PARA USO AGRÍCOLA EN LOS CAMPOS
EXPERIMENTALES DE LA CIUDAD DEL CONOCIMIENTO
YACHAY MEDIANTE ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO**

AUTOR: TAMAYO BACACELA, LIZBETH CAROLINA

DIRECTOR: DR. CARRERA VILLACRÉS, DAVID VINICIO

SANGOLQUÍ

2016

CERTIFICADO



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, "Calidad de 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" realizado por la señorita Lizbeth Carolina Tamayo Bacacela, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a la señorita Lizbeth Carolina Tamayo Bacacela para que lo sustente públicamente.

Sangolqui, 20 de Abril del 2016

Dr. David Vinicio Carrera Villacrés

Director del Proyecto de Titulación

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE**

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, Lizbeth Carolina Tamayo Bacacela, con cédula de identidad N° 172053667-9 declaro que este trabajo de titulación “Calidad de agua y suelo en la cuenca del rio Ambi, para uso agrícola en los campos experimentales de la ciudad del conocimiento Yachay mediante análisis Físico-químico” ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolqui, 26 de Abril del 2016

Lizbeth Carolina Tamayo Bacacela

C.C. 172053667-9

AUTORIZACIÓN



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE**

AUTORIZACIÓN

Yo, Lizbeth Carolina Tamayo Bacacela, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE publicar en la biblioteca virtual de la Institución el presente trabajo de titulación “Calidad de agua y suelo en la cuenca del rio Ambi, para uso agrícola en los campos experimentales de la ciudad del conocimiento Yachay mediante análisis Físico-químico” cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad

Sangolqui, 26 de Abril del 2016

Lizbeth Carolina Tamayo Bacacela

C.C. 172053667-9

DEDICATORIA

Dedico este trabajo primeramente a nuestro señor Jesús, que con su amor y cuidado ha permitido llegar a culminar mi carrera.

Y a las personas más importantes de mi vida, quienes me han acompañado en los momentos de alegría y en especial en los momentos más difíciles que se me han presentado a lo largo de mi camino, sabiendo guiarme correctamente y brindándome su apoyo incondicional.

A mis padres Rosita y Santiago, a mi Abuelita Juanita, a Thomas y a mis Hermanos Santiago, Mishell y José.

Lizbeth Carolina Tamayo Bacacela

AGRADECIMIENTO

Al Doctor David Carrera y a la Ingeniera Paulina Guevara quienes me guiaron para culminar el desarrollo de este trabajo, con su inmensa sabiduría y paciencia me impartieron parte de sus conocimientos.

A mis mejores amigos Victor, Deysi, Dani y Moni quienes me brindaron su apoyo incondicional en los momentos difíciles, gracias a ustedes por motivarme y continuar en este proceso. Junto a ustedes aprendí nuevas cosas de las cuales solo nos queda hermosos recuerdos.

A mi grupo de amigos con quienes compartí dos años de mi carrera, quienes confiaron en mí para guiarlos y a su vez para guiarme.

En general a mis compañer@s-amig@s con quienes compartí hermosos momentos y juntos como equipo cumplimos varios sueños.

Y a todas las personas que de una u otra manera me supieron dar su apoyo. Muchas Gracias a todos.

Lizbeth Carolina Tamayo Bacacela

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICADO.....	I
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	II
AUTORIZACIÓN	III
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO	V
RESUMEN	XI
ABSTRACT	XII
CAPÍTULO 1.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. ANTECEDENTES.....	1
1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	2
1.3. JUSTIFICACIÓN	2
1.4. OBJETIVOS	4
1.4.1. GENERAL	4
1.4.2. ESPECÍFICOS	4
1.5. HIPÓTESIS.....	4
CAPÍTULO 2.....	5
MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. EL USO DEL AGUA PARA RIEGO EN ECUADOR, URCUQUÍ.....	5
2.2. PRINCIPALES MINERALES DE LA CORTEZA TERRESTRE	5
2.3. CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO.....	6
2.3.1. PROBLEMAS QUE INFLUYEN EN LA CALIDAD DE RIEGO	6
2.3.2. CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS PARA RIEGO EN BASE A LA SALINIDAD Y SODICIDAD	9
2.3.2.1. SALINIDAD	9
2.3.2.2. SODICIDAD - RELACIÓN DE ABSORCIÓN DE SODIO (RAS)	10
2.4. CALIDAD DE SUELOS PARA LA AGRICULTURA	14
2.4.1. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS AFECTADOS POR SALINIDAD	14
2.5. PORCENTAJE DE SODIO INTERCAMBIABLE.....	15
2.6. BORO.....	16
2.7. CLORUROS	16
2.8. FOSFATOS Y NITRATOS	17
2.9. SODIO Y POTASIO	17
2.10. DUREZA.....	17
2.11. ANÁLISIS MULTIVARIADO DE COMPONENTES PRINCIPALES	18
2.12. MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN	18

CAPÍTULO 3	20
MATERIALES Y MÉTODOS	20
3.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	20
3.2. TOMA DE MUESTRAS DE AGUA Y SUELO	22
3.2.1. MUESTREO Y MÉTODOS DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO	22
3.2.1.1. AGUA.....	22
3.2.1.2. SUELO	26
3.2.2. MÉTODOS DE ANÁLISIS	28
3.3. ANÁLISIS MULTIVARIADO DE COMPONENTES PRINCIPALES	30
3.4. MAPAS DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL	30
CAPÍTULO 4	31
RESULTADOS Y DISCUSIONES	31
4.1. PRINCIPALES VARIABLES HIDROLÓGICAS	31
4.1.1. RELLENO Y VALIDACIÓN DE DATOS HIDROLÓGICOS.....	31
4.1.1.1. MÉTODO DE REGRESIÓN LINEAL	33
4.1.1.2. PRUEBA DE RACHAS Y CURVA DE DOBLE MASA ACUMULADA.....	37
4.1.2. CÁLCULO DE LA PRECIPITACIÓN, EVAPORACIÓN Y EVAPOTRANSPIRACIÓN MEDIA	39
4.1.2.1. PRECIPITACIÓN.....	40
4.1.2.2. EVAPORACIÓN.....	42
4.1.2.3. EVAPOTRANSPIRACIÓN	43
4.1.3. VALORES ANUALES Y MENSUALES	45
4.2. PH Y CONCENTRACIONES INORGÁNICAS DE LAS AGUAS	52
4.3. CONCENTRACIONES INORGÁNICAS DE LOS SUELOS	58
4.4. COMPROBACIÓN DE LA EXACTITUD DE LOS RESULTADOS	61
4.5. CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO.....	68
4.5.1. REQUERIMIENTOS NECESARIOS PARA EVALUAR LA CALIDAD DE AGUA DE RIEGO.	69
4.5.1.1. NUTRIENTES.....	69
4.5.1.2. ANIONES Y CATIONES	72
4.5.2. PROBLEMAS QUE INFLUYEN EN LA CALIDAD DE AGUA DE RIEGO.	73
4.5.2.1. CLORUROS	73
4.5.2.2. BORO.....	73
4.5.2.3. SALINIDAD	79
4.5.2.4. RAS.....	82
4.6. ANÁLISIS MULTIVARIADO DE COMPONENTES PRINCIPALES-AGUA.....	84
4.7. CALIDAD DE LOS SUELOS PARA AGRICULTURA.....	88
4.7.1. PROPIEDADES FÍSICAS	89
4.7.1.1. DENSIDAD REAL	89
4.7.1.2. DENSIDAD APARENTE	90
4.7.1.3. POROSIDAD	90
4.7.1.4. HUMEDAD	93
4.7.2. PROPIEDADES QUÍMICAS	93
4.7.2.1. SALINIDAD-CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA-CE	93
4.7.2.2. PH.....	94
4.7.2.3. MATERIA ORGÁNICA.....	97
4.7.2.4. CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (C.I.C.) Y BASES DE CAMBIO (B.C.)	97
4.7.2.5. NUTRIENTES.....	100

4.7.2.5.1. MACRONUTRIENTES	100
4.7.2.5.1.1. LIXIVIACIÓN DE MACRONUTRIENTES	103
4.7.2.5.2. MICRONUTRIENTES	106
4.8. MEDIDAS DE MANEJO PARA LOS PUNTOS CON CONCENTRACIONES CRITICAS DE AGUA Y SUELO .	107
CAPÍTULO 5	110
CONCLUSIONES	110

Índice de Figuras

Figura 1: Diagrama de Richards	14
Figura 2: Vecindad de IDW del punto seleccionado	19
Figura 3: Mapa de Ubicación del área de Estudio: Cuenca del río Ambi.....	21
Figura 4: Mapa de Ubicación de Puntos de muestreo de Agua.	23
Figura 5: Mapa de Ubicación de los Perfiles de Suelo. Yachay	27
Figura 6: Intensidad del coeficiente de correlación	33
Figura 7: Regresión Lineal Simple para relleno de Datos de Precipitación de las	35
Figura 8: Regresión Lineal Simple para relleno de Datos de Precipitación de las	36
Figura 9. Comprobación de resultados mediante la Curva de doble Masa;Estación M 0001	39
Figura 10: Método de Isoyetas y Poligonos de Thiesen-Precipitación media, Tabla 14.	41
Figura 11: Método de Isoyetas-Evaporación media, Tabla 15.	43
Figura 12: Método de Isoyetas-Evapotranspiración media, Tabla 17.....	45
Figura 13: Ubicación de las Estaciones Meteorológicas – Río Ambi.....	46
Figura 14: Gráfica de Precipitación total anual, Estaciones: M0001 (3 140 m.s.n.m)	47
Figura 15: Gráfica de Precipitación total anual, Estaciones: M0105 (2 550 m.s.n.m), y M0107 (2 335 m.s.n.m).....	48
Figura 16: Precipitación, Evaporación y Evapotranspiración Estación a) M0001,	50
Figura 17: Diagramas Ombrotérmico Estación a) M0001, b) M0105, c) M0107	52
Figura 18: Rangos de pH- (época seca), Rangos según Ayers y Westcot (1994).....	57
Figura 19: Rangos de pH- (época lluviosa), Rangos según Ayers y Westcot (1994).....	57
Figura 20: Primer Muestreo a) Relación funcional entre la CE y la	62
Figura 21: Segundo Muestreo a) Relación funcional entre la CE y la concentración de cationes b) Relación funcional entre la CE y la concentración de aniones.....	63
Figura 22: Perfiles de Suelo a) Relación funcional entre la CE y la.....	64
Figura 23: Relación entre la CE y la concentración de solidos disueltos totales,	66
Figura 24. Relación entre la CE y la concentración de solidos disueltos.....	67
Figura 25: Mapa de nutrientes puntos de Agua – Primer muestreo	70
Figura 26: Mapa de nutrientes puntos de Agua – Segundo muestreo.....	71
Figura 27: Mapa de Cloruros (meq/L)– Primer muestreo, época seca.....	75
Figura 28: Mapa de Cloruros (meq/L) – Segundo muestreo, época lluviosa.....	76
Figura 29: Mapa de Boro (mg/L) – Primer muestreo, época seca.	77
Figura 30: Mapa de Boro (mg/L) – Segundo muestreo, época lluviosa.	78
Figura 31: Mapa de Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) – Primer muestreo, época seca.....	80
Figura 32: Mapa de Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$),Segundo muestreo,época lluviosa. ...	81
Figura 33: Gráficos Polares de los Componentes Principales – Primer muestreo	86
Figura 34: Gráficos Polares de los Componentes Principales – Segundo muestreo.....	88
Figura 35: Mapa de Textura del Suelo - Yachay	92
Figura 36: Mapa de pH- Relación 1:0,2-0,6; 1:5 y 1:10	96

Figura 37: Porcentaje de Materia Orgánica – Perfiles de Yachay	97
Figura 38: Mapa de Nutrientes primarios – Perfiles de Suelo de Yachay	102
Figura 39: Lixiviación de los Nutrientes Primarios disponibles para las plantas.	104
Figura 40: Lixiviación de Calcio, Magnesio y Sulfatos.....	106

Índice de Tablas

Tabla 1 Guidelines for interpretations of water quality for irrigation.....	8
Tabla 2 Laboratory determinations needed to evaluate common irrigation water quality problems.....	9
Tabla 3 Valores para el cálculo de pHc	12
Tabla 4 Concentración de calcio en el agua del suelo. Ca°	12
Tabla 5. Coordenadas de los Puntos de muestreo de agua del Sistema Hidrográfico del Río Ambi- Época seca.....	24
Tabla 6 Coordenadas de los Puntos de muestreo de agua del Sistema Hidrográfico del Río Ambi - Época lluviosa.	25
Tabla 7 Coordenadas de los Puntos de muestreo de suelo.....	28
Tabla 8 Métodos Estándares para Análisis de Agua y Suelos.	29
Tabla 9 Características de las Estaciones Metrológicas- Unidad Hidrográfica del Río Ambi.	32
Tabla 10 Número de estaciones con datos faltantes – Cuenca Río Ambi.....	32
Tabla 11 Prueba de rachas para el relleno de datos de Precipitación de la Estación M0001- INGUINCHO, a) Estación con relleno de datos, b) Prueba de rachas c) Distribución normal para el número de rachas	37
Tabla 12 Precipitación acumulativa de la Estación de Relleno (a) y la Estación auxiliar (b).	38
Tabla 13 Precipitación media del sistema hidrográfico del río Ambi por el método Aritmético y Polígonos de Thiessen.....	41
Tabla 14 Cálculo de la Precipitación media por el método de Isoyetas.....	42
Tabla 15 Cálculo de la Evaporación media por el método de Isoyetas.....	43
Tabla 16 Valores de Ka en base a la Latitud.....	44
Tabla 17 Cálculo de la Evapotranspiración media por el método de Isoyetas.....	45
Tabla 18 Composición iónica de las aguas del río Ambi en época Seca.	54
Tabla 19 Composición iónica de las aguas del río Ambi en época lluviosa.	56
Tabla 20 Composición iónica de los suelos de Yachay – Diferentes extractos	59
Tabla 21 Porcentaje de error aceptable de la relación Cación-Anión.....	61
Tabla 22 Factores de Conductividad para los iones comunes en las aguas.	67
Tabla 23 Clasificación de las aguas en base al Diagrama de Richards- Época seca.....	83
Tabla 24 Clasificación de las aguas en base al Diagrama de Richards- Época lluviosa.....	84
Tabla 25 Datos obtenidos de Componentes principales Cuenca Alta y Baja-Primer muestreo	85
Tabla 26 Datos obtenidos de Componentes principales Cuenca Alta y Baja-Segundo muestreo.....	87
Tabla 27 Propiedades físicas de los Perfiles de Yachay.	89
Tabla 28 Clases texturales del suelo y porosidad	91
Tabla 29 Clasificación de suelos en base a la Salinidad	94
Tabla 30 Guía para la interpretación de análisis de suelo-relación suelo-agua 1:10	98
Tabla 31 Capacidad de cambio de las bases intercambiables - Yachay.....	99

Tabla 32 Tolerancia de frutales y otros cultivos a diferentes niveles de cloruro en extracto saturado de suelo.	107
Tabla 33 Cultivos Medianamente Tolerables a las Sales.....	108

RESUMEN

El área de estudio está ubicada en la provincia de Imbabura-Ecuador, cantón San Miguel de Urucuquí, su economía se basa en la agricultura y ganadería, siendo de gran importancia el uso del suelo y realmente indispensable el recurso hídrico, parte del área de estudio está conformada por la ciudad del conocimiento Yachay con una inversión de más 15 mil millones de dólares quienes enfocaron parte del área al sector agrícola destinada a campos de mejora de cultivos. Este trabajo se proyecta a determinar la calidad de las aguas y suelos mediante el análisis de los iones más importantes. Por el momento estos suelos presentan cultivos de ciclo corto como: caña de azúcar, pastos, y vegetación arbustiva, el suelo que presenta el área es de textura franco arenosa provocando débil retención de nutrientes esenciales para las plantas, en cuanto al recurso hídrico al encontrarse en una zona geológica sus aguas son ligeramente Salinas y deben usarse con cultivos medianamente tolerables en suelos con buen drenaje. En conjunto con el análisis de variables climáticas utilizando los registros del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, que por cuestiones de falta de información en las estaciones los datos fueron homogeneizados y validados a través de diferentes métodos. La zona presenta zonas que registraron diferentes valores de precipitación, siendo la parte sur de la cuenca con valores por debajo de los 1900 mm anuales, mientras que la parte norte de la cuenca es el sector que presentan registros por debajo de los 1100 mm anuales.

Palabras Clave:

- **AGRICULTURA**
- **CALIDAD**
- **GEOLOGÍA**
- **IONES**
- **METEOROLOGÍA**

ABSTRACT

The area of study is located in the province of Imbabura-equator, canton Urcuquí's San Miguel, his economy is based on the agriculture and on the ranching, performing great importance the use of the soil and really indispensably the water resource, part of the area of study is shaped by the city of the knowledge Yachay by an investment of more 15 billion dollars who focused part of the area on the agricultural sector destined to fields of improvement of cultures. This work is projected to determining the quality of the waters and soils by means of the analysis of the most important ions. For the present time these soils present cultures of short cycle as: sugar cane, pastures, and vegetation arbustiva, the soil that presents the area is of texture Franc sandy provoking weak retention of essential nutrients for the plants, as for the water resource having been in a geological zone his waters are lightly Salt mines and must be used by moderately tolerable cultures in soils by good drainage. As a whole with the analysis of climatic variables using the records of the National Institute of Meteorology and Hydrology, that by questions of lack of information on the stations the information was homogenized and validated across different methods. The zone I present zones that registered different values of rainfall, being the south part of the basin with values below 1900 mm per year, whereas the north part of the basin is the sector that records present below 1100 mm per year.

KEYWORDS:

- **AGRICULTURE**
- **QUALITY**
- **GEOLOGY**
- **IONS**
- **METEOROLOGY**

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Desde antaño existieron diferencias en cuanto al desarrollo de las provincias del Ecuador, Pichincha, Guayas y Azuay, han sido beneficiadas por la economía y la posición geográfica desde tiempos coloniales, sin embargo, el resto de provincias que pertenecen al Ecuador fueron ignoradas y su desarrollo se complicó por el escaso apoyo gubernamental de sus Gobiernos Autónomos, la pobre infraestructura vial que las conecta con el resto del país y el rezago en cuanto a infraestructura tecnológica que las permita convertirse en centros competitivos de desarrollo. Es por ello, el actual régimen legal y constitucional propugna por un Ecuador libre de disparidades, con un desarrollo heterogéneo, donde las provincias afectadas por grados de extrema pobreza y desempleo sean las protagonistas (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo [SENPLADES], 2011).

El 12 de Noviembre del 2013 la Asamblea Nacional del Ecuador aprobó la creación de la Universidad de Investigación de Tecnología Experimental Yachay, ubicada en el Cantón Urcuqui-Provincia de Imbabura, la que albergará laboratorios y campos experimentales para el desarrollo de investigaciones en áreas de conocimiento como ciencias de la vida, energías renovables y petroquímicas. Uno de los programas del proyecto es el área Productiva y Empresarial, la cual busca promover proyectos de emprendimiento, además está encargada de la parte agrícola siendo la más importante en esta investigación por ser la principal actividad de los habitantes.

Según el Estudio de Impacto Ambiental de la ciudad del Conocimiento Yachay realizado en el 2014, la zona de estudio presenta una capacidad media para la producción agropecuaria debido a las limitaciones que presentan las propiedades físicas del suelo, mediante la implementación de tecnología estos campos podrían ser cultivados con especies anuales o perennes mejorando su fertilidad. Además, se

menciona que el recurso agua aparte de ser destinado para el ser humano se le utiliza para actividades de irrigación.

1.2. Definición del problema

En la actualidad a causa de la creciente demanda de agua provocada por las actividades industriales, urbanas y agrícolas el volumen de agua superficial y subterránea disminuye considerablemente (Votano, Parham, y Hall, 2004). Se considera que aguas destinadas para riego agrícola es la causa primordial de la disminución de volumen de este recurso, esto se debe a la creciente demanda de alimentos para satisfacer a una población en constante crecimiento lo cual conlleva a las malas prácticas de irrigación formando suelos salinizados y sodificados, así también, diferentes procesos de erosión y a todo esto se suma la distribución de este elemento al planeta debido a los cambios climáticos que están en continuo cambio, además de la Geología del lugar.

El sector agrícola que pertenece a Yachay será destinado para la implementación de mejora de cultivos, es por ello que se ha planificado conocer la calidad del agua para riego e interpretar su relación con los suelos agrícolas determinando las características físicas y químicas y, con el análisis de la precipitación, evaporación y evapotranspiración de tres estaciones meteorológicas de los sistemas hidrográficos de la cuenca del río Ambi.

1.3. Justificación

Este trabajo se proyecta a determinar la calidad de las aguas y suelos de la ciudad de conocimiento “Yachay” en la provincia de Imbabura, enfocados a la parte agrícola destinada a campos de mejora de cultivos, por el momento estos suelos presentan cultivos de ciclo corto como: caña de azúcar, pastos, y vegetación arbustiva, esto provoca áreas erosionadas resultantes de un mal manejo de suelos y riego. Por consiguiente, es necesario estudiar la calidad de las aguas y suelos a través del conocimiento de las concentraciones de las mismas; de esta manera se podrá valorar la productividad de los campos agrícolas en conjunto con las propiedades del suelo irrigadas con este recurso y el análisis de la precipitación, evaporación y evapotranspiración.

Para determinar la calidad de aguas en base a la agricultura existen varios criterios, entre ellos se pretende medir la Salinidad de las aguas y suelos, existe también la influencia del catión (Na^+), concentraciones altas pueden afectar negativamente la estructura del suelo. Para evaluar la sodicidad se emplea el índice Relación de Adsorción de Sodio, RAS (Carrera, Ortega, Ramírez, Trejo, y Becerril, 2011).

Una de las razones de la presencia de ciertos iones se debe a la geología del sector, por su ubicación la cuenca del río Ambi se encuentra en la Depresión Interandina(DI) limitada hacia el Oeste por la Unidad Pallatanga y al Este por la Cordillera Real, según el estudio realizado por la Escuela Politécnica Nacional tiene varias hipótesis de su origen: 1) la existencia de un micro continente de rocas metamórficas (Chaucha – Arenillas) subyaciendo a la Depresión Interandina , 2) la continuidad de las rocas de la Cordillera Real bajo la Depresión Interandina, 3) origen tectónico complejo, que involucra a rocas de la Cordillera Real y Occidental, 4) el basamento de la Depresión Interandina corresponde a un plateau oceánico (San Juan) (Pacheco, Andrade, y Alvarado, 2014). Entre periodo Oligoceno-Cuaternario, la tectónica de los Andes Ecuatorianos fueron movimientos de subducción de la corteza oceánica desarrollándose así el arco volcánico continental representado por los materiales volcánicos oligocénicos de composición andesítica, el proceso culmina en el Plio-cuaternario con los materiales volcánicos del Cotopaxi, con una composición de piroclastos primarios y retrabajos ("Cangahua"), avalanchas de escombros, láhares, flujos de lava (Eguez, Aspden, Báez, Beate, Benítez, y Van, 2011).

El estudio se realizó en dos épocas diferentes ya que las concentraciones inorgánicas varían dependiendo del volumen de precipitación, evaporación y evapotranspiración en la cuenca, con el objetivo de determinar la variación de concentración con respecto a las variables climáticas. En esta investigación se utilizó parámetros físicos y químicos, para la determinación de la calidad de las aguas y con ello se determinó la profundidad y los efectos que ocurren en agua, suelos y cultivos.

1.4. Objetivos

1.4.1. General

Determinar la calidad de aguas y suelos en los campos experimentales, desde el punto de vista agrícola en la ciudad del conocimiento “Yachay” en la provincia de Imbabura y relacionarlo con la precipitación, evaporación y evapotranspiración.

1.4.2. Específicos

- Determinar pH, conductividad eléctrica (CE), residuo seco evaporado o sólidos totales solubles, residuo seco calcinado, $Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, K^+, CO_3^{2-}, HCO_3^{-}, Cl^-, SO_4^{2-}, P - PO_4, N - NO_3, B$ en la cuenca hidrográfica del Ambi en época seca y en época lluviosa.
- Determinar pH, conductividad eléctrica (CE), residuo seco evaporado o sólidos totales solubles, residuo seco calcinado, $Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, K^+, CO_3^{2-}, HCO_3^{-}, Cl^-, SO_4^{2-}, P - PO_4, N - NO_3, B$ en tres relaciones suelo-agua, densidad real, densidad aparente y humedad, en los suelos de la ciudad del conocimiento Yachay.
- Elaborar un análisis multivariado de componentes principales de las especies inorgánicas de las aguas del sistema hidrográfico del río Ambi.
- Elaborar mapas de distribución espacial de las especies inorgánicas más críticas.
- Proponer medidas de manejo del recurso agua y suelo

1.5. Hipótesis

El 75% de las muestras de agua y suelos monitoreados en la cuenca del Ambi presentan buena calidad desde el punto de vista agrícola.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1. El uso del agua para riego en Ecuador, Urcuquí

El Ecuador se extiende por las costas sobre el Océano Pacífico limitando con Colombia y Perú, un país pequeño con gran potencial en la agricultura siendo esta de gran importancia económica y social. Sin embargo, desde hace varias décadas se encuentra sumida en una crisis estructural que afecta a los intereses económicos, y a las condiciones de vida de los campesinos debido al crecimiento demográfico (Brazales, A., 2000).

El agua es un elemento esencial para el desarrollo agrícola; su aprovechamiento, utilización y conservación constituyen elementos fundamentales en cualquier estrategia de desarrollo, en el Ecuador casi el 80% es destinado para riego, esta agua debe mantener ciertas características físicas, químicas y microbiológicas que no alteren el desarrollo de las plantas para no tener problemas con la calidad de los productos (Guzmán, y Narváez, 2010).

Urcuquí siendo uno de los cantones rurales el 67.9% de la población se dedica a la Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC], 2010). La gran mayoría son campesinos que viven principalmente de estas actividades debido a las condiciones climáticas; entre los productos que se cultiva desde el clima frío hasta el subtropical están: Las papas, el maíz, ocas, mellocos, morochillo, trigo, habas, cebada, banano, fréjol, caña de azúcar, yuca, papaya, naranjilla. La disponibilidad de agua para el riego a lo largo de los años ha ido forjando fuertes disparidades y desigualdades en lo que se refiere al acceso y la distribución de este recurso primordial para el desarrollo de la agricultura (Apollin, F., 2004).

2.2. Principales minerales de la corteza terrestre

Los elementos característicos de las aguas y suelos está en función directa del pasado geológico, así, se describe brevemente algunos minerales que se pueden encontrar en el sistema hidrográfico del Ambi.

La Corteza terrestre es la capa superficial del Planeta, se divide en dos tipos: la corteza continental y la corteza oceánica sus características varían considerablemente siendo la fuente de una amplia variedad de minerales útiles y esenciales (Tarbuck, y Lutgens, 2005).

La Corteza Oceánica está constituida por rocas volcánicas de tipo basálticas muy resistentes en la superficie y plutónicas de tipo grabas en la profundidad, su espesor varía entre los 5 y los 10 km. La Corteza Continental está formada por rocas ígneas, sedimentarias predominando en su interior por rocas metamórficas, posee un grosor cercano a los 40 km, aunque en algunas zonas de orogenia puede llegar a los 60 ó 70 km. El mayor espesor conocido de la corteza continental se halla bajo la cordillera del Himalaya, y es de 75 kilómetros (Tarbuck, *et al.*, 2005).

Entre los elementos más conocidos que posee la Corteza Terrestre se encuentran: O (46.6%), Si (27.7%), Al (8.1%), Fe (5%), Ca (3.6%), Na (2.8%), K (2.6%), Mg (2.1%). Los minerales más frecuentes de la Corteza continental son: Feldespato potásico ($KAlSi_3O_8$), Feldespato sódico ($NaAlSi_3O_8$) y los Cuarzos (SiO_2). En la corteza oceánica se presentan: Olivino (Mg_2SiO_4), Piroxeno ($CaMgSi_2O_6$) y los Feldespato cálcico ($CaAl_2Si_2O_6$) (Carrera, D., 2011).

2.3. Calidad de agua para Riego

2.3.1. Problemas que influyen en la Calidad de Riego

Las malas prácticas de riego generan problemas de salinidad y sodicidad en los cuerpos de agua y suelos generando problemas en la seguridad alimentaria del Ecuador (Carrera, *et al.*, 2011, Carrera, 2013, y Carrera, Guevara, Maya, 2015, Carrera, Guevara, Tamayo, y Guallichico, 2015).

Las sales se forman por la sustitución de los átomos de hidrógeno de un ácido por átomos metálicos. Su presencia se debe principalmente a altas concentraciones de sales solubles, debido a factores como fertilizantes, residuos de animales y principalmente del agua de riego. Los suelos afectados son los que presentan únicamente las sales más solubles, estas suelen comprender los cloruros, sulfatos, nitratos, algunos carbonatos, bicarbonatos de sodio, potasio, magnesio y calcio en cantidades pequeñas (Thompson, y Troeh, 2002). Los boratos ocurren en cantidades pequeñas pero la toxicidad es peligrosa. Otras fuentes secundarias incluyen la

deposición atmosférica de sales oceánicas (sales en el agua de lluvia), el agua salina de las aguas subterráneas y el aumento de la intrusión de agua de mar en los acuíferos de las aguas subterráneas, también productos químicos de fertilizantes, que lixivian a las fuentes de agua afectan a la calidad del agua de riego (Badia, D., 1992).

La estimación del contenido de sales en el suelo o en el agua puede ser estimada mediante la conductividad eléctrica (CE) de una muestra de agua y del extracto de suelo. Por lo general las sales afectan en mayor medida a zonas áridas, semiáridas y estepas.

La acumulación de sales solubles, sodio de intercambiable se presenta cuando la precipitación anual es menor que la evaporación del suelo incluyendo la evapotranspiración de las plantas, esto asociado a un suelo de bajo drenaje. La magnitud de la concentración de sales ocasiona problema de manejo de los suelos ya que sus altas concentraciones de sales o de sodio intercambiable generan problemas al desarrollo de los cultivos susceptibles (Solís, J., 2000). La evapotranspiración hace que el agua empiece a disminuir mientras que la cantidad de sales disueltas permanecen constantes ya que las raíces del suelo no absorben estas sales. Por lo tanto a medida que disminuye el contenido de humedad aumenta la concentración de sales (Universidad Agraria del Ecuador, 2004).

La sodificación es el aumento de la concentración de Na^+ respecto a los cationes bivalentes Ca^{2+} y Mg^{2+} . Su efecto de predominancia de Na^+ ocasiona el deterioro de las propiedades físicas de los suelos que afectan la dinámica o el movimiento del agua y, en definitiva, su capacidad para mantener una agricultura irrigada en el largo plazo (Carrera, 2011).

Se pueden definir varios criterios para definir los niveles guía de calidad de agua para irrigación de cultivos elaborados por agencias gubernamentales y universidades de diversos países, entre ellos se encuentran: Las Normas Riverside, propuestas por U.S. Soil Salinity Laboratory, las Normas de H. Greene, es una de las menos restrictivas que existe y su calificación no ofrece muchas garantías cuando se trata de calificar muestras de agua de riego, también tenemos los estudios de Ayers y Westcot adoptados por la FAO en 1987 (Orihuela, Hernández, Pérez, y Marijuan, 2005).

En la Tabla 1 y 2 se presentan las directrices que se han utilizado con éxito en la agricultura de riego, se basan en ciertas suposiciones que deben entenderse claramente, pero no deben convertirse en requisitos rígidos.

Tabla 1

Guidelines for interpretations of water quality for irrigation

Potential Irrigation Problem	Units	Degree of Restriction on Use			
		None	Slight to Moderate	Severe	
Salinity (affects crop water availability)					
EC _w	dS/m	< 0.7	0.7 – 3.0	> 3.0	
TDS	mg/l	< 450	450 – 2000	> 2000	
Infiltration (affects infiltration rate of water into the soil. Evaluate using EC _w and SAR together)					
SAR	= 0 – 3	and EC _w =	> 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
Specific Ion Toxicity (affects sensitive crops)					
<u>Sodium (Na)</u>					
	surface irrigation	SAR	< 3	3 – 9	> 9
	sprinkler irrigation	me/l	< 3	> 3	
<u>Chloride (Cl)</u>					
	surface irrigation	me/l	< 4	4 – 10	> 10
	sprinkler irrigation	me/l	< 3	> 3	
	<u>Boron (B)</u>	mg/l	< 0.7	0.7 – 3.0	> 3.0
Trace Elements					
Miscellaneous Effects (affects susceptible crops)					
	<u>Nitrogen (NO₃ - N)</u>	mg/l	< 5	5 – 30	> 30
	Bicarbonate (HCO₃)				
	(overhead sprinkling only)	me/l	< 1.5	1.5 – 8.5	> 8.5
	pH		Normal Range 6.5 – 8.4		

Fuente: Ayers y Westcot, 1994

Tabla 2

Laboratory determinations needed to evaluate common irrigation water quality problems

Water parameter	Symbol	Unit	Usual range in irrigation water	
SALINITY				
<u>Salt Content</u>				
Electrical Conductivity	EC _w	dS/m	0 – 3	dS/m
Total Dissolved Solids	TDS	mg/l	0 – 2000	mg/l
CATIONS AND ANIONS				
Calcium	Ca ⁺⁺	meq/l	0 – 20	me/l
Magnesium	Mg ⁺⁺	meq/l	0 – 5	me/l
Sodium	Na ⁺	meq/l	0 – 40	me/l
Carbonate	CO ₃ ⁻	meq/l	0 – .1	me/l
Bicarbonate	HCO ₃ ⁻	meq/l	0 – 10	me/l
Chloride	Cl ⁻	meq/l	0 – 30	me/l
Sulphate	SO ₄ ⁻	meq/l	0 – 20	me/l
NUTRIENTS				
Nitrate-Nitrogen	NO ₃ -N	mg/l	0 – 10	mg/l
Ammonium-Nitrogen	NH ₄ -N	mg/l	0 – 5	mg/l
Phosphate-Phosphorus	PO ₄ -P	mg/l	0 – 2	mg/l
Potassium	K ⁺	mg/l	0 – 2	mg/l
MISCELLANEOUS				
Boron	B	mg/l	0 – 2	mg/l
Acid/Basicity	pH	1–14	6.0 – 8.5	
Sodium Adsorption Ratio	SAR	(me/l) ^{1, 2}	0 – 15	

Fuente: Ayers y Westcot, 1994

2.3.2. Clasificación de las aguas para riego en base a la salinidad y sodicidad

2.3.2.1. Salinidad

La Calidad del agua depende del contenido de Sales, representando un alto contenido cuando existe un mal manejo de riego, drenaje, etc. El efecto que produce en los cultivos está relacionado con la presión osmótica de la solución que está en contacto con las raíces. Los valores umbrales de C.E. se presentan en el Cuadro 1 según las Normas Riverside del U.S. Salinity Laboratory Staff (1954) (Richard, 1954).

Cuadro 1

Clasificación de las Aguas en base al Contenido de Sales.

CLASIFICACIÓN	TIPO	CE μScm^{-1}	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.

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 ocurra un problema por salinidad. Tal vez se requiera algún lavado, pero es necesario un buen sistema de riego, exceptuando suelos de pobre permeabilidad.

C2: Las aguas de salinidad mediana se utilizan siempre que haya un lavado moderado. Sin embargo, es factible la producción de cultivos moderadamente tolerantes a las sales, sin un control de salinidad riguroso.

C3: Las aguas altamente salinas no se pueden utilizar en suelos sin drenaje. Si existiera un tipo de drenaje, se necesitarían prácticas especiales de control de salinidad y los cultivos a regar deberían ser muy tolerantes a las sales.

C4: Las aguas muy altamente salinas no son apropiadas para riego bajo condiciones normales. Sin embargo, se pueden utilizar ocasionalmente cuando los suelos son permeables, se debe aplicar exceso de agua y seleccionar cultivos altamente tolerantes a las sales.

C5 y C6 su salinidad es excesiva y sobrepasa valores de 2250 CE μScm^{-1} .

2.3.2.2. Sodicidad - Relación de absorción de sodio (RAS)

El análisis de sodicidad en el agua de riego no es posible determinarla fácilmente como la evaluación de la salinidad. Para determinar el contenido de sodio se lo realiza mediante la Relación de Adsorción de Sodio (RAS) ecuación de Gapon [1] mencionada en el Manual NO. 60 de USDA. Esta relación expresa la concentración

relativa de sodio respecto a las concentraciones de calcio y magnesio, siendo uno de los iones que afecta en gran medida a la degradación de los suelos.

$$\text{RAS} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{2}}} \quad [1]$$

Las concentraciones de los iones deben estar en meq/L. Mientras exista mayor concentración de sodio en el agua de riego, mayor será su efecto en el suelo. La disolución de minerales hace que se incremente la concentración de calcio en la solución del suelo, y en consecuencia, el riesgo de sodificación será bajo. Sin embargo la fórmula mencionada anteriormente no toma en cuenta los posibles cambios que suceden en la solución del suelo debido a la solubilidad del Ca después de la irrigación, presentando precipitados de CaCO_3 incrementando la concentración de sodio (García, Á., 2012).

Es así que se recomienda calcular el RAS ajustado mediante la fórmula [2] propuesto en 1968 por Bower, Ogata y Tucker, toma en cuenta el índice de Saturación de Langelier en el que se considera que al alcanzar el punto de saturación en presencia de bicarbonatos de calcio que se precipitara como Carbonatos de Calcio, se define como:

$\text{IS} = \text{pHa} - \text{pHc}$; valores positivos indican tendencia a precipitar mientras que valores negativos indican tendencias a disolver.

$$\text{RASajus} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{2}}} [1 + (8,4 - \text{pHc})] \quad [2]$$

pHc : pH del agua en equilibrio con el CaCO_3 ; pHa : 8,4

$$\text{pHc} = (\text{pK}_2' - \text{pK}_c') + p(\text{Ca}^{2+}) + p(\text{Alk}):$$

$\text{pK}_2 - \text{pK}_c$: $[\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}] + [\text{Na}^+]$:

pCa : $[\text{Ca}^{2+}]$

$p(\text{Alk})$: $[\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^-]$

Tabla 3
Valores para el cálculo de pHc

Concentración meq/l	pK ₂ -pK _c	pCa	p (Alk)	Concentración meq/l	pK ₂ -pK _c	pCa	p (Alk)
0.05	2.0	4.6	4.3	2.50	2.2	2.9	2.6
0.10	2.0	4.3	4.0	3.00	2.2	2.8	2.5
0.15	2.0	4.1	3.8	4.00	2.2	2.7	2.4
0.20	2.0	4.0	3.7	5.00	2.2	2.6	2.3
0.25	2.0	3.9	3.6	6.00	2.2	2.5	2.2
0.30	2.0	3.8	3.5	8.00	2.3	2.4	2.1
0.40	2.0	3.7	3.4	10.00	2.3	2.3	2.0
0.50	2.1	3.6	3.3	12.50	2.3	2.2	1.9
0.75	2.1	3.4	3.1	15.00	2.3	2.1	1.8
1.00	2.1	3.3	3.0	20.00	2.4	2.0	1.7
1.25	2.1	3.2	2.9	30.00	2.4	1.8	1.5
1.50	2.1	3.1	2.8	50.00	2.5	1.6	1.3
2.00	2.2	3.0	2.7	80.00	2.5	1.4	1.1

Fuente: Ayers y Westcot, 1994

Sin embargo, las investigaciones anteriores para el cálculo del RAS sobreestiman el riesgo de alcalinización del agua de riego, la FAO aconseja actualmente predecir estos problemas mediante el denominado RAS corregido [3], propuesta por Suárez en 1981 expresado en función de Ca°, es el contenido final de calcio en el suelo con respecto al agua de riego, en la Tabla se presenta los valores para el cálculo del Ca°.

$$\text{RAS}^\circ = \frac{\text{Na}}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^\circ + \text{Mg}}{2}}} \quad [3]$$

Tabla 4
Concentración de calcio en el agua del suelo. Ca°

Ratio of HCO ₃ /Ca	Salinity of applied water (EC _w) (dS/m)											
	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	1	1,5	2	3	4	6	8
0,05	13,2	13,61	13,92	14,4	14,79	15,26	15,91	16,43	17,28	17,97	19,07	19,94
0,1	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	7,9	8,31	8,64	9,17	9,58
0,2	5,24	5,4	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
0,3	4	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	3,8	3,94	4,04	4,17	4,35	4,49	4,72	4,91	5,21	5,45
0,4	3,3	3,4	3,48	3,6	3,7	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	3,8	4	4,15	4,41	4,61
0,5	2,84	2,93	3	3,1	3,19	3,29	3,43	3,54	3,72	3,87	4,11	4,3
0,75	2,17	2,24	2,29	2,37	2,43	2,51	2,62	2,7	2,84	2,95	3,14	3,28
1	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	2,1	2,23	2,33
1,5	1,37	1,41	1,44	1,49	1,53	1,58	1,65	1,7	1,79	1,86	1,97	2,07
1,75	1,23	1,27	1,3	1,35	1,38	1,43	1,49	1,54	1,62	1,68	1,78	1,86
2	1,13	1,16	1,19	1,23	1,26	1,31	1,36	1,4	1,48	1,54	1,63	1,7
2,25	1,04	1,08	1,1	1,14	1,17	1,21	1,26	1,3	1,37	1,42	1,51	1,58
2,5	0,97	1	1,02	1,06	1,09	1,12	1,17	1,21	1,27	1,32	1,4	1,47
3	0,85	0,89	0,91	0,94	0,96	1	1,04	1,07	1,13	1,17	1,24	1,3
3,5	0,78	0,8	0,82	0,85	0,87	0,9	0,94	0,97	1,02	1,06	1,12	1,17
4	0,71	0,73	0,75	0,78	0,8	0,82	0,86	0,88	0,93	0,97	1,03	1,07
4,5	0,66	0,68	0,69	0,72	0,74	0,76	0,79	0,82	0,86	0,9	0,95	0,99
5	0,61	0,63	0,65	0,67	0,69	0,71	0,74	0,76	0,8	0,83	0,88	0,93
7	0,49	0,5	0,52	0,53	0,55	0,57	0,59	0,61	0,64	0,67	0,71	0,74
10	0,39	0,4	0,41	0,42	0,43	0,45	0,47	0,48	0,51	0,53	0,56	0,58
20	0,24	0,25	0,26	0,26	0,27	0,28	0,29	0,3	0,32	0,33	0,35	0,37
30	0,18	0,19	0,2	0,2	0,21	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,27	0,28

Mediante las normas Riverside se establece la relación entre la Conductividad eléctrica (Salinidad) y la Relación de adsorción de Sodio (RAS), Cuadro 2 , Figura 1.

Cuadro 2

Clasificación 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 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.

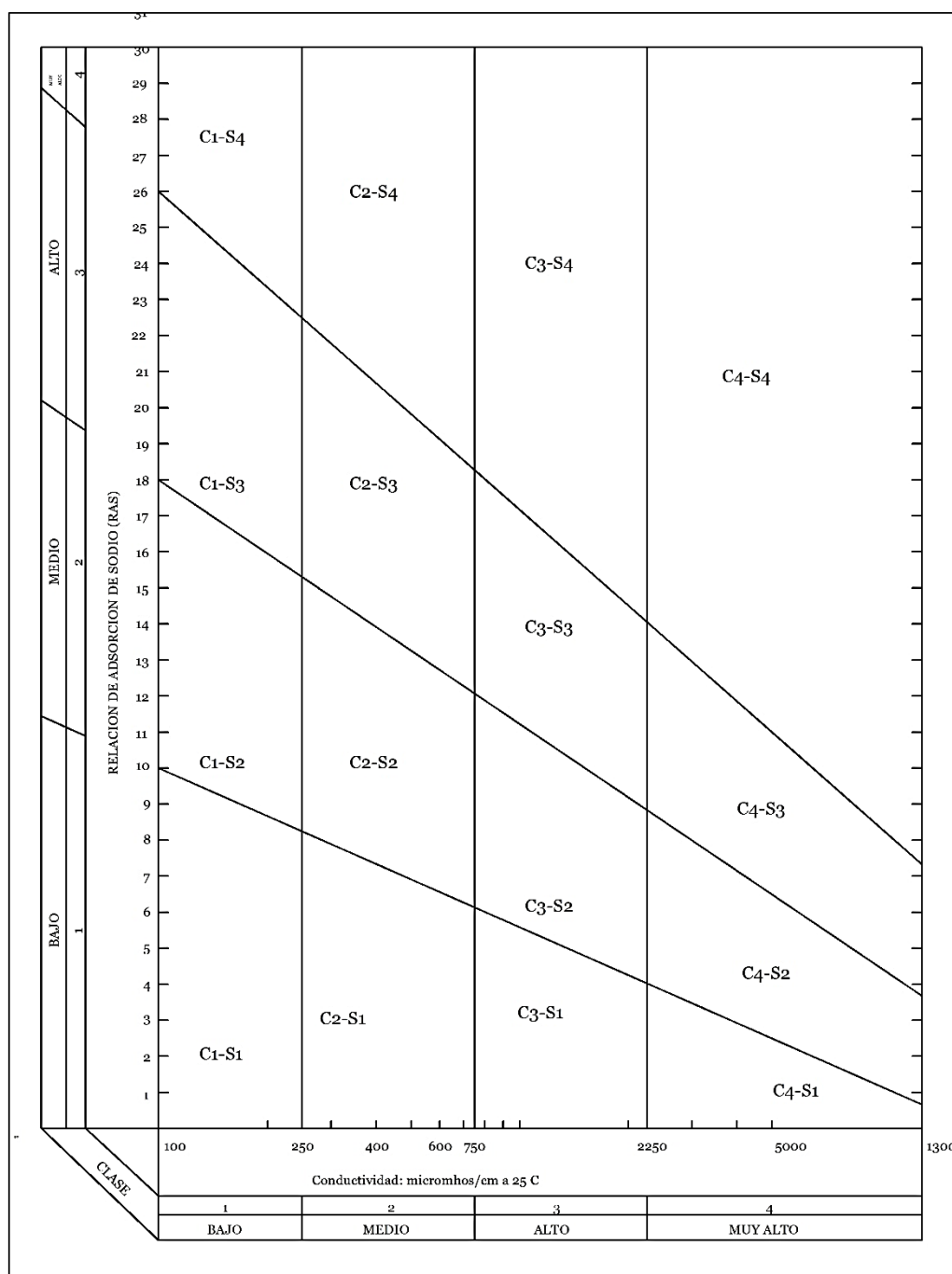


Figura 1: Diagrama de Richards

2.4. Calidad de Suelos para la Agricultura

2.4.1. Clasificación de los suelos afectados por salinidad

La clasificación de los suelos afectados por sales, está basado en las propiedades químicas, para el diagnóstico de la clase de suelo además de la C.E. se toma en cuenta también el pH y el porcentaje de sodio intercambiable. En base a esto se

presenta en el Cuadro 3, la clasificación de los suelos afectados por salinidad (Valverde, y García, 1966).

Cuadro 3

Clasificación de Suelos en base al contenido de Sales.

	C.E. dSm⁻¹	% de Na intercambiable	pH
SALINOS	> 4	< 15	< 8.5
SALINO-SÓDICO	> 4	> 15	8.5
SÓDICO (ALCALINO)	< 4	> 15	8.5 – 10

Fuente: Richard, 1954

Suelos Salinos.- Suelos que contienen muchas sales en solución, en la fase líquida resultan perjudiciales para la mayoría de los cultivos.

Suelos Salinos - Sódicos.- Estos suelos aparecen junto a un excesivo contenido en sales solubles y un alto PSI. En la fase líquida del suelo sus características son semejantes a las de los suelos salinos, sin embargo su lavado con agua de bajo contenido de electrolitos conducirá a la formación de suelos alcalinos.

Suelo Sódico.- Suelos con una cantidad alta de PSI, capaz de interferir en el crecimiento de la mayoría de cultivos. La abundancia de un ión Na⁺, frente a Ca²⁺ y Mg²⁺ determina la individualización y dispersión de las partículas del suelo siendo perjudicial desde el punto de vista de su recuperación (Badia, D., 1992). La concentración de sodio causa la dispersión de la materia orgánica en la superficie originando colores oscuros. El PSI mayor a 1.2 no representa daño hacia las plantas, pero causa que los suelos de textura fina sean extremadamente impermeables al agua y dificulta la penetración de las raíces.

2.5. Porcentaje de sodio intercambiable

El Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI), se lo determina en base al cálculo del RAS (Sodio Intercambiable), expresa la cantidad de Sodio que es adsorbido por el suelo, fórmula [4]. La presencia de Sodio depende del clima de la zona, en presencia de un clima húmedo y semihúmedo el contenido de sodio es bajo, debido a su baja energía de adsorción puede ser fácilmente lixiviado a horizontes profundos del suelo por las lluvias. Del mismo modo, los iones de sodio son menos fijados por

los minerales arcillosos que los iones de potasio. Sin embargo, niveles elevados de sodio pueden desplazar al calcio y al potasio, deteriorando la estructura del suelo.

Por el contrario en regiones áridas y semiáridas se presenta a menudo acumulación de Na^+ en la superficie de los suelos, debido a que el incremento de la evaporación conduce el agua del nivel freático hacia la superficie. Estas condiciones conducen a un deterioramiento de la estructura del suelo que repercute negativamente en las reservas de agua y de aire en el suelo.

$$\text{PSI} = \frac{1.475\text{RAS} - 1.26}{0.01475\text{RAS} + 0.9874} \quad [4]$$

2.6. Boro.

El boro es un elemento considerado como un metaloide, concentraciones altas de Boro en el suelo se asocia frecuentemente con la evaporación de su contenido de agua, por esta razón se encuentra mayores concentraciones en zonas áridas y semiáridas. Se considera esencial en concentraciones relativamente bajas (Kass, D., 1998).

En la disolución del suelo, el boro se encuentra bajo la forma no disociada de ácido bórico H_3BO_3 o como anión borato $\text{B}(\text{OH})_4^-$, por esta razón, el boro puede ser lavado fácilmente del perfil del suelo, sobre todo a $\text{pH} < 7$. Los boratos aumentan su presencia a pH más elevado, este anión es adsorbido por arcillas e hidróxidos de Fe y Al. De esta forma, en zonas húmedas el boro es fácilmente lavado del perfil del suelo, mientras que en regiones áridas puede acumularse hasta niveles tóxicos en las capas superficiales (Alarcón, A., 2001).

2.7. Cloruros

El ión Cloruro es muy soluble y de alta movilidad en el suelo, a medida que el pH del suelo incrementa hasta alcanzar valores de 6 a 7 este no es retenido por el complejo coloidal, bajo estas condiciones de pH es muy susceptible al lavado o a la lixiviación. (Kass, D., 1998). En el agua el Cl^- suelen ir asociado al ión Na^+ especialmente en aguas muy salinas, las aguas con cloruros pueden ser muy corrosivas (Lapeña, M., 1990).

2.8.Fosfatos y nitratos

El ión PO_4^{3-} forma sales muy poco solubles y precipita fácilmente como fosfato cálcico, contribuye a la alcalinidad en las aguas, por lo general no se encuentran en el agua más de 1 ppm pero puede aumentar debido al uso de fertilizantes. El ión NO_3^- forma sales muy solubles y bastante estables, las aguas normales contienen menos de 10 ppm pero puede aumentar de igual manera por los fertilizantes. (Lapeña, M., 1990). En el suelo el nitrógeno es el nutriente que limita el crecimiento óptimo del cultivo, existe en diversas formas que cambian durante el transcurso del tiempo e influyendo en su disponibilidad es por ello que se los mide en forma de nitratos al igual que el azufre en forma de sulfatos (Espinoza, Slaton, y Mozaffari, 2012).

2.9.Sodio y potasio

La química del sodio es muy similar a la del potasio, pero su comportamiento en el suelo es algo diferentes, el Na^+ se presenta en los feldespatos, una vez liberados en la solución del suelo no experimentan fijación de ninguna clase y son retenidos por los puntos de intercambio catiónico con menor fuerza que los de potasio, magnesio o calcio. El Na^+ es el catión que se lava con facilidad en el suelo mientras que el potasio permanece casi constante (Thompson, *et al.*, 2002).

2.10. Dureza.

La Dureza determina la cantidad de iones alcalinotérreos como el Ca^{2+} y Mg^{2+} se la expresa como CaCO_3 . El agua dura es beneficiosa en agua de riego porque los iones tienen a producir agregados a las partículas del suelo y por consiguiente aumenta la permeabilidad del suelo al agua (Harris, D., 2003). El agua adquiere la dureza cuando pasa a través de las formaciones geológicas que contienen los elementos minerales que la producen y por su poder solvente los disuelve e incorpora.

El calcio y el magnesio son los cationes más abundantes en aguas dulces. Su actividad química es similar, en particular en la formación de sales de carbono siendo limitantes de los procesos biológicos en ecosistemas acuáticos. El calcio es por lo regular el más abundante representando el 48% de todos los cationes presentes y el magnesio el 14% cuando presentan concentraciones de 50mgL^{-1} en sólidos disueltos (Roldán, y Ramírez, 2008).

2.11. Análisis multivariado de componentes principales

En varias ocasiones se dispone de una matriz de información en la que se puede prescindir de algunas variables, sin que la información global disminuya de forma significativa. El método de componentes principales (CP) y el análisis factorial (AF) son métodos que permiten explicar con un número reducido de nuevas variables que se denominan factores. La técnica estadística que intenta explicar la información recogida en una matriz de datos con n individuos y K variables, a partir de W factores siendo $W < K$ (Álvarez, R., 1995).

2.12. Métodos de interpolación

Al realizar muestreos aleatorios de una determinada zona para la elaboración de mapas existen diferentes metodologías que permiten la construcción de curvas de concentración a partir de puntos registrados que posteriormente, al aplicar técnicas de interpolación, se estiman valores desconocidos. Actualmente los métodos más usados son Kriging e IDW (Inverse Distance Weighting) que se basan en la autocorrelación espacial de los puntos para la predicción y generación de superficies continuas (Murillo, Ortega, Carrillo, Pardo, y Rendón, 2012).

El método de Kriging proporciona un análisis más elaborado y con un fundamento estadístico, por lo que este método puede ser el preferido cuando la intensidad de muestreo es mayor, aunque esto significaría costos mayores. Cuando el distanciamiento es muy grande, los variogramas no son posibles de obtener, entonces el Kriging deja de ser una opción y comparativamente el IDW se perfila como el mejor (Villatoro, Henríquez, y Sancho, 2008).

El IDW es un método matemático de interpolación que usa una función inversa de la distancia, parte del supuesto que las cosas que están más cerca son más parecidas, por lo tanto tienen más peso e influencia sobre el punto a estimar (Murillo, *et al*, 2012). La interpolación mediante distancia inversa ponderada determina los valores de celda a través de una combinación ponderada linealmente de un conjunto de puntos de muestra. La ponderación es una función de la distancia inversa (Figura 2). La superficie que se interpola debe ser la de una variable dependiente de la ubicación. Este método presupone que la variable que se representa

cartográficamente disminuye su influencia a mayor distancia desde su ubicación de muestra (ESRI, 2013).

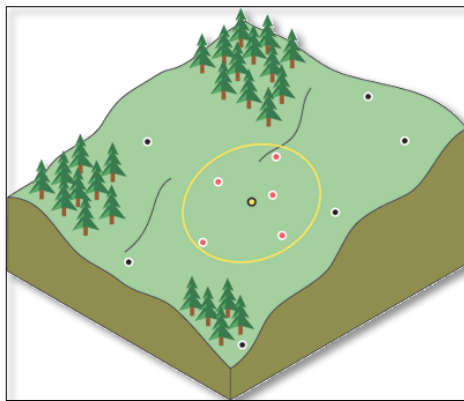


Figura 2: Vecindad de IDW del punto seleccionado

Fuente: ESRI, 2013

CAPÍTULO 3

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción del área de estudio

La cuenca del río Ambi se encuentra localizada en la Provincia de Imbabura, conformada por los Cantones: San Miguel de Urququi, Antonio Ante, Cotacachi y Otavalo, cubre 341.83 km² de extensión. Parte de la cuenca está conformada por La Ciudad del Conocimiento Yachay, integrando las Parroquias de Urququí y Tumbabiro abarca un área de 45.93 km² conformado por varias haciendas siendo la más representativa la hacienda. San José en la que se asientan las oficinas de “YACHAY”. El río Ambi es el cauce principal de la cuenca, que desemboca en la confluencia del río Mira y el río Chota rodeado por el cerro Imbabura y el Volcán Cotacachi (Figura 3). De acuerdo a la nueva delimitación realizada en el 2009 en conjunto por la Secretaría Nacional del Agua del Ecuador [SENAGUA], la Secretaría General de la Comunidad Andina y la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza [UICN], la cuenca del río Ambi, forma parte del nivel 3 en la Unidad Hidrográfica # 154 con un área de 6507.65 km² correspondiente al río Mira, a su vez forma parte de la Región Hidrográfica o vertiente #1 cuyas aguas desembocan al Pacífico ocupando un 48.59 % del área Ecuatoriana.

Los mapas presentados en este trabajo fueron realizados con información proporcionada del Geoportal del IGM (IGM, 2015), base de datos de Yachay en formato shape y se lo procesó con el software ArcGIS 9.2 del laboratorio de Geomática de la Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE.

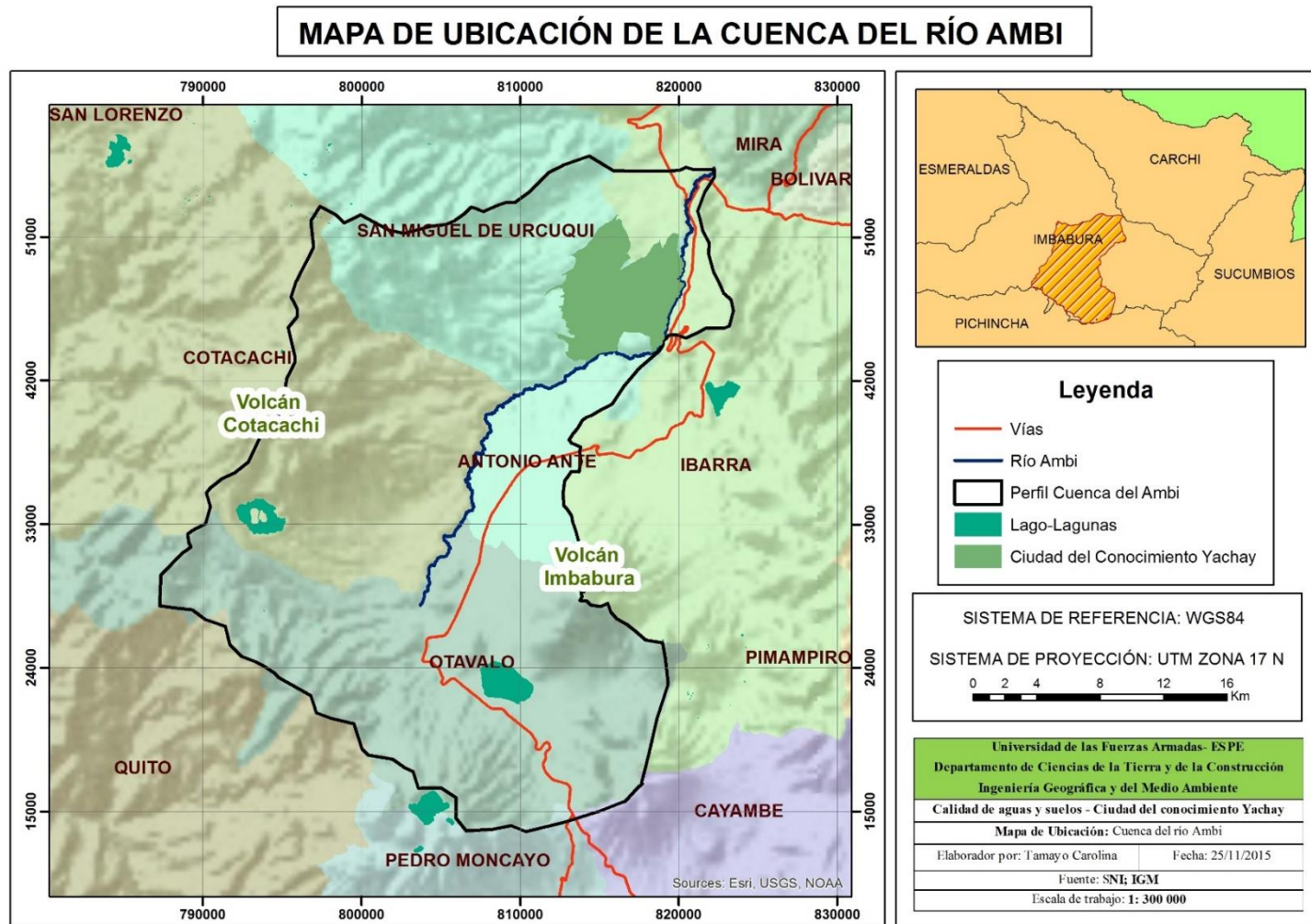


Figura 3: Mapa de Ubicación del área de Estudio: Cuenca del río Ambí.

3.2.Toma de muestras de agua y suelo

3.2.1. Muestreo y métodos de análisis de agua y suelo

3.2.1.1. Agua

La toma de muestras de agua se realizó en el área que comprende la Cuenca a lo largo del río Ambi en afluentes, acequias y quebradas cercanas a la Ciudad del conocimiento YACHAY. El muestreo se realizó en dos épocas representativas, determinadas a partir de los datos de precipitación proporcionados por el Instituto Nacional de Hidrología y Meteorología del Ecuador (INHAMI).

En el primer muestreo realizado en octubre 2014, se tomaron 25 muestras (época seca) y en el segundo muestreo, abril 2015, se tomaron 11 muestras (época lluviosa), (Figura 4). Las coordenadas de los puntos se presentan en la Tabla 5 y 6, las muestras fueron tomadas según la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2169 (1998). Los frascos fueron llenados completamente y tapados de tal forma que no exista aire sobre la muestra. Esto limita la interacción de la fase gaseosa y la agitación durante el transporte, así se evita la modificación del contenido de dióxido de carbono y la variación en el valor del pH.

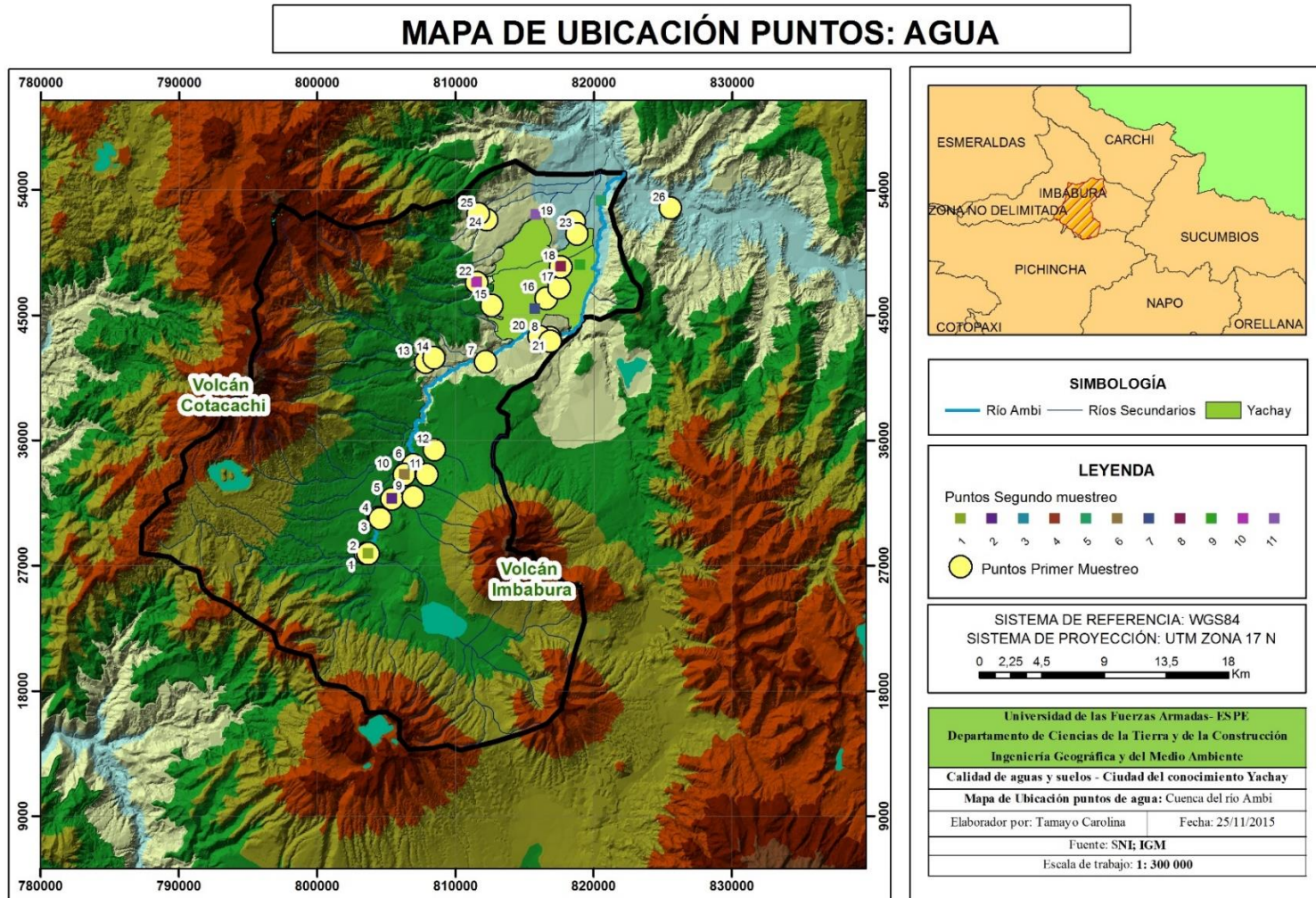


Figura 4: Mapa de Ubicación de Puntos de muestreo de Agua.

Tabla 5.

Coordenadas de los Puntos de muestreo de agua del Sistema Hidrográfico del Río Ambi- Época seca.

No.	Este	Norte	Lugar de Muestreo	msnm	T (° C)	Descripción
1	803518	27865	Río Blanco	2480	17	Río Blanco antes de Machángara (antes Ambi)
2	803670	27870	Río Ambi	2497	18	Unión con río Blanco
3	804450	30461	Río Ambi	2410	18	Río Ambi. Estación Hidroeléctrica Otavalo 2
4	804553	30374	Río Ambi	2425	18	Río Ambi. Después Estación Hidroeléctrica Otavalo 2
5	805394	31797	Río Ambi	2371	15	Río Ambi en puente entrada a Cotacachi
6	806965	34232	Río Ambi	2324	18	Río Ambi. Puente San Roque. Cotacachi
7	812183	41655	Río Ambi	1935	22	Río Ambi. Puente que va de Ibarra a Urcuquí
8	816808	43382	Río Ambi	1839	18	Central Hidroeléctrica El Ambi
9	806960	31951	Canal de Riego	2485	15	Canal de riego. Cuenca Ambi. Vertiente San Juan (poyo alfalfa ganado)
10	806297	33543	Acequia	2429	16	Antes de PRONACA, camino a Imantag, Cotacachi
11	807953	33547	Planta Eléctrica	2130	19	Río Ambi. Planta Eléctrica antigua El Ambi. Camino Atuntaqui - Imantag
12	808468	35322	Quebrada Yanayacu	2397	19	Quebrada Yanayacu. Tanque séptico
13	807846	41627	Río Alambi	2208	19	Unión con Quebrada Chimborazo
14	808465	41930	Río Cari Yacu	2179	21	Puente
15	812633	45710	Acequia	2266	14	Acequia en Santa Rosa
16	816561	46224	Acequia	2010	16	Acequia en Yachay. Campamento Cuerpo de Ingenieros
17	817487	46958	Acequia	1943	18	Acequia en Yachay 1, vía a Tapiapamba
18	817600	48469	Acequia	1835	18	Acequia en Yachay 2
19	818602	51719	Acequia	1702	21	Acequia camino a Salinas
20	816044	43447	Reservorio	2013	18	Reservorio San José de Monjas. Reservorio El Ambi
21	816846	43134	Reservorio	1988	22	Desvío Reservorio El Ambi ...rule Central Hidroeléctrica
22	811535	47344	Quebrada Pingunchuela	2126	22	Quebrada La Banda. Puente. (basurero)

Continúa



No.	Este	Norte	Lugar de Muestreo	msnm	T (° C)	Descripción
23	818802	50836	Quebrada Pingunchuela	1712	22	Río en Yachay 3
24	812269	51845	Quebrada Chuspihuaycu	2022	19	Quebrada Chupihuayco vía Tumbabiro - Pablo Arenas (basurero)
25	811641	52281	Quebrada Cachiyacu	2078	18	Quebrada Cachiyacu, vía Tumbabiro - Pablo Arenas (basurero, caña de azúcar, maíz)

Tabla 6

Coordenadas de los Puntos de muestreo de agua del Sistema Hidrográfico del Río Ambi - Época lluviosa.

No.	Este	Norte	Lugar de Muestreo	msnm	T (° C)	Descripción
1	803670	27870	Río Ambi	2497	17	Río Ambi, Intersección entre el río Machangara y el río Blanco
2	805394	31797	Río Ambi	2371	18	Puente de la entrada a Cotacachi
3	806965	34232	Río Ambi	2324	17	Río Ambi, Puente San Roque -Cotacachi, Mineras
4	820510	53245	Río Ambi	1611	24	Puente Ambi camino a Salinas
5	820510	53245	Río Ambi	1611	21	Puente Ambi camino a Salinas
6	806297	33543	Acequia	2429	16	Camino Imantag-Cotacachi, antes de pronaca, Escuela del milenio Imantag
7	815745	45456	Acequia	2039	18	Acequia Yachay, Hacienda San José, cerca de la planta de tratamiento
8	817615	48487	Canal de riego	1823	19	Canal de riego Salinas, Hacienda la Rinconada
9	819001	48600	Quebrada los totorales	1749	18	Quebrada los totorales, Puente hidrogeológico, ojo de agua
10	811534	47349	Quebrada Pingunchuela	2133	23	Quebrada Pingunchuela
11	815818	52227	Quebrada La banda	1957	21	Quebrada La banda

Nota: Anexo 1: Fotografías de los Puntos de muestreo -Agua.

3.2.1.2.Suelo

El objetivo principal de cualquier operación de muestreo es colectar muestras representativas del medio que se está investigando. Se realizó la toma de 10 perfiles de suelo abarcando la mayor parte de Yachay (Figura 5, Tabla 7). Para realizar el muestreo se realizó una reunión con los Ingenieros encargados de la parte de Gestión Territorial quienes apoyaron con la información geográfica de la zona. La ubicación de los puntos se la realizó mediante el método de zig-zag, siendo el más práctico según la NOM-021-SEMARNAT-2000, así, los suelos fueron monitoreados cubriendo toda la extensión norte correspondiente a los campos agrícolas a irrigar, con un tipo de muestra simple que representa las condiciones puntuales de una población en el tiempo que fue colectado (Sepúlveda, Velasco, y De la Rosa, 2005). Las muestras fueron tomadas a profundidades de los perfiles edafológicos de 20cm, hasta los 40cm dependiendo la uniformidad del suelo con el fin de determinar las concentraciones de los diferentes parámetros en dos relaciones: 1:5, 1:10 y el extracto de saturación (1:0.2 \approx 0.6).

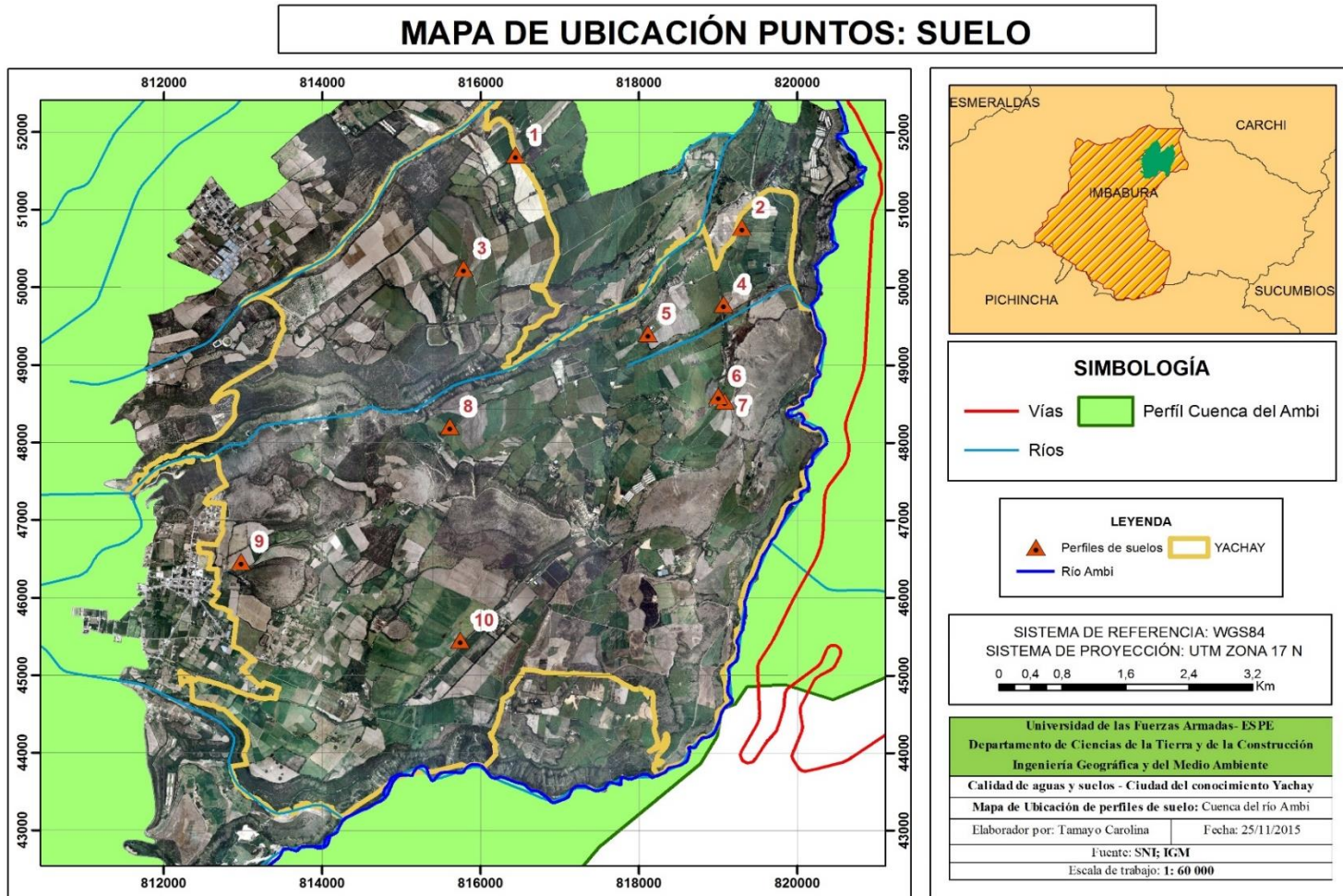


Figura 5: Mapa de Ubicación de los Perfiles de Suelo. Yachay

Tabla 7
Coordenadas de los Puntos de muestreo de suelo.

No.	Este	Norte	Lugar de Muestreo	msnm	Descripción
1	816439	51708	Hacienda la Hermosa	1831	Campos agrícolas
2	819297	50775	San Patricio	1727	Cultivo de Caña de azúcar
3	815782	50247	San Carlos	1960	Campos agrícolas
4	819064	49787	San Patricio	1740	Cultivo de Caña de azúcar
5	818109	49402	Quebrada Pingunchuela	1731	Cultivo de Caña de azúcar en reposo
6	819001	48600	Quebrada Pingunchuela	1749	Cultivo de Caña de azúcar en reposo
7	819082	48533	Loma ensillada, Quebrada los Totorales	1777	Cultivo de Caña de azúcar
8	815610	48209	Hacienda Santa Isabel	1950	Cultivo de Brócoli
9	812971	46466	Árbol Filogenético	2295	Varios Cultivos, cerca de las oficinas de Yachay
10	815744	45453	Hacienda San José planta	2037	Cerca de la Planta de tratamiento ubicada en el sector de las aulas.

Nota: Anexo 2: Fotografías de muestreo - Suelo.

3.2.2. Métodos de análisis

El análisis de las muestras de agua y suelo se lo realizó en base al Estándar Methods 20^{va} edición, en el Anexo 3 se presenta el procedimiento para cada parámetro de forma más detallada. Se analizaron 13 parámetros para aguas y 16 parámetros para suelos. (Tabla 8). Las muestras de agua del primer muestreo se enviaron al Laboratorio Analítico HAVOC en octubre del 2014, mientras que las muestras del segundo muestreo se analizaron en el Laboratorio de Ambiental de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE en el 2015.

Tabla 8
Métodos Estándares para Análisis de Agua y Suelos.

	N°	PARÁMETRO	MÉTODO
AGUA Y SUELOS	1	pH	pH metro INEN 973
	2	Conductividad eléctrica	Conductímetro, HACH HACH
	3	Residuo seco evaporado o sólidos totales solubles	Gravimetría utilizando estufa NOM-AA-34-2001
	4	Residuo seco calcinado	Gravimetría utilizando mufla NOM-AA-34-2001
	5	Sodio y potasio	Equipo Multiparámetro de iones selectivos (ISE) Medidor combinado ion selectivo sodio y potasio más sensor de referencia ISA.
	6	Calcio más magnesio	Volumétrico Titulación con EDTA 0.01M, indicador: negro de eriocromo y murexida Estándar Methods 20 ^{va} edición
	7	Carbonatos	Volumétrico titulación con ácido sulfúrico 0.02 N, indicador fenolftaleína Estándar Methods 20 ^{va} edición
	8	Bicarbonatos	Volumétricos titulación con ácido sulfúrico 0.02N, indicados naranja de metilo Estándar Methods 20 ^{va} edición
	9	Cloruros	Titulación con nitrato de plata 0.014 N. Indicador cromato de potasio. Estándar Methods 20 ^{va} edición
	10	Sulfatos	Espectrofotómetro, sulfaver, 10 ml de muestra HACH, SulfaVer
	11	Orto fosfatos	Espectrofotómetro, Fosfaver, 10 ml de muestra HACH, FosfaVer
	12	Nitratos	Espectrofotómetro, NitraVer, 10 ml de muestra HACH, NitraVer
	13	Boro	Método de la Curcumina con solución estándar de Boro. Estándar Methods 20 ^{va} edición
SUELOS	14	Densidad real	Picnómetro NOM-021-RECNAT-2000,7.1.4
	15	Densidad aparente	Probeta Gandoy,1991
	16	Humedad	Gravimétrica NOM-021-RECNAT-2000,7.1.5

3.3. Análisis multivariado de componentes principales

Para el análisis de los resultados se utilizó el programa Minitab versión 17 para determinar los componentes principales, es decir obtener los iones que poseen mayor influencia según su concentración; Minitab es un programa estadístico libre que permite determinar la correlación que existe entre dos o más variables, proporciona valores propios (eigenvalue) de cada componente principal, también la proporción de varianza explicada (proportion) y la varianza explicada acumulada (cumulative).

Los datos de varianza explicada son importantes para saber cuántos componentes principales se va a utilizar en el análisis. No hay una regla definida sobre el número que se debe utilizar, con lo cual se debe decidir en función del número de variables iniciales (hay que recordar que se trata de reducirlas en la medida de lo posible) y de la proporción de varianza explicada acumulada (Gurrea, M., 2006).

3.4. Mapas de distribución espacial

Para realizar los mapas de las concentraciones de agua y suelos que representan las más críticas según el Análisis Multivariado de Componentes Principales se eligió el método IDW (Índice de la distancia ponderada), se generó una base de datos de los puntos con sus coordenadas en WGS84, Zona 17N y las concentraciones de cada punto, mediante el software Arcgis 9.2 proporcionado por la Universidad Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, se generó un archivo con formato shp (shapefile) para la visualización, análisis y posterior generación del mapa. Se utilizó la herramienta IDW para generar la interpolación con todos los puntos de acuerdo al parámetro analizado, en esta herramienta se colocó el shapefile generado anteriormente, en el campo Z value field se coloca el parámetro a analizar. Finalmente en el campo number of points se coloca el número de puntos de muestreo. El resultado es un raster, el cual representara diferentes niveles de concentración de cada parámetro.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Principales Variables Hidrológicas

El agua al ser un elemento esencial para todas las actividades humanas, conocer su disponibilidad es un factor muy importante para el bienestar y el progreso de un país, sin embargo, este recurso cada vez es más escaso en muchas regiones del mundo (Castro, P., 2008). Existen variables hidrológicas y de mayor importancia como la: precipitación, evaporación y evapotranspiración, que sirven para analizar un mejor aprovechamiento de las fuentes naturales (Córdoba, Zea, y Murillo, 2006).

El INAMHI desde la década de 1960 se encarga de recopilar y publicar los datos meteorológicos en el Ecuador. La información antiguamente se registraba manualmente por el operario de la estación lo que ocasionaba un error involuntario por diversos factores, dando como resultado la falta de información, por lo que se procedió a estimar los datos faltantes dentro de una serie temporal. Mediante procedimientos estadísticos que permiten la obtención de valores realistas y coherentes con los fundamentos físicos (Organización Meteorológica Mundial [OMM]-N°989, 2006 y OMM-N°100, 2011).

4.1.1. Relleno y Validación de Datos Hidrológicos

La recopilación y análisis de datos meteorológicos es de gran importancia para la ejecución de cualquier tipo de investigación relacionada con los recursos hídricos, para lo cual es necesario trabajar con datos cronológicos de los diferentes elementos meteorológicos, para su posterior análisis (OMM, 2011).

Para la investigación se recurrió al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), encargado de manejar los registros meteorológicos, sin embargo, debido a cuestiones de la instrumentación, fallas del operador las estaciones no cuentan con registros completos, es decir que no fueron registrados, razón por la cual los datos faltantes deben ser rellenados; la información entregado fue en formato de block de notas y se la traslado a formato xls., un formato más accesible para el manejo de la información. En la Tabla 9 se presentan las estaciones utilizadas en el análisis.

Tabla 9

Características de las Estaciones Metrológicas- Unidad Hidrográfica del Río Ambi.

Código	Nombre de la Estación	Tipo	Latitud	Longitud	Altura
M0001	Inguincho	CO	0 ° 15' 30" N	78° 24' 3" W	3140
M0009	La Victoria INERHI	AP	0° 3' 36" S	78° 19'23" W	2262
M0105	Otavalo	CO	0° 14' 36" N	78° 15' 0" W	2550
M0107	Cahuasqui-FAO	CO	0° 31' 5" N	78° 12' 40" W	2335
M0315	Pimampiro	PV	0° 23' 22,92" N	77° 56' 28,29"W	2090

Para el relleno de datos de la cuenca del río Ambi se utilizó la estación M0009 como estación de referencia para el relleno del año 2014 (Tabla 10), a partir de dicha Estación se procedió a llenar los Datos faltantes de las cuatro Estaciones.

Tabla 10

Número de estaciones con datos faltantes – Cuenca Río Ambi.

Estación de Relleno	Estación Auxiliar	Total años incompletos
M315	M0009	8
M326		10
M0105	M315	3
M0001		3
M0107	M326	12

Existen varios métodos estadísticos para el relleno de datos, entre estos tenemos el método de regresión lineal, razón normal, aleatorio, etc. El método de la razón normal se asemeja al método del cociente. Emplea la razón de los valores normales de las estaciones próximas a la estación que se desea calcular y viene dada por la Fórmula (5), se recomienda utilizar por lo menos tres estaciones auxiliares y se la emplea cuando la media de una de las estaciones piloto difiere en más del 10% de la media de la estación con datos faltantes (Guevara, 2003).

$$P_x = \frac{1}{n} \cdot \left[\left(\frac{N_x}{N_1} \right) P_1 + \left(\frac{N_x}{N_2} \right) P_2 + \dots + \left(\frac{N_x}{N_n} \right) P_n \right] \quad [5]$$

Donde:

n : número de estaciones pluviométricas con datos de registros continuos. P_x : Precipitación de la estación con datos faltantes (x) durante el período de tiempo a completar. P_1 a P_n : Precipitación de las estaciones auxiliares durante el período de tiempo a completar. N_x : Precipitación media anual de la estación (x). N_1 a N_n : Precipitación media anual de las estaciones auxiliares (Monsalve, 2009).

Debido que este método necesita datos completos de al menos dos estaciones auxiliares, y al no contar con los requerimientos necesarios para aplicar esta metodología, se utilizó el de regresión lineal simple por ser el más accesible.

4.1.1.1. Método de Regresión Lineal

La Regresión Lineal simple permite construir modelos para representar la relación entre la variable independiente (X) representa la variable que proporciona datos para el cálculo, y la variable dependiente (Y) expresa los datos faltantes, para una mejor visualización de la relación se grafica el diagrama de dispersión, el cual permite analizar dicha intensidad entre variables, y se la cuantifica mediante el coeficiente de correlación (Fórmula 6), se lo denota con la letra r llamado también *r de Pearson* y puede tomar valores entre -1 , 0 , $+1$, en la Figura 6 se presenta los rangos de intensidad de r (Lind, Marchal, y Mason, 2004).

$$r = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{[n \sum X^2 - (\sum X)^2][n \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}} ; n = \# \text{observaciones} \quad [6]$$

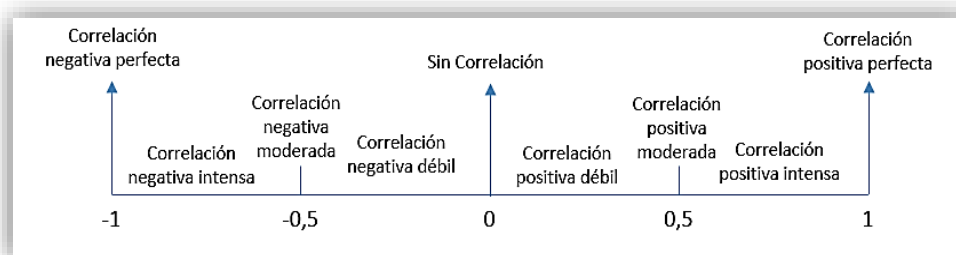
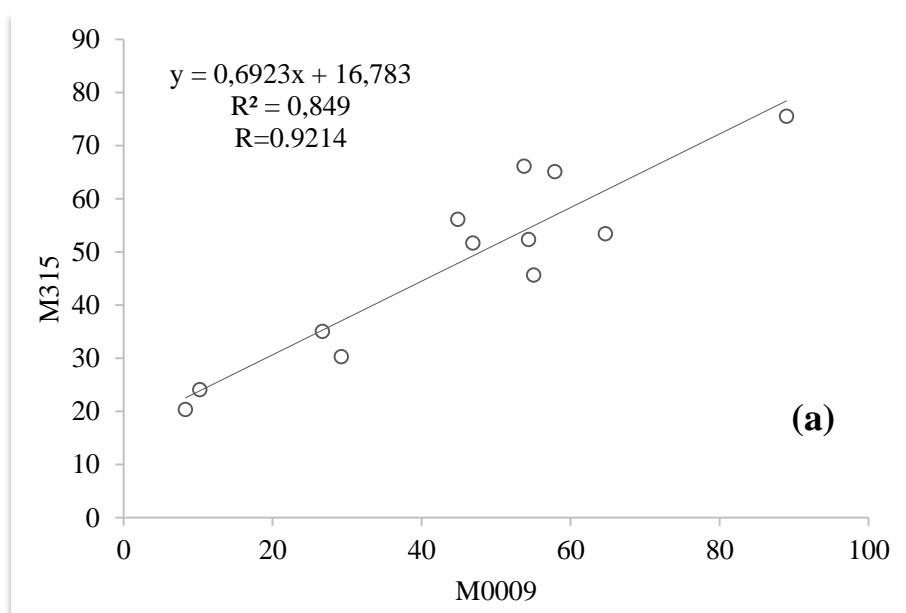


Figura 6: Intensidad del coeficiente de correlación

Fuente: Libro de Estadística para administración y Economía, 2004

Se realizó la regresión lineal entre las estaciones mencionadas anteriormente para obtener los datos de precipitación, sacando el valor promedio mensual entre los años 1979-2014. En la Figura 7 y 8 se observan los gráficos correspondientes a la cuenca del río Ambi, se observa que el valor de r es superior a 0,8 es decir que los datos poseen una correlación positiva de intensa a perfecta. Por lo tanto se procedió a llenar los datos mediante la ecuación presentada en cada gráfica para cada estación.



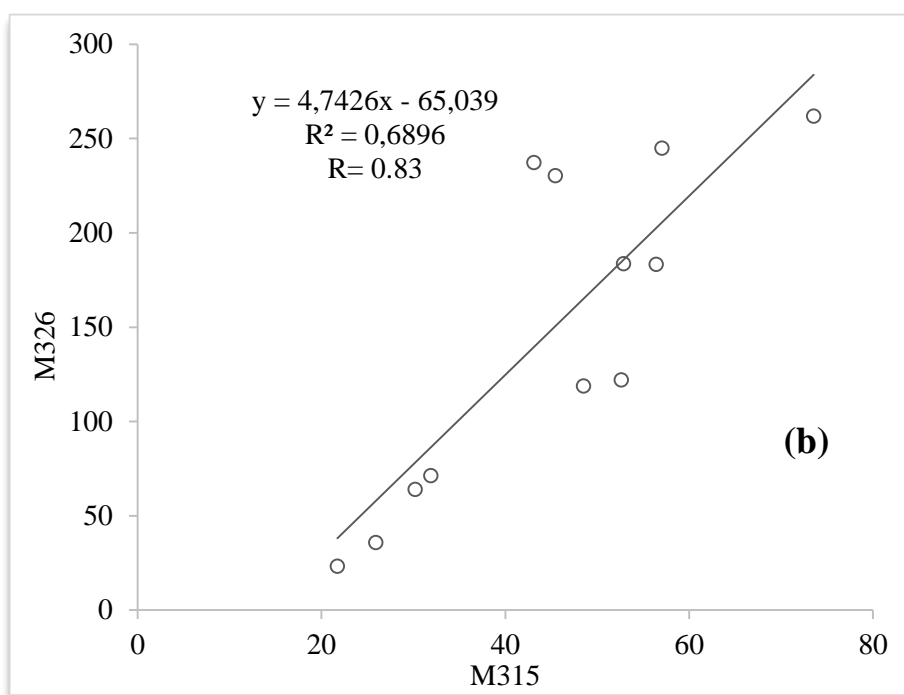
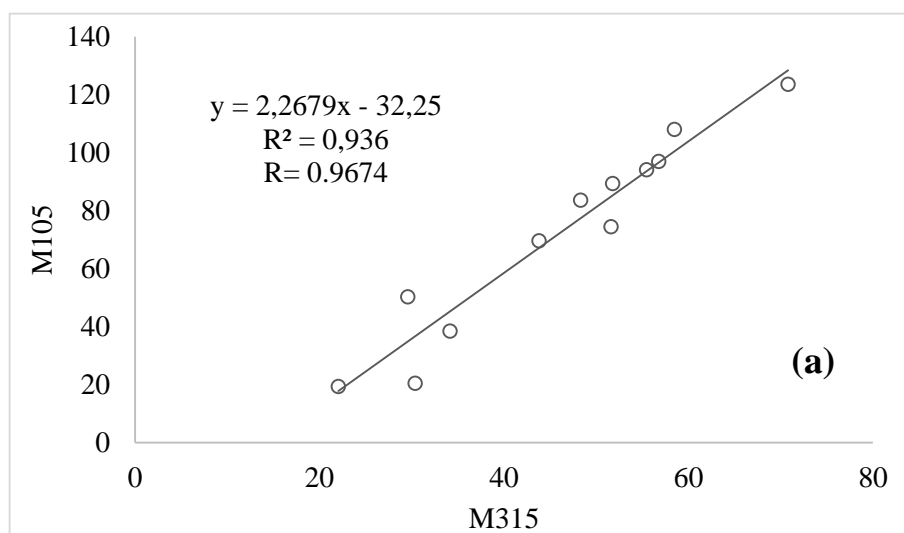


Figura 7: Regresión Lineal Simple para relleno de Datos de Precipitación de las Estaciones, a) M315, b) M326



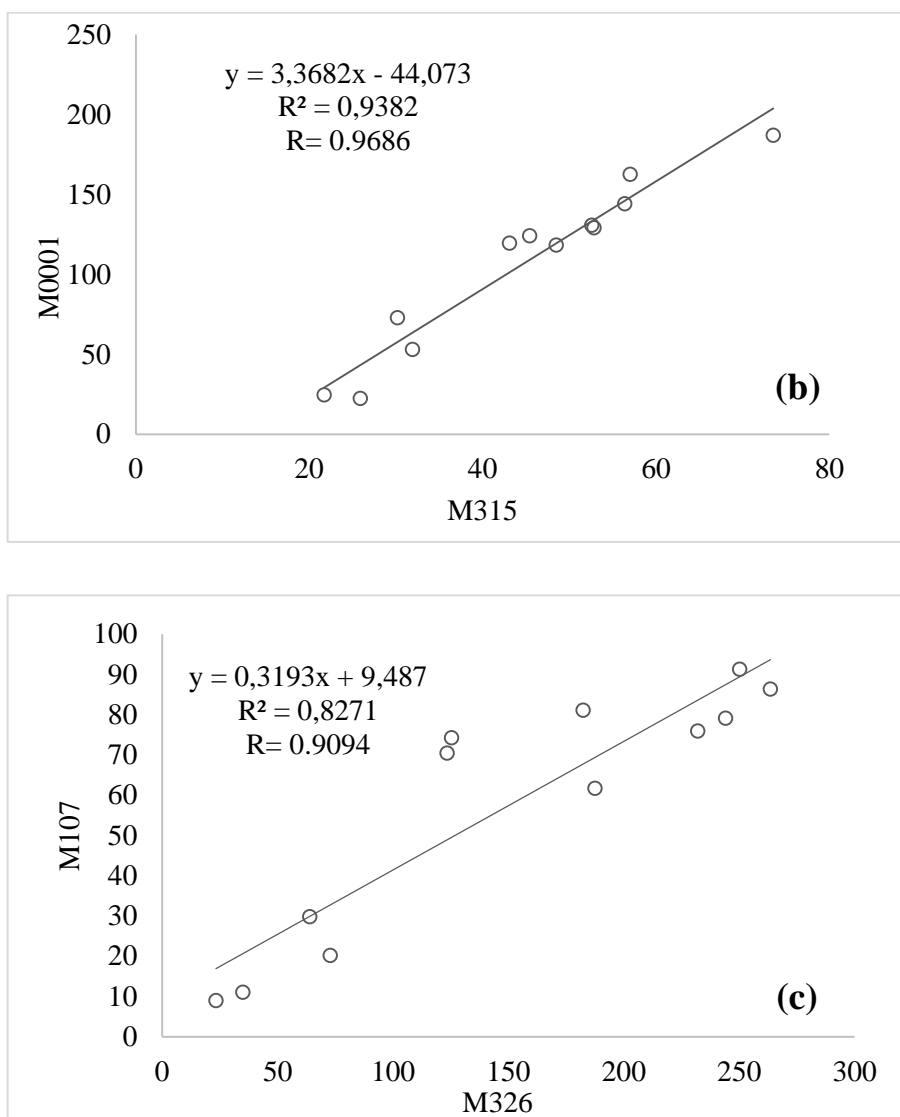


Figura 8: Regresión Lineal Simple para relleno de Datos de Precipitación de las Estaciones c) M 105, d) M0001, e) M107

Ejemplo del Relleno de datos:

Para el relleno de datos se utilizó la estación auxiliar que mantiene datos constantes y su correlación con la estación con datos faltantes sea mayor a 0,9. Se utilizó la ecuación de la gráfica 8a.

El mes faltante es el mes de Febrero aplicando la ecuación: $y = 3,3682x - 44,073$, se reemplaza el valor en x del mes de Febrero de la Estación M0315; $y = 3,3682(37) - 44,073 = 80,3$

Años Ene Feb Mar Abr May Jun Jul Ago Sep Oct Nov Dic

Estación M0001

1994 347,9 614,1 139 124,7 19,8 7,6 6,3 15 74,9 277,3 101,5

Estación M015

1994 76,1 37 98,8 123,8 49,2 20,6 38,3 65,5 12,7 66,1 76,2 17,1

El mismo procedimiento se realizó para el relleno de datos de temperatura y evaporación; obteniendo un r mayor a 0,9; En el Anexo 4 se presentan las tablas de los Datos Meteorológicos de las Estaciones mencionadas anteriormente.

Al tener datos completos no significa que sean homogéneos entre sí, es por ello que es necesario validar la información para controlar la calidad y consistencia de los datos obtenidos, para ello se utilizaron dos métodos estadísticos: Prueba de rachas y Curva de doble masa, son métodos que miden la aleatoriedad y homogeneidad de los datos.

4.1.1.2. Prueba de Rachas y Curva de doble Masa Acumulada

La Prueba de rachas contrasta la aleatoriedad de los datos, permite confirmar si la muestra se ha extraído de forma aleatoria, siendo una racha una secuencia de observaciones similares (NS), es decir, signos iguales. El valor mensual de precipitación se compara con la mediana (Tabla 11, a), si existen valores sobre la mediana se lo denota con el signo NA (+), y valores por debajo de la mediana con el signo NB (-), (Tabla 11, b). El estadístico de prueba es la distribución normal utilizando como hipótesis nula: La muestra sea aleatoria, se rechaza la aleatoriedad si el número de rachas es muy alto o muy bajo (Mongay, C., 2005). Siguiendo la distribución normal los valores de NA se encuentran entre el 10% y 90 % (Tabla 11, c)(Caballero, 2013).

Tabla 11

Prueba de rachas para el relleno de datos de Precipitación de la Estación M0001-INGUINCHO, a) Estación con relleno de datos, b) Prueba de rachas c) Distribución normal para el número de rachas .

M001 (a)													
Años	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Mediana
1977	0	177.92	30.30	138.12	11.94	61	1.9	44.1	120.9	179.8	96.2	165.9	78.6
1994	347.9	80.3	614.1	139	124.7	19.8	7.6	6.3	15	74.9	277.3	101.5	90.9
2014	173.7	88.3	133.36	123.84	503.07	142.2	1.05	21.8	103.0	138.8	78.9	199	128.6

M0001 (b)															
Años	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	NA	NS	
1977	-	+	-	+	-	-	-	-	+	+	+	+	6	6	
1994	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	6	6	

Continúa



	+	-	+	+	+	-	-	-	-	-	+	+			
1994	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	6	5	
2014	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	6	9	
													TOTAL	18	20

(c)					
NA	15	16	17	18	19
P 10%	12	13	14	15	16
P 90%	19	20	21	22	23

La Curva de doble masa es utilizada para verificar la homogeneidad de los datos y comprobar que no existen anomalías en algún período, el método consiste en la relación de la precipitación acumulativa mensual entre la Estación de relleno y la Estación auxiliar (Monsalve, G., 2009), para sacar la curva de doble masa se utiliza la estación M0001 (Tabla 12, a) con datos rellenos, y la tabla 12 (b) que es la estación que se utilizó para el relleno, posteriormente se saca los valores de precipitación promedio y la precipitación acumulada (p. acumulada febrero = p. acumulada enero + p promedio de febrero). La relación se presenta en la figura 9 con una tendencia lineal la prueba se lo cuantifica mediante el coeficiente de correlación manteniendo un r cercano a 1.

Tabla 12

Precipitación acumulativa de la Estación de Relleno (a) y la Estación auxiliar (b).

M0001 (a)												
AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1977	0*	177,9 *	30,3 *	138,1 *	11,9 *	61	1,9	44,1	120,9	179,8	96,2	165,9
1994	347,9	80,3 *	614,1	139	124,7	19,8	7,6	6,3	15	74,9	277,3 *	101,5
2014	173,7	88,3	133,4 *	123,8 *	503,1 *	142,2 *	1,1 *	21,8 *	103,0 *	138,8 *	78,9 *	199,0 *
P. Prom	173,8	115,5	259,2	133,6	213,2	74,3	3,52	24,07	79,6	131,17	150,81	155,47
P. Acum	173,8	289,3	548,6	682,2	895,5	969,8	973,3	997,4	1077,09	1208,25	1359,0	1514,5

* Datos Faltantes

M315 (b)												
AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1977	3,7	65,7	22,3	54	16,9	11,5	6,5	35,4	43,7	25	30,1	41,1
1994	76,1	37	98,8	123,8	49,2	20,6	38,3	65,5	12,7	66,1	76,2	17,1
2014	66,3	41,6	52,6	49,8	161,3	55,2	13,7	19,8	43,6855	54,2	36,6	71,9
P. Prom	48,70	48,10	57,90	75,87	75,80	29,10	19,50	40,23	33,36	48,43	47,63	43,37
P.	48,70	96,80	154,70	230,57	306,37	335,47	354,97	395,20	428,56	477,00	524,63	568,00

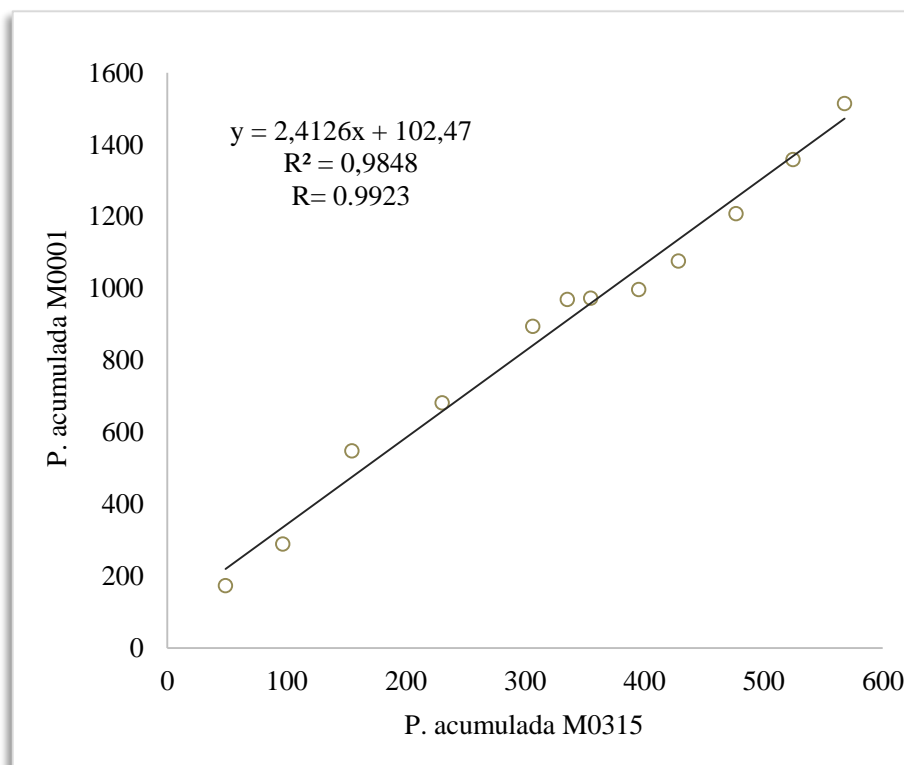


Figura 9. Comprobación de resultados mediante la Curva de doble Masa; Estación M 0001

La prueba de rachas fue satisfactoria para el relleno de las 5 estaciones meteorológicas, al igual que la curva de doble masa presentando un coeficiente de correlación mayor a 0,9; es decir que los datos son homogéneos y que no existe ninguna anomalía. Estos métodos de igual manera se los utilizó para la comprobación de datos de evaporación y Temperatura.

4.1.2. Cálculo de la Precipitación, Evaporación y Evapotranspiración media

La precipitación es una de las variables indispensables al analizar un estudio Hidrológico, constituye la principal entrada de agua a una cuenca, mientras que la evapotranspiración es la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la evaporación desde la superficie del suelo y por otra parte mediante la transpiración, fenómeno por el cual parte del agua que toman las plantas para su crecimiento la disipan hacia el ambiente, la Evaporación a su vez es el proceso en el cual el agua en estado líquido se transforma a estado gaseoso desde diferentes superficies como lagos, ríos, caminos, suelos y la vegetación mojada (Allen, Pereira, Raes, y Smith, 2006). Es por ello que determinar los valores medios

de las variables hidrológicas nos permitirá tener una visión de la cantidad de agua que entra y sale en el sistema hidrográfico del Ambi.

4.1.2.1. Precipitación

A partir de los datos de precipitación completos, validados y homogeneizados se procedió a calcular la precipitación media anual con la finalidad de determinar la cantidad de agua que ingresa al sistema hidrográfico del río Ambi. Existen tres métodos de cálculo: Aritmético, Polígonos de Thiessen e Isoyetas, en el Cuadro 4 se especifican las características y la aplicabilidad de cada método de acuerdo a Ven Te Chow (2009), Monsalve (2009) y Aparicio (2012).

Cuadro 4: Características de los métodos para el Cálculo de la precipitación media.

MÉTODO	CARACTERÍSTICAS	APLICABILIDAD
Aritmético	Igual influencia entre pluviómetros	Pluviómetros distribuidos uniformemente en la cuenca
	Menos exacto	Topografía plana
	Más simple	Variación pequeña entre las medidas pluviométricas
Polígono de Thiessen	Ponderación por ubicación de la estación en el área de la cuenca	Distribución no uniforme de pluviómetros en la cuenca
	No considera topografía	
	Mayor número de estaciones mayor exactitud	Topografía plana
	Más exacto	
Isoyetas	Considera topografía	Distribución no uniforme de pluviómetros en la cuenca
	Mayor número de estaciones mayor exactitud	Topografía plana y ondulada

Fuente: Carrera, Guevara, Morocho y Tamayo, 2016

El primer método que se utilizó fue el Aritmético utilizando las cinco estaciones que fueron analizadas en el relleno de Datos, el segundo método que se utilizó fue los polígonos de Thiessen, el cual se adapta mejor a pendientes planas, realizado en base a las mediatrices (Tabla 13). Obteniendo 788.49 mm/anales por el primer método mientras que por el segundo método se obtuvo 864.25 mm/anales, con una diferencia de 75.76 mm.

Tabla 13

Precipitación media del sistema hidrográfico del río Ambi por el método Aritmético y Polígonos de Thiessen.

Código	Método Aritmético		Polígonos de Thiessen				
	Precipitación Media (mm)	Precipitación Promedio (mm)	Precipitación (mm)	Área km ²	Área ponderada	Precipitación ponderada mm	Precipitación Promedio (mm)
M0001	1297.8	788.49	1297.8	134.2	0.15	196.7	864.25
M0105	877.9		877.95	429.2	0.48	425.6	
M0107	689.8		689.82	271.9	0.31	211.8	
M0315	553.2		553.21	14.4	0.02	8.97	
M0009	523.7		523.69	35.8	0.04	21.2	

El último método que se utilizó para calcular la precipitación media fue el de Isoyetas, el cual utiliza el área entre curvas de igual precipitación formadas a partir de la interpolación con valores de precipitación (Figura 10). Se obtuvo una precipitación media de 589.17 mm/ anuales, a diferencia de los métodos anteriores por la topografía y las características que se cumplen del método, es el que se usara para el cálculo de la evaporación y evapotranspiración media de la Cuenca.

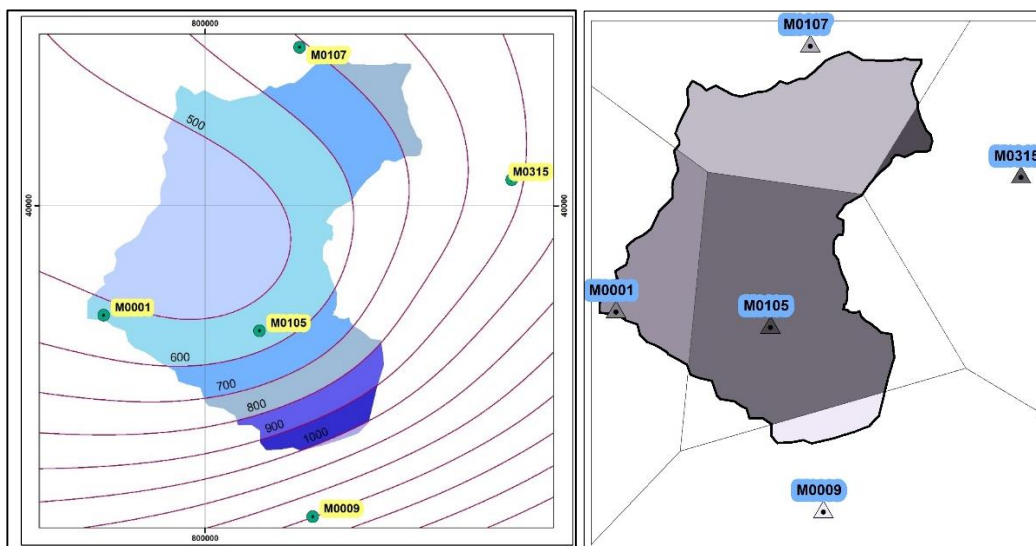


Figura 10: Método de Isoyetas y Polígonos de Thiesen-Precipitación media, Tabla 14.

Tabla 14

Cálculo de la Precipitación media por el método de Isoyetas

Isoyeta	Isoyeta prom.	Área km	Ponderador área	Precipitación ponderada
Límite-500	450	270,41	0,30548278	137,4672528
500-600	550	282,03	0,31860992	175,2354582
600-700	650	160,98	0,18185947	118,2086537
700-800	750	94,91	0,10722004	80,41503001
800-900	850	44,09	0,04980857	42,33728616
900-1000	950	29,7	0,03355216	31,87454883
1000-límite	1050	3,069	0,00346706	3,640408997
		885,189	1	589,1786387

4.1.2.2. Evaporación

Para el cálculo de la evaporación media se utilizaron los datos anuales completos, validados y homogeneizados de las Estaciones M0001, M0105 y M0107, al ser las tres estaciones únicas que registran todos los datos climáticos en la zona de la cuenca. La finalidad de determinar la cantidad de agua que se pierde hacia la atmósfera a través de las superficies líquidas existentes es comparar con el valor de agua que ingresa a la cuenca. Carrera *et al.* (2016) demostró que para la zona del Ambi el mejor método de cálculo para obtener la precipitación promedio fue el de isoyetas, así, la evaporación y la evapotranspiración promedio anual se calcularon con éste método.

La evaporación media que se obtuvo fue de 1247,23 mm/ anuales (Figura 11).

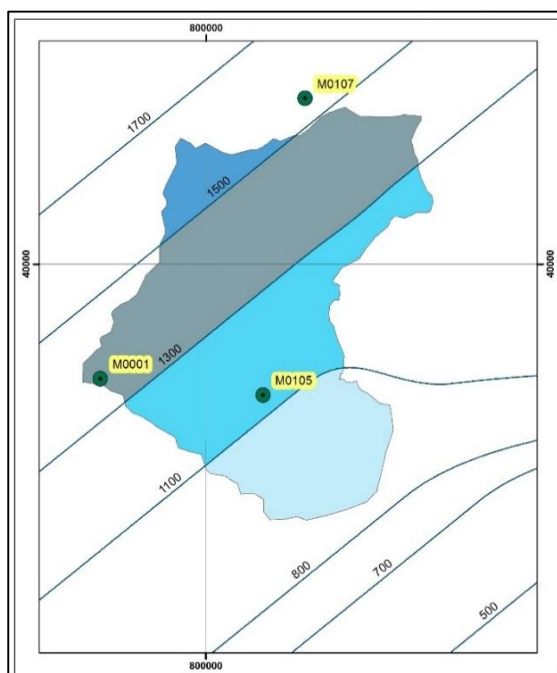


Figura 11: Método de Isoyetas-Evaporación media, Tabla 15.

Tabla 15

Cálculo de la Evaporación media por el método de Isoyetas

Isoyeta	Isoyeta prom	Área	Ponderador área	Precipitación ponderada
Limite- 1100	900	184,14	0,20801374	187,212363
1100-1300	1200	271,9	0,30715181	368,582176
1300-1500	1400	373,1	0,42147239	590,06134
1500-1700	1600	56,09	0,06336206	101,379303
		885,23	1	1247,2352

4.1.2.3. Evapotranspiración

La Evapotranspiración se la calcula a partir de diferentes métodos entre los que se destacan: Blaney-Criddle, Ture, Penman y Thornthwaite, basados en la utilización de diferentes factores climáticos (Temperatura, precipitación, radiación solar, velocidad del viento, etc.). Para el análisis se utilizó el método de Thornthwaite (Fórmula 7), por ser el más aplicado en hidrogeología, desarrollado a partir de datos de precipitación y escorrentía para diversas cuencas de drenaje obteniendo como resultado una relación empírica entre la ETP y la temperatura del aire (Montaner y Almohalla, 1988).

Fórmula de Cálculo (Aparicio, 2012):

$$ETP = 16 * K_a * (10T_j/I)^a \quad [7]$$

ETP: Evapotranspiración potencial mensual mm/día,

T_j: Temperatura media en el mes j, en °C

I: Índice de calor anual: sumatoria enero - diciembre de los valores de $i_j = (t_j/5)^{1.514}$

a: Función compleja de I igual a $675*10^{-9} I^3 - 771*10^{-7} I^2 + 1.79*10^{-4} I + 0.492$

ka: es el factor de corrección según la radiación (Tabla 16).

Tabla 16

Valores de Ka en base a la Latitud.

Latitud (φ)	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0	1,04	0,94	1,04	1,01	1,04	1,01	1,04	1,04	1,01	1,04	1,01	1,01
10	1	0,91	1,03	1,03	1,08	1,06	1,08	1,07	1,02	1,02	0,98	0,99
20	0,95	0,9	1,03	1,05	1,13	1,11	1,14	1,11	1,02	1	0,93	0,91
30	0,9	0,87	1,03	1,08	1,18	1,17	1,2	1,14	1,03	0,98	0,89	0,88
35	0,87	0,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16	1,03	0,97	0,86	0,85
40	0,84	0,83	1,03	1,11	1,24	1,25	1,27	1,18	1,04	0,96	0,83	0,81
45	0,8	0,81	1,02	1,13	1,28	1,29	1,31	1,21	1,04	0,94	0,79	0,75
50	0,74	0,78	1,02	1,15	1,33	1,36	1,37	1,25	1,06	0,92	0,76	0,7

Fuente: Aparicio, 2012

Ejemplo de cálculo para el mes de Enero de la Estación M0001:

Ka es de 1,04 para el mes de Enero por la ubicación de la cuenca que está a una latitud de 0°, T_j para la estación en el mes de Febrero es de 10,3°C (la tabla de Temperatura se encuentra en anexos). Para el cálculo de I, es una variable que se utiliza para el cálculo de todos los meses restantes se la obtiene de la siguiente manera:

$$i_{enero} = (10,3/5)^{1.514} + i_{febrero} = (10,3/5)^{1.514} + \dots + i_{diciembre} = (10,3/5)^{1.514} = 35,1.$$

Finalmente la variable “a” se la calcula remplazando el valor de I en la siguiente ecuación $675*10^{-9} (35,1)^3 - 771*10^{-7} (35,1)^2 + 1.79*10^{-4} (35,1) + 0.492 = 1,054$. Obteniendo el valor de evapotranspiración para el mes de Enero de 51,8 mm.

Para el cálculo de la evapotranspiración media se utilizaron los datos anuales completos, validados y homogeneizados de las Estaciones M0001, M0105, M0107 y M0009 de Temperatura, se obtuvo una valor de 201,9 mm/ anuales (Figura 12).

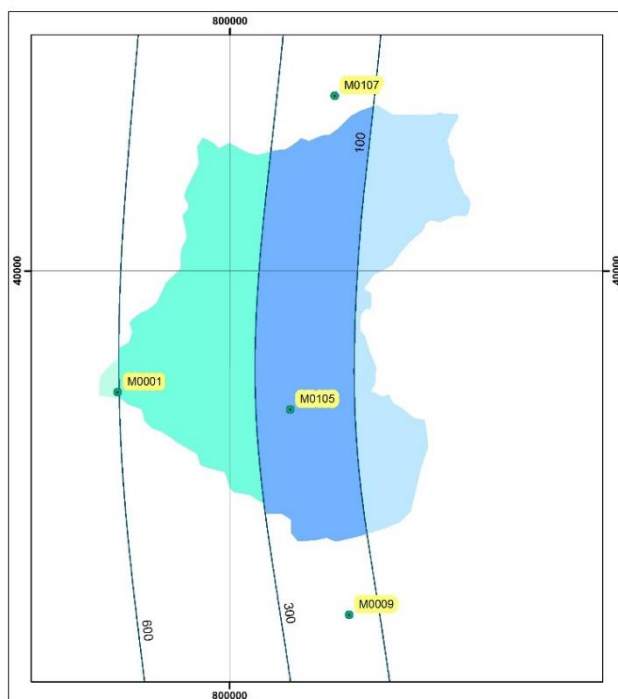


Figura 12: Método de Isoyetas-Evapotranspiración media, Tabla 17.

Tabla 17

Cálculo de la Evapotranspiración media por el método de Isoyetas

Isoyeta	Isoyeta prom.	Área	Ponderador área	Precipitación ponderada
Limite-100	50	270,41	0,37740984	18,8704921
100-300	200	282,03	0,39362782	78,7255631
300-600	450	160,98	0,22467896	101,10553
600-límite	750	3,069	0,00428339	3,2125406
		716,489	1	201,91413

4.1.3. Valores anuales y mensuales

Para el análisis de la variación de precipitación, evaporación y evapotranspiración anual y mensual se utilizaron tres de las cinco estaciones utilizadas anteriormente, se escogieron las estaciones más representativas de acuerdo a su altitud, ubicación y a la información proporcionada por las estaciones climatológicas. La primera Estación es la M0001 ubicada a los 3550 m.s.n.m; zona de la Reserva Ecológica Cotacachi-Cayapas, la segunda Estación es la M0105

ubicada en la parte céntrica de la Cuenca a 2550 m.s.n.m. La tercera estación es la M0107 ubicada a 2335 m.s.n.m, se la eligió por ser una de las estaciones climatológicas y presentar una tendencia similar a las estaciones M0315 y M0009 (Figura 13), dichas estaciones además generaron inconvenientes en cuanto a registros de temperatura y evaporación por lo que se las descartaron, así se analizó la variación anual y mensual de precipitación, evaporación y evapotranspiración a diferentes altitudes.

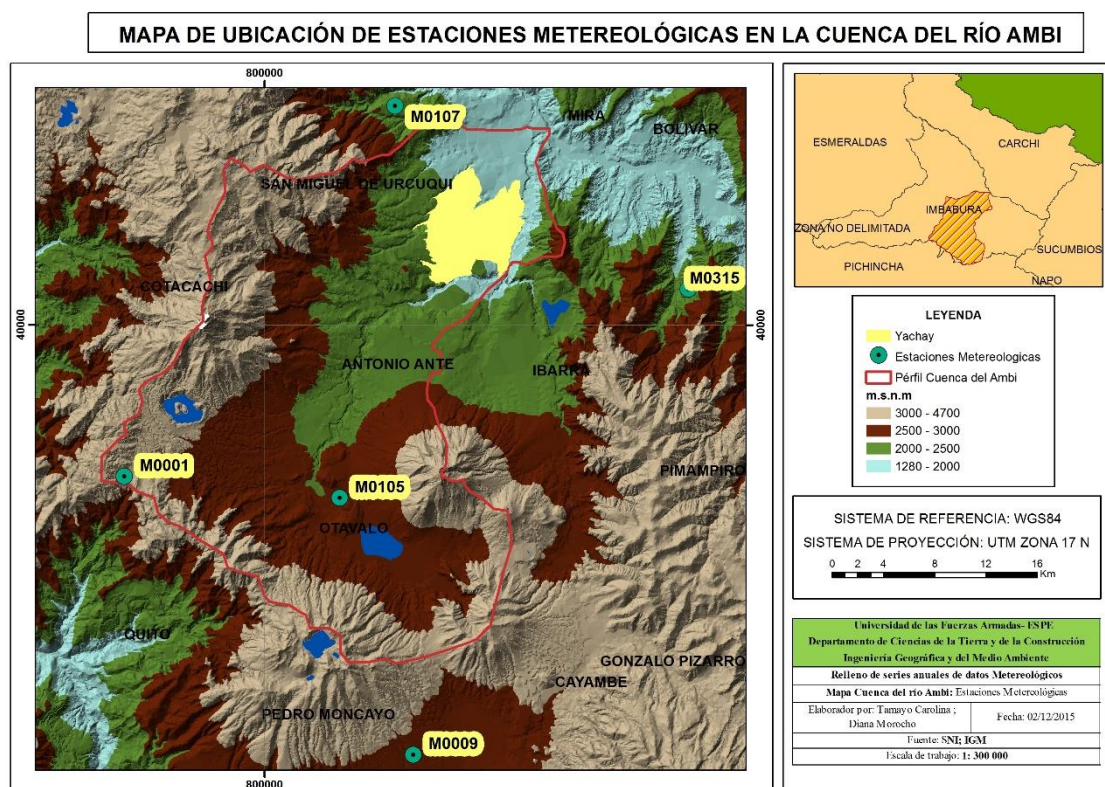


Figura 13: Ubicación de las Estaciones Meteorológicas – Río Ambi

Según los registros de precipitación la zona que registra mayor cantidad de mm es la zona Oeste de mayor altitud, en la que se encuentra la Reserva Ecológica Cotacachi-Cayapas (M0001) (Figura 14), debido a esto la Cuenca del Ambi se destaca por su topografía ya que los efluentes del río Ambi al ubicarse en la parte baja no presentan sequías notables por el abastecimiento del agua recolectada en la zona de mayor altitud. La tendencia en las zonas altas presentó mayor cantidad de lluvia en 1998, 1993, 1994 y 2007 mientras que un déficit de agua se presentó en 1987, 1992 y 2001.

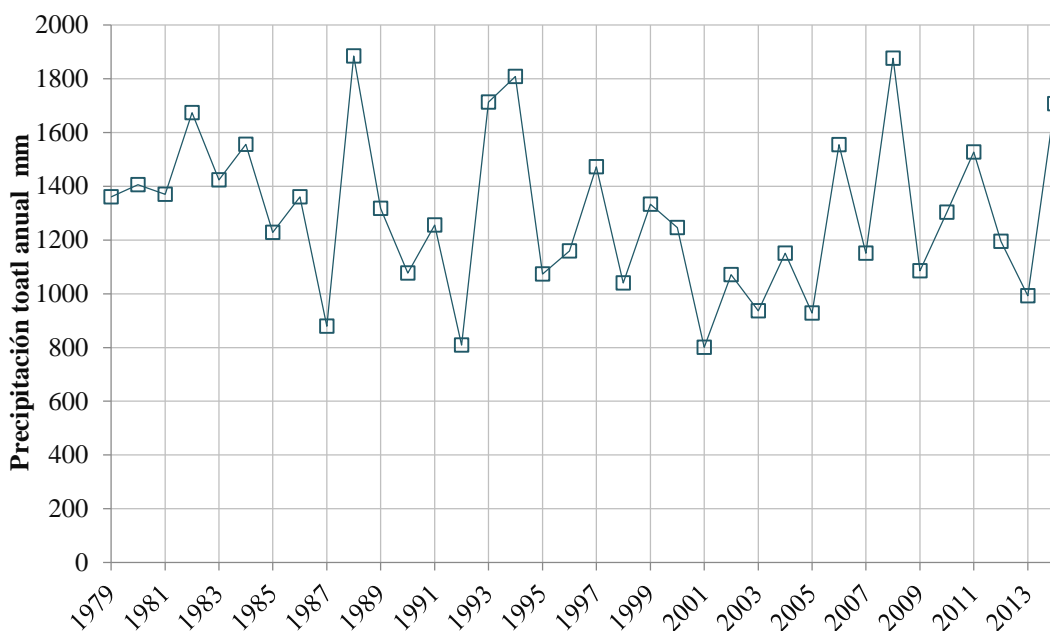


Figura 14: Gráfica de Precipitación total anual, Estaciones: M0001 (3 140 m.s.n.m)

A medida que la altitud disminuye los valores de precipitación bajan, es así que la zona que menor cantidad de lluvias presentan es la parte norte de la Cuenca conformada por los Cantones de Urcuqui, Antonio Ante, Otavalo y Cotacachi, durante el periodo de 1979-2014 los registros presentan una tendencia variada de lluvias al igual que en la zona alta pero con menor mm de lluvia (Figura 15).

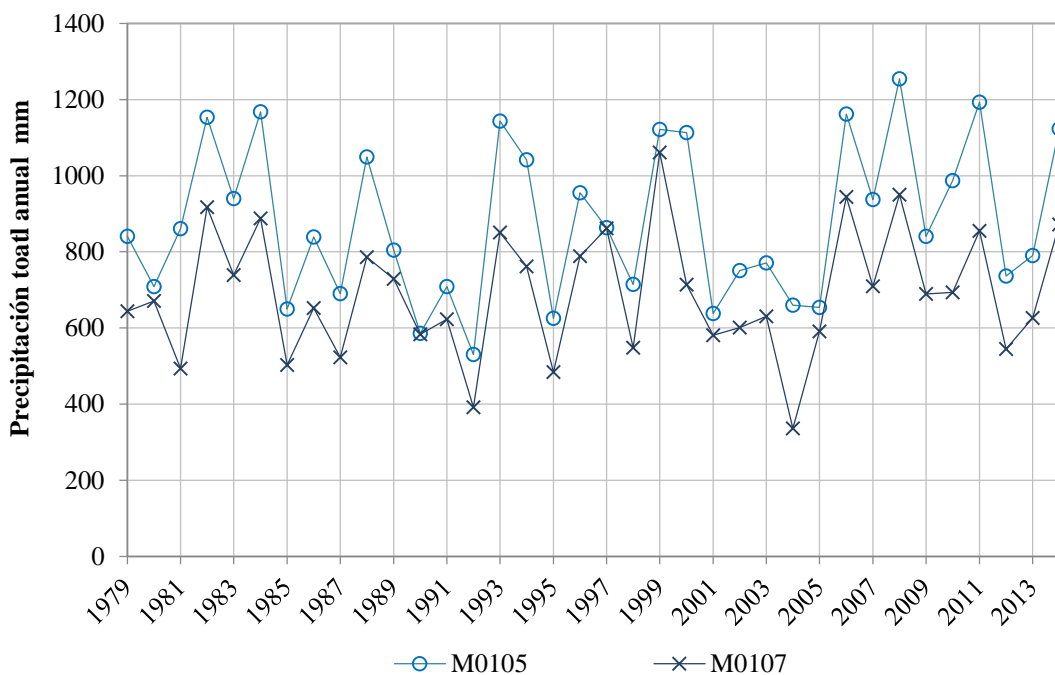
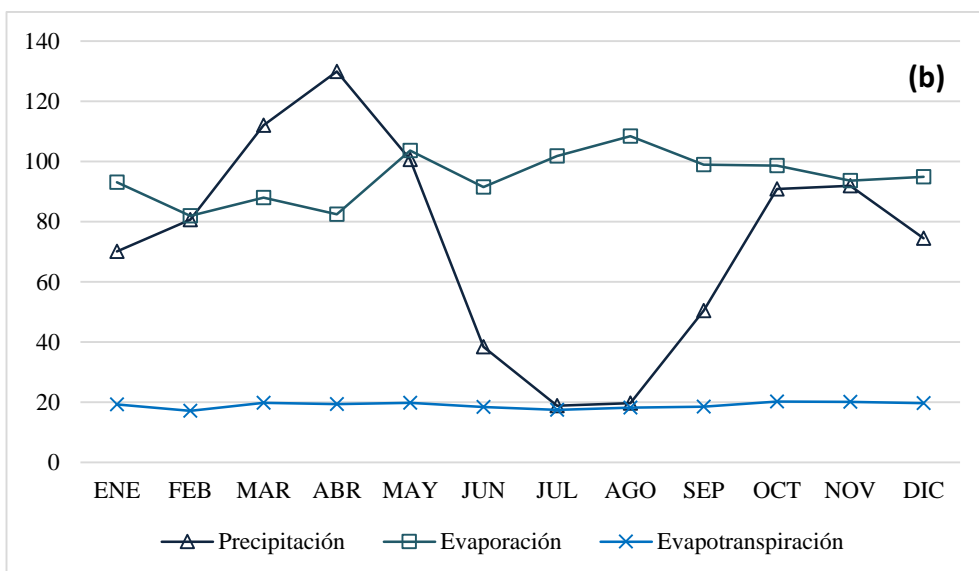
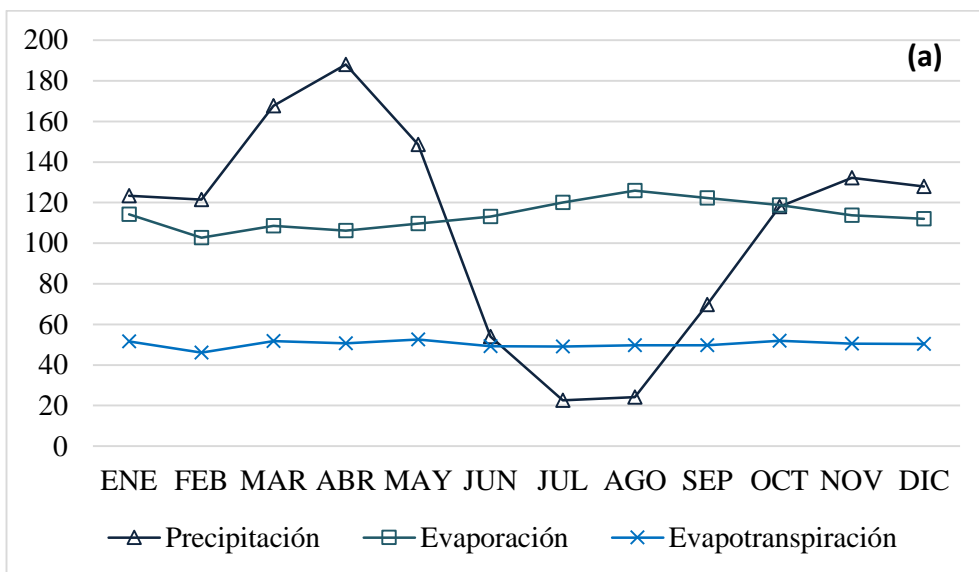


Figura 15: Gráfica de Precipitación total anual, Estaciones: M0105 (2 550 m.s.n.m), y M0107 (2 335 m.s.n.m).

Los datos promedios mensuales de precipitación, evaporación y evapotranspiración en la parte alta de la Cuenca presentan mayor registro de agua que ingresa, a excepción de los meses de Junio a Octubre en el que el agua es evaporada hacia la atmosfera presentando un déficit en dichos meses (Figura 16a). En la parte céntrica de la Cuenca, en el mes de Febrero la misma cantidad que ingreso a la cuenca salió, y en los meses de Mayo a Octubre existió mayor evaporación, en estos meses se registró cantidades de precipitación muy bajas por lo que hubo mayor pérdida de las reservas de agua (Figura 18b). En la parte norte de la Cuenca sector de Yachay presento mayor pérdida de agua que la que ingreso (Figura 16c). En cuanto a la evapotranspiración existen mayor registró en la parte alta (sur) de la Cuenca por la presencia de vegetación.



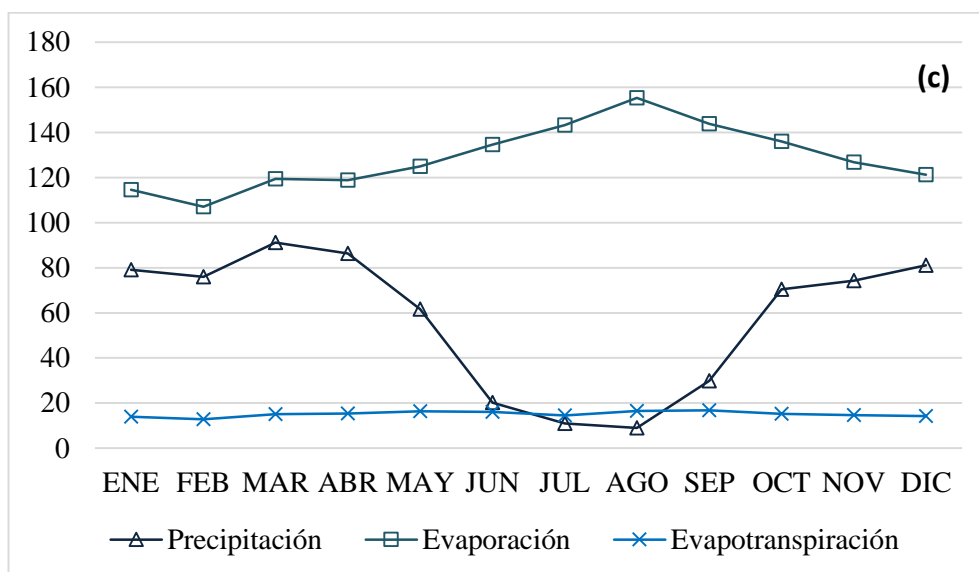
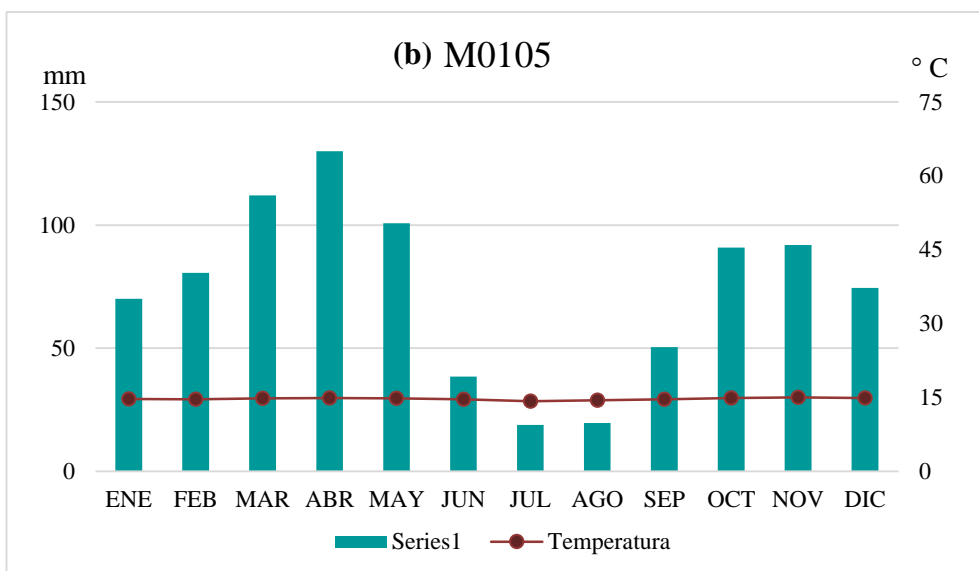
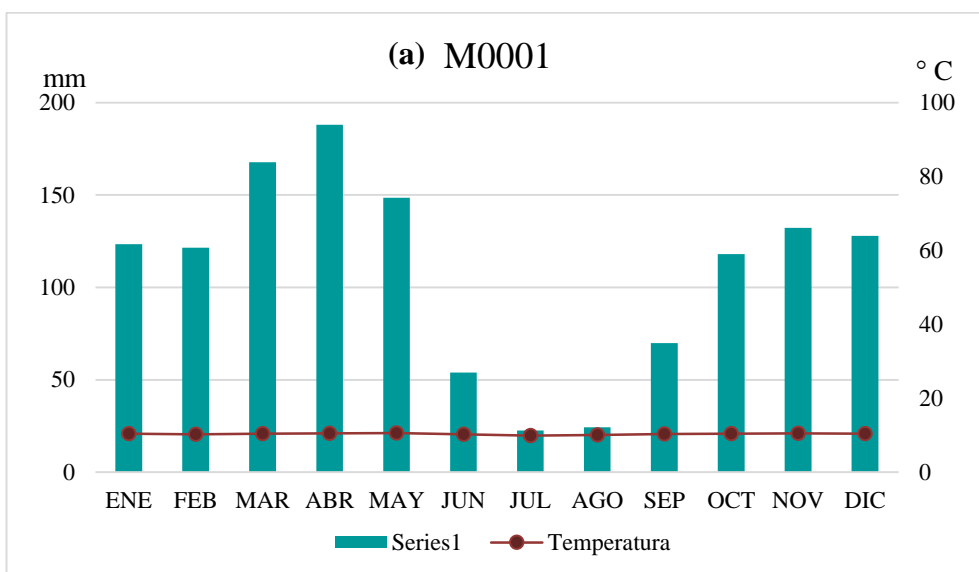


Figura 16: Precipitación, Evaporación y Evapotranspiración Estación a) M0001, b) M0105, c) M0107

La variación mensual en la Cuenca tiene un comportamiento variado, los meses de Junio a Septiembre presentan precipitaciones bajas en relación a los otros meses, sin embargo el valor de precipitación mensual tiene el mismo comportamiento de la precipitación anual, es decir que la precipitación es directamente proporcional a la Altitud. La zona de la cuenca del Ambi tienen un comportamiento variado de sequía dependiendo su altitud, en relación con la temperatura la Figura 17a los meses de Julio y Agosto se encuentran en el límite de disponibilidad de agua mientras que en la zona baja Figura 17b se presenta deficiencia del recurso, a medida que baja la altitud se presenta mayor déficit de agua, Figura 17c.

A diferencia de la región Costa y el sur del Ecuador, según el mapa de sequías presentado por el INAMHI en el 2010 Imbabura se encuentra como uno de los lugares que presenta menor vulnerabilidad a las sequías.



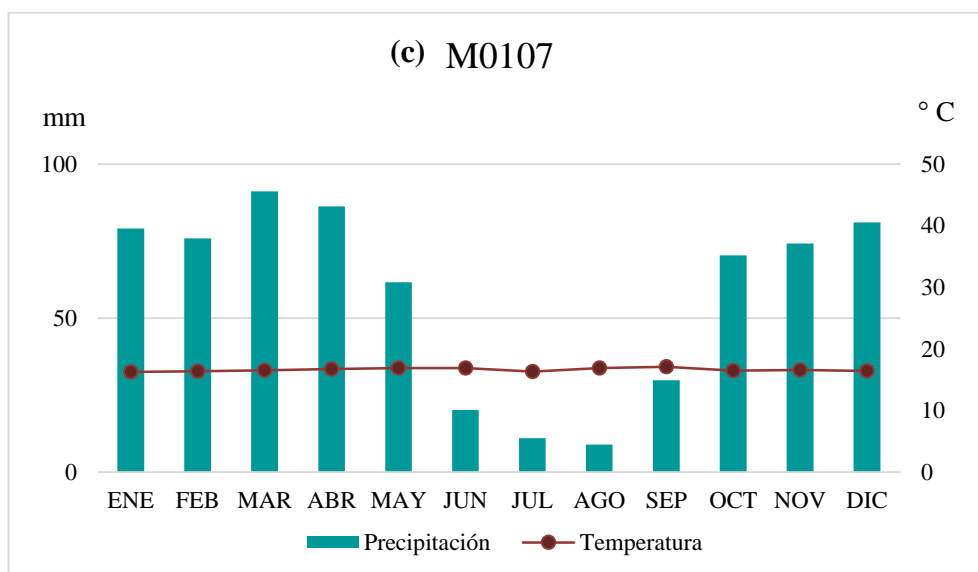


Figura 17: Diagramas Ombrotérmico Estación a) M0001, b) M0105, c) M0107

4.2. pH y concentraciones inorgánicas de las aguas

La composición química de las aguas naturales generalmente está asociada con la naturaleza química del terreno y su abundancia varía entre regiones y continentes debido a la topografía, clima, actividad biológica, etc., su presencia se encuentra como constituyentes naturales de rocas y minerales, forman parte de fertilizantes y estiércoles, de la materia orgánica proveniente de desechos urbanos, industriales y residuos agrícolas (Lavie, Bermejillo, y Morábito, 2011).

Uno de los componentes básicos de las aguas naturales son las sustancias en disolución equivalentes a la salinidad, puesto que ésta viene determinada por la concentraciones de los cationes más predominantes como el Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , y K^+ , y los aniones CO_3^{2-} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , y Cl^- , la concentración de estos iones constituye el 99% del total de la salinidad y sus proporciones aportan información sobre el origen y tipología de los materiales del sector, dado que generalmente permanecen en concentraciones constantes en el agua. Se forman por la disociación de ácidos, sales y bases (Roldán, y Ramírez, 2008).

La restricción de la cantidad de sales presentes en el agua depende de su uso, por ejemplo el agua utilizada para riego puede variar mucho en su calidad, dependiendo de la cantidad de sales disueltas presentes y en cantidades relativamente pequeñas pero significativas. Su idoneidad se determina por las condiciones que afectan la

acumulación de los componentes del agua y que pueden limitar el rendimiento del cultivo (Ayers, *et al.*, 1994).

En la Tabla 18 se presenta las concentraciones de los ocho iones de los puntos de agua en época seca (primer muestreo) y en la Tabla 20 los puntos de agua en época lluviosa (segundo muestreo).

Tabla 18

Composición iónica de las aguas del río Ambi en época Seca.

No.	pH	CE μS/cm	CE dS/m	Ca ²⁺ (meq/L)	Mg ²⁺ (meq/L)	Na ⁺ (meq/L)	K ⁺ (meq/L)	Σ Cationes meq/L	CO ₃ ²⁻ (meq/L)	HCO ₃ ⁻ (meq/L)	Cl ⁻ (meq/L)	SO ₄ ²⁻ (meq/L)	Σ Aniones meq/L	Σ Iones mg/L	SDT mg/L	% Error	P-PO4 (mg/l)	N-NO ₃ (mg/l)	B mg/L
1	7,86	890	0,89	1,36	5,07	1,97	0,34	8,74	0,00	6,86	1,57	0,06	8,49	624,17	706	1,47	0,5	0,3	0,42
2	7,16	838,5	0,839	1,09	4,67	2,05	0,42	8,22	0,00	4,51	3,49	0,17	8,17	548,4	650	0,34	2	0,3	0,12
3	7,29	1761	1,761	4,76	7,91	4,43	0,45	17,55	0,00	8,31	9,57	0,08	17,97	1160,17	1288	1,18	0,7	0,3	2,73
4	8,74	817,5	0,818	0,65	5,15	2,38	0,31	8,50	0,96	4,88	2,33	0,10	8,28	556,49	640	1,3	0,5	0,3	0,54
5	8,63	849,5	0,85	0,52	5,01	2,21	0,33	8,08	1,62	4,58	1,86	0,06	8,13	531,95	600	0,31	0,5	0,3	1,73
6	7,73	1122,5	1,123	2,55	5,90	1,91	0,29	10,65	0,00	7,91	2,31	0,08	10,31	746,21	832	1,62	0,5	0,3	2,09
7	8,15	1352	1,352	3,00	6,90	2,94	0,34	13,18	0,00	8,53	4,80	0,21	13,54	924,52	1072	1,34	0,5	0,3	4,67
8	8,37	1435	1,435	2,42	7,11	4,05	0,33	13,90	1,20	9,56	2,29	0,54	13,59	966,53	1048	1,12	0,5	0,3	1,04
9	9,15	674	0,674	0,63	4,05	1,67	0,27	6,63	0,78	3,34	2,16	0,04	6,33	416,71	540	2,3	0,5	0,3	0,15
10	8,51	560	0,56	0,94	3,05	1,80	0,09	5,87	0,56	4,62	0,42	0,04	5,65	416,36	450	1,96	0,5	0,3	0,14
11	7,95	1117,5	1,118	2,19	6,01	2,80	0,29	11,30	0,00	7,05	4,00	0,13	11,17	770,14	876	0,56	0,5	0,3	2,55
12	9,21	646	0,646	0,38	4,15	1,74	0,27	6,54	0,48	1,76	3,89	0,10	6,23	372,83	520	2,42	0,5	0,3	0,18
13	8,57	576	0,576	0,70	3,39	1,57	0,16	5,81	0,72	4,01	0,88	0,04	5,65	396,26	400	1,4	1,2	0,3	0,13
14	7,68	868	0,868	1,44	4,68	1,88	0,17	8,16	0,00	5,77	2,01	0,08	7,87	562,64	700	1,87	0,6	0,3	0,75
15	7,68	452	0,452	0,45	1,59	1,80	0,10	3,94	0,00	3,70	0,27	0,04	4,01	310,68	360	0,89	0,5	0,3	0,14

Continúa →

No.	pH	CE μS/cm	CE dS/m	Ca ²⁺ (meq/L)	Mg ²⁺ (meq/L)	Na ⁺ (meq/L)	K ⁺ (meq/L)	Σ Cationes meq/L	CO ₃ ²⁻ (meq/L)	HCO ₃ ⁻ (meq/L)	Cl ⁻ (meq/L)	SO ₄ ²⁻ (meq/L)	Σ Aniones meq/L	Σ Iones mg/L	SDT mg/L	% Error	P-PO4 (mg/l)	N-NO ₃ (mg/l)	B mg /L
16	7,44	635	0,635	0,57	3,85	1,75	0,16	6,33	0,00	4,76	1,35	0,08	6,19	446,8	486	1,13	0,5	0,3	0,14
17	8,45	864	0,864	0,66	5,16	2,28	0,24	8,34	1,42	4,62	2,16	0,08	8,29	542,64	700	0,36	0,5	0,3	1,37
18	8,46	853,5	0,854	0,74	5,10	2,08	0,24	8,16	0,90	5,06	1,98	0,10	8,04	544,53	690	0,74	0,5	0,3	1,19
19	8,06	1977	1,977	5,43	8,15	5,19	0,96	19,73	0,00	7,61	10,95	1,00	19,56	1264,11	1581	0,42	0,5	0,3	2,14
20	8,12	1288	1,288	2,10	6,62	2,48	0,33	11,52	0,00	7,59	3,41	0,15	11,14	782,56	970	1,68	0,5	0,3	4,08
21	8,18	1240,5	1,241	2,14	6,29	3,68	0,31	12,42	0,00	8,56	3,81	0,46	12,82	894,63	950	1,59	0,5	0,3	0,19
22	8,26	1164,5	1,165	2,07	6,27	2,52	0,44	11,31	0,10	3,50	8,12	0,04	11,77	698,87	795	2	0,5	0,3	2,27
23	8,41	1790	1,79	3,78	8,36	4,87	0,60	17,60	0,68	4,92	11,67	0,27	17,54	1058,97	1143	0,18	0,6	0,3	2,65
24	8,26	3180	3,18	1,24	4,86	1,91	0,35	8,36	0,07	3,77	24,29	0,13	28,26	1239,3	1741	---	0,5	0,3	5,72
25	8,49	4805	4,805	0,40	4,71	1,81	0,47	7,40	1,68	3,68	40,96	0,15	46,47	1857,1	2337	---	0,5	0,3	4,08
Min	7,16	452	0,45	0,38	1,59	1,57	0,09	3,94	0,00	1,76	0,27	0,04	4,01	310,68	360	0,18	0,50	0,30	0,12
Máx.	9,21	4805	4,81	5,43	8,36	5,19	0,96	19,7	1,68	9,56	40,96	1,00	46,4	1857,1	2337	2,42	2,00	0,30	5,72
Prom	8,19	1270,2	1,27	1,69	5,36	2,55	0,33	9,9	0,45	5,58	6,02	0,17	12,2	745,34	883	1,23	0,60	0,30	1,65

Tabla 19

Composición iónica de las aguas del río Ambi en época lluviosa.

No.	pH	CE μS/cm	CE dS/m	Ca ²⁺ (meq/L)	Mg ²⁺ (meq/L)	Na ⁺ (meq/L)	K ⁺ (meq/L)	Σ Cationes meq/L	CO ₃ ²⁻ (meq/L)	HCO ₃ ⁻ (meq/L)	Cl ⁻ (meq/L)	SO ₄ ²⁻ (meq/L)	Σ Aniones meq/L	Σ Iones mg/L	SDT mg/L	% Error	P-PO ₄ (mg/l)	N-NO ₃ (mg/l)	B mg/L
1	7,62	806,7	0,807	2,80	4,70	0,93	0,04	8,47	0,00	7,04	1,40	0,35	8,80	632,1	690	1,9	26,9	1,1	0,97
2	7,6	962,1	0,962	3,54	3,68	2,23	0,08	9,53	0,00	8,28	1,06	0,38	9,72	730,53	840	0,97	23,2	3,9	1,21
3	7,56	1032,4	1,032	3,56	4,37	2,33	0,03	10,29	0,00	8,70	1,40	0,38	10,48	777,4	800	0,88	13,7	3,3	0,63
4	8,4	1562	1,562	4,31	3,80	7,98	0,16	16,25	0,62	10,78	3,62	1,12	16,13	1179,28	1250	0,37	8,5	0,9	0,50
5	8,93	838,9	0,839	2,20	1,13	4,61	0,10	8,04	2,15	2,43	2,44	1,21	8,22	523,92	600	1,06	2,8	1,1	1,10
6	8,2	220,3	0,22	1,22	0,09	0,10	0,88	2,29	0,00	1,65	0,51	0,04	2,20	183,02	200	1,88	14,9	2,2	0,45
7	8,44	180,7	0,181	1,73	0,06	0,01	0,04	1,84	0,12	0,92	0,46	0,35	1,86	130,32	160	0,37	3,2	29,3	0,55
8	8,32	682,8	0,683	2,25	1,45	2,85	0,03	6,59	1,38	1,94	2,40	0,75	6,46	409,49	560	0,98	2,5	0,8	0,01
9	8,41	1543,3	1,543	2,30	1,50	11,08	0,20	15,08	0,88	11,04	1,82	1,35	15,10	1155,04	1280	0,07	5,7	1,5	0,81
10	7,82	746,7	0,747	2,50	1,80	3,13	0,11	7,54	0,00	3,50	4,05	0,02	7,57	505,57	600	0,19	3,3	0,2	0,50
11	8,48	273,7	0,274	1,00	0,67	0,55	0,13	2,34	0,90	0,10	1,00	0,31	2,29	128,33	250	1,06	4,2	0,5	0,37
Min	7,56	180,7	0,181	1	0,06	0,01	0,03	1,84	0	0,1	0,46	0,02	1,86	128,33	160	0,07	2,5	0,2	0,01
Máx.	8,93	1562	1,562	4,31	4,7	11,08	0,88	16,25	2,15	11,04	4,05	1,35	16,13	1179,28	1280	1,9	26,9	29,3	1,21
Prom	8,16	804,51	0,80	2,49	2,11	3,25	0,16	8,02	0,55	5,13	1,83	0,57	8,08	577,73	657,27	0,88	9,90	4,07	0,65

El pH del agua de riego fluctúa entre los 6 y 8.5 según Ayers y Westcot. En época seca (Figura 18) se encuentra sobre los 7.16 como valor más alto 9.21, posiblemente en los puntos 4, 5, 9 y 12 pertenecientes a la Cuenca del río Ambi, atraviesen suelos calcáreos o roca tipo calcita (Carrera *et al.*, 2015). Mientras que en época lluviosa (Figura 19) los valores de pH se encuentran en el rango establecido, el punto 5 en época seca y el punto 9 en época lluviosa mantienen un rango de pH alto.

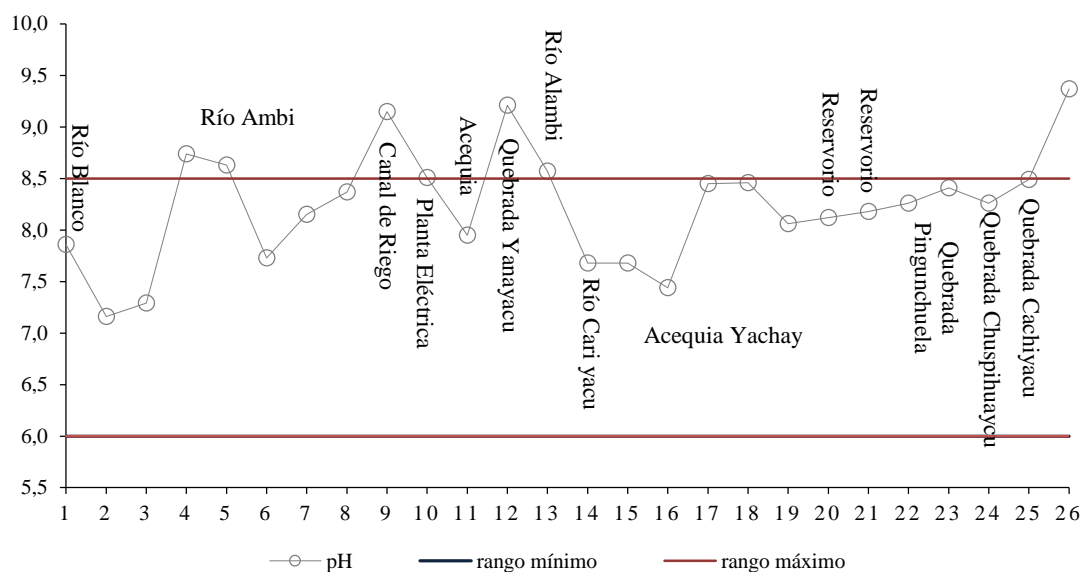


Figura 18: Rangos de pH- (época seca), Rangos según Ayers y Westcot (1994)

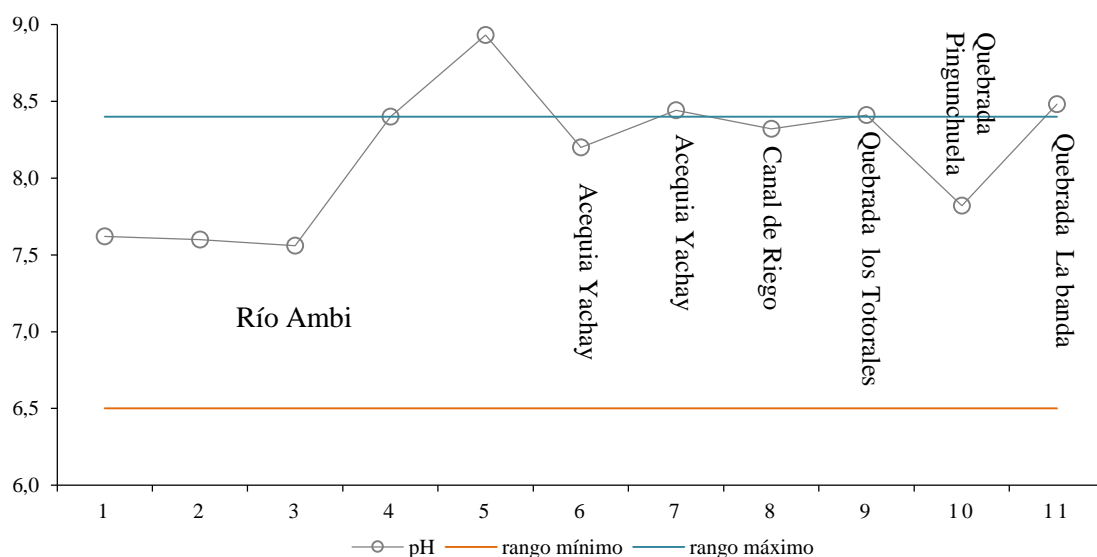


Figura 19: Rangos de pH- (época lluviosa), Rangos según Ayers y Westcot (1994)

4.3. Concentraciones inorgánicas de los suelos

El suelo está constituido por las rocas situadas en la superficie terrestre, en su mayoría son las rocas ígneas y sedimentarias que con el tiempo, y a través de un conjunto de procesos químicos como la meteorización o intemperismo son desintegradas y alteradas por acción de diversos agentes de naturaleza física, química y biológica. Entre los agentes químicos que intervienen en estos procesos son principalmente el agua, que provoca reacciones de disolución, hidrólisis e hidratación en los minerales integrantes de las rocas; el dióxido de carbono que participa en la carbonatación; y el oxígeno en las de óxido-reducción. A ellos hay que añadir, en menor cuantía, la secreción de sustancias ácidas por parte de algunos organismos vivos (raíces de plantas y microorganismos) que facilitan notoriamente la transformación del material originario, mediante reacciones de intercambio iónico (Navarro, y Navarro, 2008). En la mayoría de los suelos, al estudiar la fase sólida se observa un predominio de los componentes inorgánicos, que tienen su origen en los minerales que constituían la roca o material a partir del cual se ha formado. Los minerales silicatados son los que predominan en la mayoría de los suelos de zonas templadas mientras que los suelos de zonas semiáridas y áridas presentan componentes inorgánicos en algunos horizontes del suelo como los carbonatos cálcico (CaCO_3) o el yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (Porta, López, y Roquero, 2008).

Los cationes en el suelo son de vital importancia para el proceso de intercambio catiónico entre la relación suelo-agua, tanto los cationes y aniones provienen de los procesos de intemperismo de los minerales o de la mineralización de la materia orgánica, los cationes intercambiables más frecuentes son H^+ , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} y Al^{3+} , y los aniones Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , PO_4^{3-} , SiO_4^{4-} , su presencia va a influir en las características del suelo (Manahan, S., 2007).

Para el estudio de diferentes relaciones suelo-agua, 1:0,2≈0,6 (Extracto de saturación), y las relaciones con mayor dilución 1:5 y 1:10. El extracto de saturación es el más representativo de la condiciones del ambiente radical, ya que se aproxima más a la composición de la fase líquida del suelo, las relaciones 1:5 y 1:10 son las relaciones más utilizadas en ciertos países como Rusia y Australia por su facilidad de extracción (Nijensohn, L., 1998). En la Tabla 20 se presentan las concentraciones en diferentes relaciones agua-suelo de la Cuenca del río Ambi.

Tabla 20

Composición iónica de los suelos de Yachay – Diferentes extractos

No.	pH	CE μS/cm	CE dS/m	Ca ²⁺ (meq/L)	Mg ²⁺ (meq/L)	Na ⁺ (meq/L)	K ⁺ (meq/L)	Σ Cationes meq/L	CO ₃ ²⁻ (meq/L)	HCO ₃ ⁻ (meq/L)	Cl ⁻ (meq/L)	SO ₄ ²⁻ (meq/L)	Σ Aniones meq/L	Σ Iones mg/L	SDT mg/L	% Error	N-NO ₃ (mg/L)	P-PO ₄ (mg/L)	B (mg/L)
1	7,11	1059	1,1	4	4	2,11	0,43	10,54	0	1,68	7,14	1,51	10,32	631,5	621,2	1,1	6,7	9,7	1,0
2	7,28	703	0,7	3,1	4,3	0,68	0,35	8,43	0	0,6	6,59	1,19	8,38	393,6	470,5	0,3	6,6	10,3	1,0
3	6,71	780	0,8	3,6	3,2	0,46	0,5	7,77	0	1,68	5,01	1,4	8,08	470,4	488,2	2,0	6,7	8,1	1,0
4	7,57	1100	1,1	4,4	3,6	2,83	0,29	11,12	0	1,1	8,77	1,46	11,33	642,0	655,8	0,9	6,6	11,5	1,3
5	7,55	820	0,8	4,8	1,6	1,41	0,31	8,12	0	1,12	6,02	1,25	8,39	509,3	501,3	1,6	6,6	11,4	1,8
6	7,82	640	0,6	3,8	1,81	0,99	0,24	6,83	0	3	3,38	0,29	6,68	435,9	446,8	1,2	6,5	13,0	1,9
7	8,03	636	0,6	3,84	1,25	1,55	0,19	6,83	0	1,54	4,4	0,79	6,73	404,5	422,7	0,7	6,5	12,0	1,2
8	8,16	920	0,9	5,85	1,93	1,51	0,16	9,46	0	2,67	5,89	1,33	9,89	598,2	616,7	2,2	6,4	14,1	1,5
9	8,2	830	0,8	5,04	2,6	0,6	0,15	8,39	0	2,37	4,89	1,3	8,55	522,8	531,9	1,0	6,4	14,4	0,1
10	7,06	770	0,8	3,8	2,6	1,02	0,34	7,76	0	2,43	4,4	1,15	7,97	511,5	503,3	1,3	6,7	9,5	1,0
Min	6,71	636	0,6	3,1	1,25	0,46	0,15	6,83	0	0,6	3,38	0,29	6,68	393,6	422,7	0,3	6,4	8,1	0,1
Máx.	8,2	1100	1,1	5,85	4,3	2,83	0,5	11,12	0	3	8,77	1,51	11,33	642	655,8	2,2	6,7	14,4	1,9
Prom	7,54	825,8	0,82	4,22	2,68	1,31	0,29	8,52	0	1,81	5,64	1,167	8,632	511,97	525,8	1,23	6,57	11,4	1,18
1:05	1	6,92	193,7	0,2	0,49	0,81	0,45	1,96	0	1,6	0,3	0,1	2,01	140,0	151,7	1,0	1,9	5,9	0,4
	2	7,01	112	0,1	0,52	0,6	0,28	1,58	0	1,1	0,4	0,13	1,63	85,7	118,4	1,5	2,0	6,7	0,3
	3	5,95	97,5	0,1	0,2	0,32	0,19	1,02	0	0,46	0,46	0,08	1	72,5	72,5	1,0	0,0	5,7	0,5

Continúa



No.	pH	CE μS/cm	CE dS/m	Ca ²⁺ (meq/L)	Mg ²⁺ (meq/L)	Na ⁺ (meq/L)	K ⁺ (meq/L)	Σ Cationes meq/L	CO ₃ ²⁻ (meq/L)	HCO ₃ ⁻ (meq/L)	Cl ⁻ (meq/L)	SO ₄ ²⁻ (meq/L)	Σ Aniones meq/L	Σ Iones mg/L	SDT mg/L	% Error	N-NO ₃ (mg/L)	P-PO ₄ (mg/L)	B (mg/L)	
4	7,54	242	0,2	0,78	1,02	0,64	0,23	2,67	0	0,9	1,72	0,15	2,77	150,6	174,6	1,8	3,0	11,4	0,4	
5	7,35	155,7	0,2	0,7	0,34	0,4	0,11	1,55	0	0,95	0,44	0,09	1,49	107,7	109,6	2,0	2,7	9,8	0,4	
6	7,28	175	0,2	1	0,69	0,16	0,03	1,88	0	1	0,72	0,13	1,85	114,2	125,7	0,9	1,8	11,4	0,4	
7	7,84	480	0,5	3,79	0,74	0,22	0,16	4,91	0	2	2,71	0,1	4,81	257,3	319,3	1,0	2,2	18,5	0,3	
8	7,95	219	0,2	1,3	0,77	0,16	0,03	2,26	0	1,2	0,91	0,13	2,24	152,6	151,8	0,6	5,0	11,3	1,1	
9	7,25	92,6	0,1	1,32	0,72	0,3	0,02	2,36	0	0,9	1,33	0,08	2,32	70,9	148,7	0,9	3,4	6,0	0,1	
10	6,81	102,5	0,1	0,15	0,7	0,16	0,26	1,27	0	0,9	0,34	0,05	1,29	75,9	94,6	0,7	1,6	4,9	1,1	
1:10	1	6,83	144,6	0,1	0,45	0,65	0,23	1,5	0	1,15	0,34	0,06	1,55	94,2	113,9	1,5	2,1	7,5	0,5	
	2	7,4	143,7	0,1	0,45	0,57	0,16	1,32	0	0,2	1,07	0,07	1,34	97,5	78,4	0,9	2,8	8,1	0,2	
	3	5,92	90,9	0,1	0,32	0,36	0,11	0,17	0,96	0	0,15	0,78	0,06	1	69,2	59,9	1,9	3,0	8,2	0,5
	4	7,44	192,8	0,2	0,62	0,42	0,38	0,16	1,58	0	0,5	0,97	0,05	1,52	129,0	99,7	1,7	1,7	7,2	0,1
	5	7,24	119,9	0,1	0,72	0,24	0,14	0,08	1,18	0	0,43	0,75	0,05	1,22	82,4	78,5	1,6	2,8	8,1	0,3
	6	7,5	143	0,1	1,1	0,3	0,13	0,03	1,55	0	0,8	0,64	0,06	1,5	98,4	104,1	1,6	3,5	9,2	0,3
	7	7,54	300	0,3	2,49	0,24	0,14	0,14	3,01	0	1,3	1,59	0,06	2,95	96,6	200,2	0,9	1,1	7,0	0,2
	8	7,89	190,2	0,2	1,1	0,28	0,23	0,14	1,75	0	0,72	1,03	0,06	1,81	105,9	119,6	1,9	3,1	8,3	0,7
	9	7,37	61,3	0,1	0,3	0,25	0,1	0,01	0,66	0	0,2	0,4	0,06	0,66	46,5	41,0	0,6	2,6	7,0	0,2
	10	6,87	70	0,1	0,22	0,35	0,1	0,09	0,76	0	0,4	0,26	0,07	0,73	51,1	51,7	1,8	2,9	8,1	0,1

4.4. Comprobación de la exactitud de los resultados

La comprobación de los resultados de agua y suelo analizados en los Laboratorios: HAVOC y el Laboratorio Ambiental de la Universidad de las Fuerzas Armadas se los verificaron mediante los métodos que establece Richard en su libro *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*, 1954 y según los métodos establecidos en el manual “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”, siendo el último libro el que recomienda el TULSMA libro VI anexo 1.

Los métodos que proponen son aplicables específicamente a las muestras de agua para los que se realizan los análisis de pH, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos (TDS), y los principales componentes aniónicos y catiónicos que son indicadores de la calidad del agua en general.

Se realizó la relación entre aniones y cationes en meq/L, la suma debe ser aproximadamente igual debido a la disolución de los electrolitos generando iones que en presentan igual cantidad de cargas positiva (catión) y negativas (aniones), existiendo así una equivalencia de cargas, es decir que se mantiene la electro neutralidad del sistema (Simes, L., 2011). Para lo cual mediante la fórmula (8) se calcula el porcentaje de error, el cual debe estar en el rango admisible presentado en la Tabla 21.

$$\% \text{ error} = \left| \frac{\sum \text{cationes} - \sum \text{aniones}}{\sum \text{cationes} + \sum \text{aniones}} \right| * 100 \quad [8]$$

Tabla 21

Porcentaje de error aceptable de la relación Cación-Anión.

Σ anion / cation meq/ L	% error aceptable
0 – 3	0.2
3 – 10	2
10- 800	5

Fuente: Standard Methods, 1998

El promedio de porcentaje de error de las muestras de agua en época seca fue de 1,18 %, para época lluviosa de 0,89 % y para las muestras de suelo de 1,3 % (Tablas 18, 19 y 20). Richard mediante regresión lineal expresa la relación entre la CE y la suma de cationes o aniones teniendo como pendiente ideal del 10 % y una

correlación que se aproxime a 1. Las muestras de agua en época seca presentaron una pendiente de 9,8 con un coeficiente de 0,997, mientras que las muestras de agua en época lluviosa presentaron una pendiente de 10,019 y el coeficiente de 0,997 (Figura 20 y 21). Las muestras de suelo presentaron una pendiente de 10 con un coeficiente de 0,996 (Figura 22).

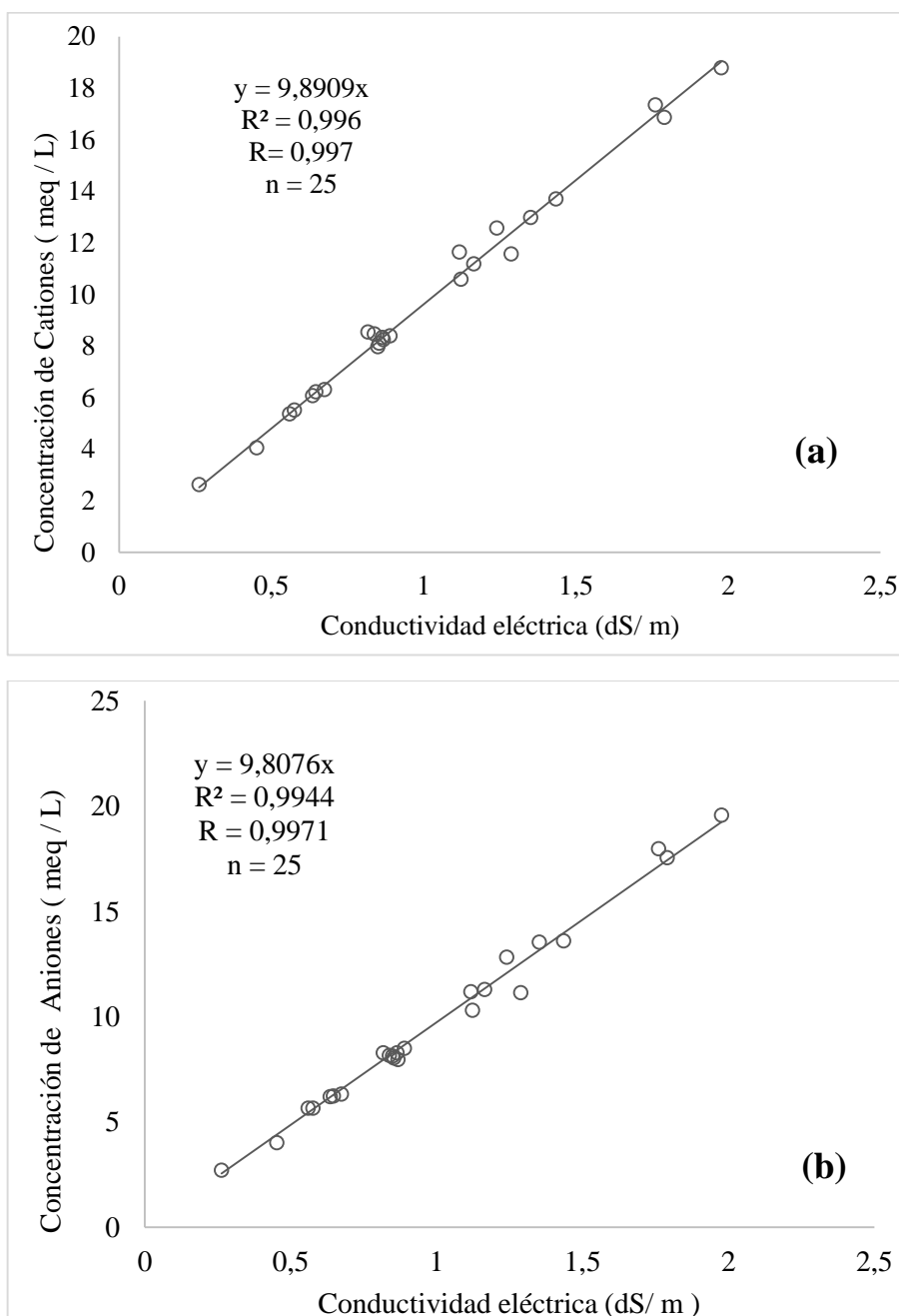


Figura 20: Primer Muestreo a) Relación funcional entre la CE y la concentración de cationes b) Relación funcional entre la CE y la concentración de aniones.

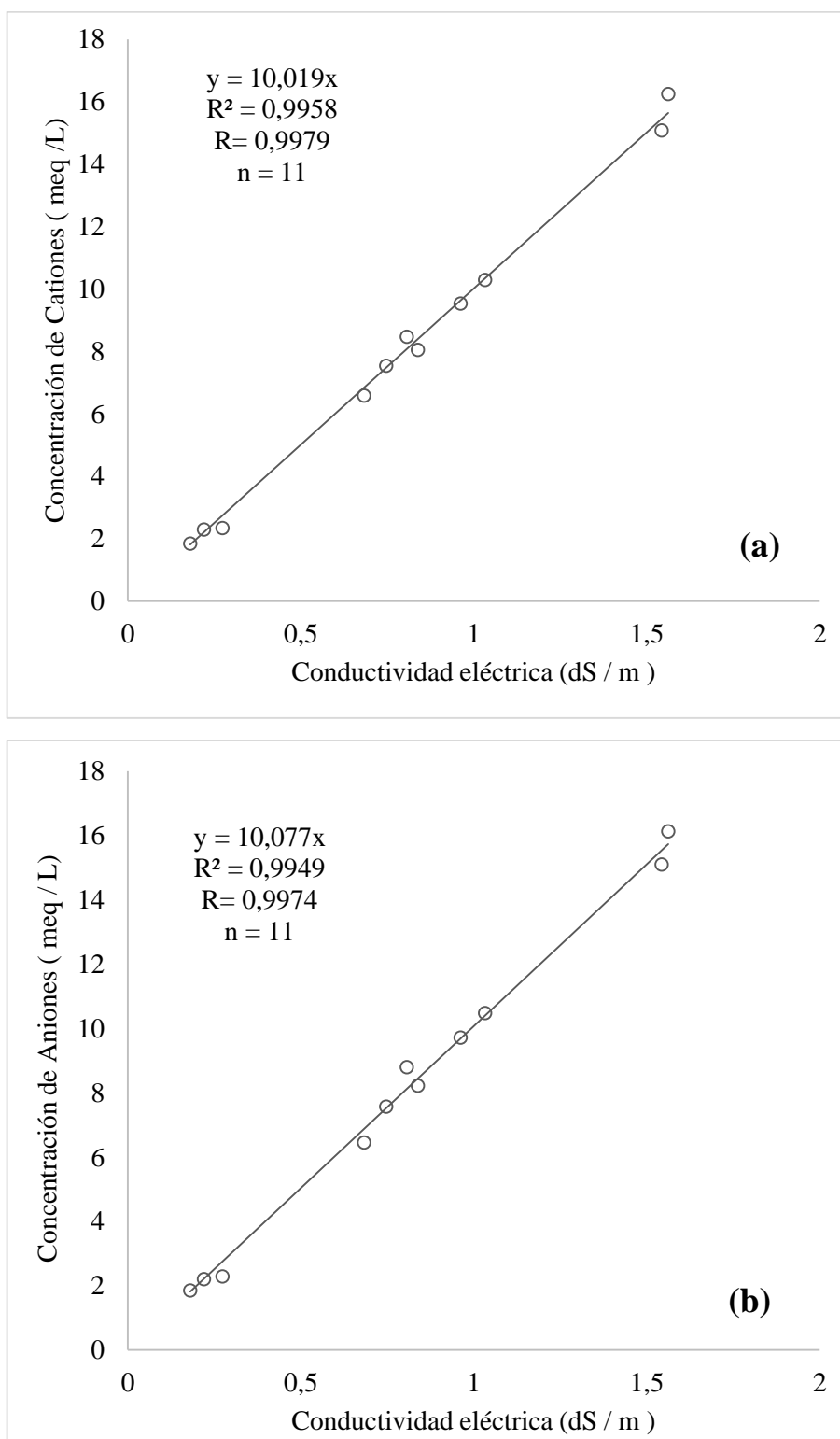


Figura 21: Segundo Muestreo a) Relación funcional entre la CE y la concentración de cationes b) Relación funcional entre la CE y la concentración de aniones

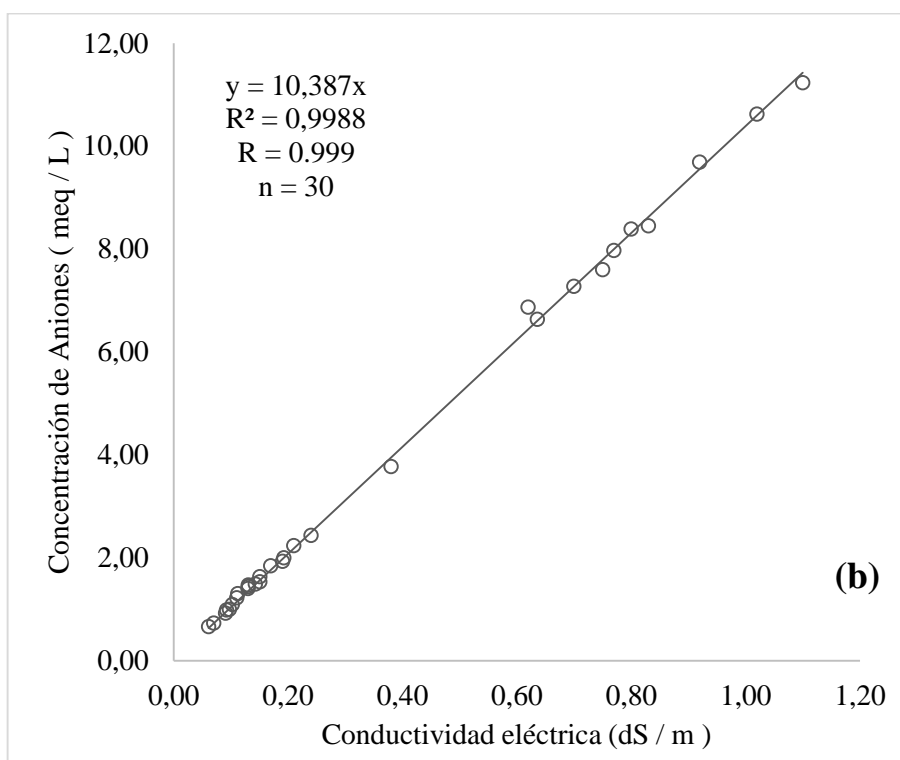
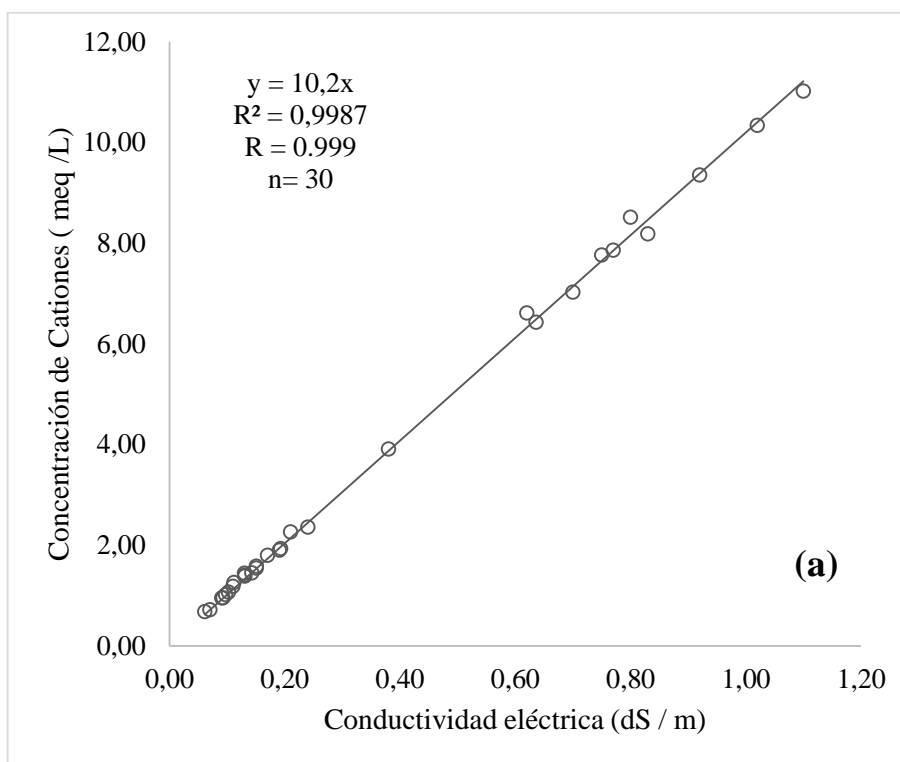


Figura 22: Perfiles de Suelo a) Relación funcional entre la CE y la concentración de Cationes b) Relación funcional entre la CE y la concentración de Aniones

La segunda comprobación se la realiza en base a la concentración de Sólidos Totales Disueltos, la concentración de SDT medidos debe ser mayor que la concentración de SDT calculados ya que un contribuyente significativo puede no estar incluido en el cálculo, esta relación debe cumplir con el rango que se obtiene mediante la fórmula (9).

$$1.0 < \frac{SDT \text{ medidos}}{SDT \text{ calculados}} < 1.2 \quad [9]$$

Los SDT calculados se obtiene de la relación entre la suma de los 8 iones en mg/L y la CE en ds/m, obteniendo la siguiente relación:

$$SDT \text{ calculados} = 640 * CE \quad [10]$$

La conductividad eléctrica refleja la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica, y está directamente relacionada con la concentración de sales disueltas en el agua (SDT). La ecuación (10) representa una recta ideal tomando como pendiente de 640 la cual puede variar entre 550 y 750, es por ello que se lo reemplaza por el valor de la gráfica de cada muestreo.

La relación de SDT para el primer muestreo varía entre 1.0 y 1.1 y del segundo muestreo de agua varía entre 1.0 y 1.2 cumpliendo con el rango permitido, en la Figura 23 se presentan las gráficas de los puntos de agua, mientras que las muestras de suelo presentan un rango entre 1.0 y 1.2 al igual que las muestras de agua cumplen con el rango recomendado y se lo presenta en la Figura 24.

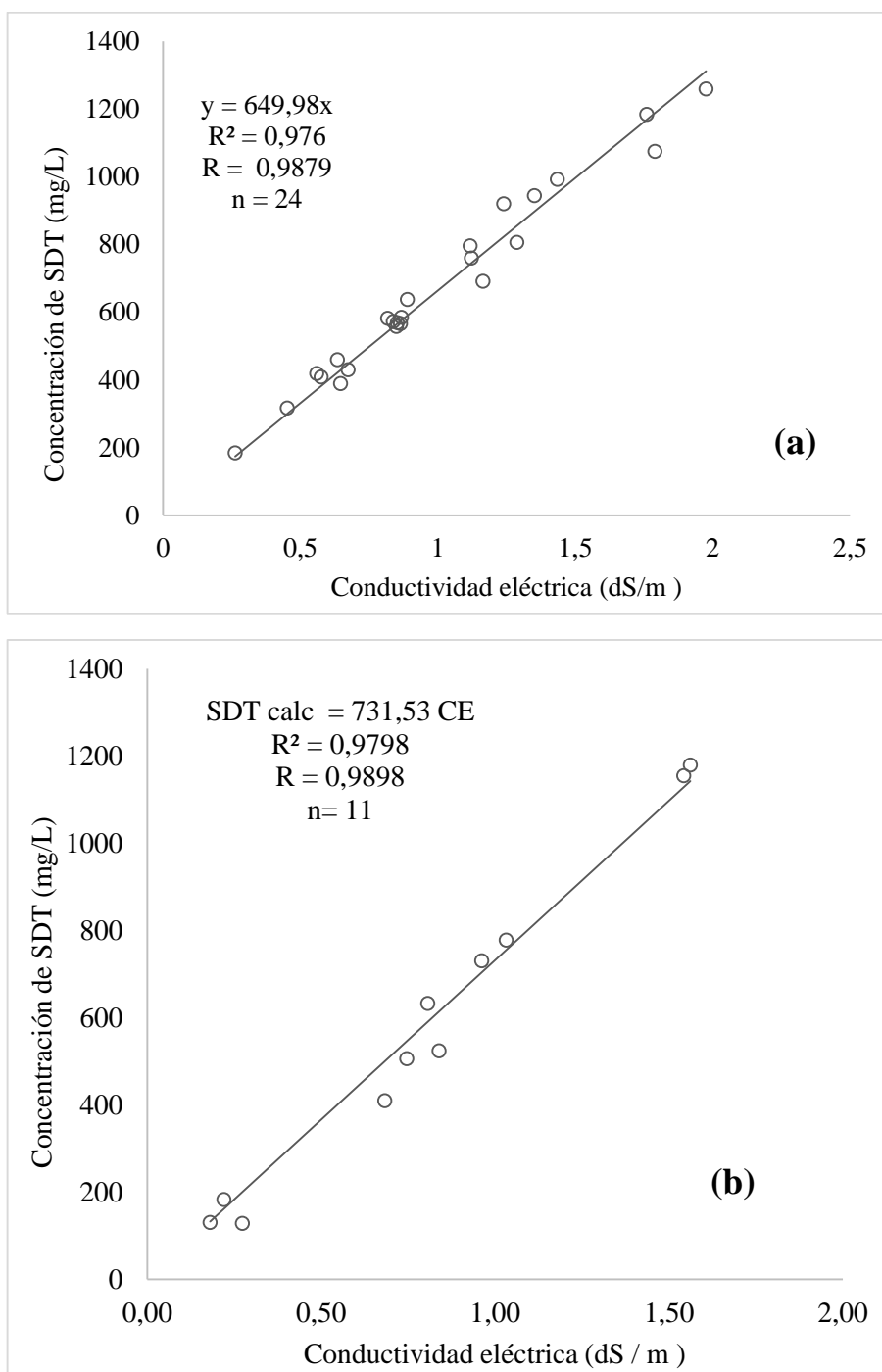


Figura 23: Relación entre la CE y la concentración de sólidos disueltos totales,
 a) Primer muestreo, b) Segundo muestreo.

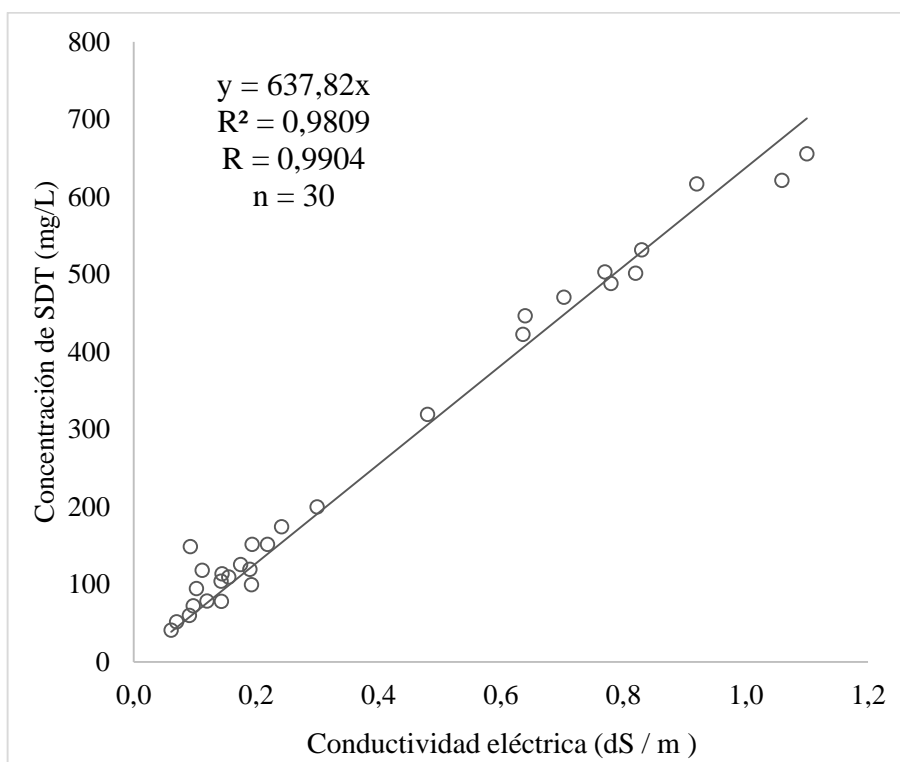


Figura 24. Relación entre la CE y la concentración de solidos disueltos - Perfiles de suelo.

La tercera comprobación se basa en la Conductividad Eléctrica medida y la calculada, mediante la fórmula (11) se determina el rango recomendado para que los datos cumplan con lo permitido.

$$0.9 < \frac{CE \text{ calculada}}{CE \text{ medida}} < 1.1 \quad [11]$$

Para obtener la Conductividad Eléctrica calculada se necesitan los factores de conductividad de los iones más comunes presentados en el Estándar Methods, Tabla 22. Las muestras de agua presentaron valores de 1.0 y 1.2 al igual que las muestras de suelo.

Tabla 22

Factores de Conductividad para los iones comunes en las aguas.

Ion	Conductividad (25°C) µmhos/cm	
	meq/L	mg/L
Bicarbonatos	43,6	0,715
Calcio	52	2,6
Carbonatos	84,6	2,82
Cloruros	75,9	2,14

Magnesio	46,6	3,82
Nitratos	71	1,15
Potasio	72	1,84
Sodio	48,9	2,13
Sulfatos	73,9	1,54

Fuente: Standard Methods, 1998

Se realiza una cuarta comprobación con la suma de los iones y la Conductividad Eléctrica, ya que esta representa la concentración de todas las sales disociadas en el agua, la suma de iones y cationes debe estar en el 1/100 de la Conductividad Eléctrica por lo tanto se utiliza la fórmula (12) para determinar los rangos propuestos en este criterio.

$$100 \times \text{anion (o cation) en } \frac{\text{meq}}{\text{L}} = (0.9- 1.1) \text{EC} \quad [12]$$

En este análisis todos los puntos tanto de aguas como de suelos cumplieron con el rango permitido. Finalmente se realizó la comprobación entre los SDT y la CE según el criterio de la formula (13)

$$\text{SDT} \frac{\text{calculados}}{\text{CE}} = 0.55- 0.7 \quad [13]$$

Se obtuvo para las muestras de agua el valor de 0.7 y para suelos 0.6, cumpliendo así con todos los criterios para la validación de datos.

4.5. Calidad de agua para Riego

Se pueden definir varios criterios para definir los niveles guía de calidad de agua para irrigación de cultivos elaborados por agencias gubernamentales y universidades de diversos países, entre ellos se encuentran: Las Normas Riverside, propuestas por U.S. Soil Salinity Laboratory, las Normas de H. Greene, es una de las menos restrictivas que existe y su calificación no ofrece muchas garantías cuando se trata de calificar muestras de agua de riego, también tenemos los estudios de Ayers y Westcot adoptados por la FAO en 1987 (Orihuela, Hernández, Pérez, y Marijuan, 2005).

En el estudio se utilizó las normas de Ayers y Westcot, para determinar la calidad de agua se evaluaron en dos grupos, el primero constan los nutrientes (N, P, K), cationes y aniones. En un segundo análisis se tiene los problemas que influyen en la calidad del agua para riego.

4.5.1. Requerimientos necesarios para evaluar la calidad de agua de Riego.

4.5.1.1. Nutrientes

Entre los nutrientes esenciales se encuentran los nitratos, es la forma termodinámica estable del nitrógeno combinado en los sistemas acuosos y terrestres oxigenados, de forma que hay una tendencia de todos los materiales nitrogenados a ser convertidos a nitratos, proceden de la disolución de los terrenos atravesados por el agua como contaminantes debido a actividades humanas provienen de contaminación orgánica o de la contaminación por abonos químicos (Pacheco, y Cabrera, (2003).

La Cuenca del río Ambi en época seca no presenta valores fuera de los 10 mg/L de nitratos, por lo tanto no representa ninguna restricción, en época lluviosa solo el punto 7 ubicada en la Hacienda San José, cerca de la planta de tratamiento que supera los 10mg/L.

Los Fosfatos en la época seca no presentan valores fuera del rango óptimo, mientras que en época lluviosa todos los puntos presentan valores fuera de los 2 mg/L (Figura 25). El potasio procede de la hidrólisis de los feldspatos, disolución de sulfatos, nitratos y cloruros, se le suele encontrar en una proporción diez veces inferior al sodio debido a que las arcillas intercambian por Na^+ (Fernández, E., 2009). Las aguas de la cuenca del río Ambi en época seca presentan valores fuera de los 2 mg/L permitidos mientras que en época lluviosa los puntos 1, 3, 7, y 8 presentan valores menores al permitido (Figura 26).

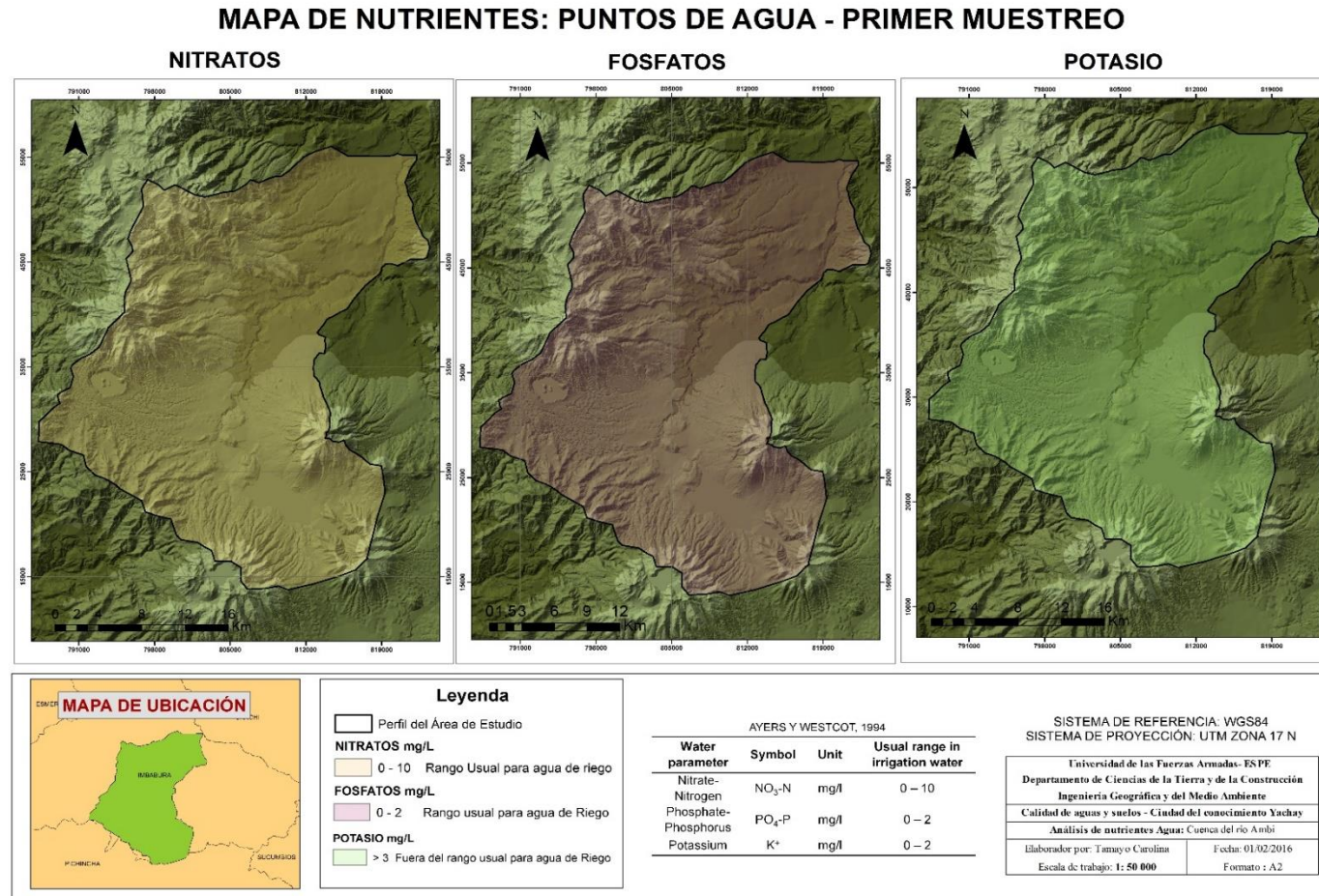


Figura 25: Mapa de nutrientes puntos de Agua – Primer muestreo

MAPA DE NUTRIENTES: PUNTOS DE AGUA - SEGUNDO MUESTREO

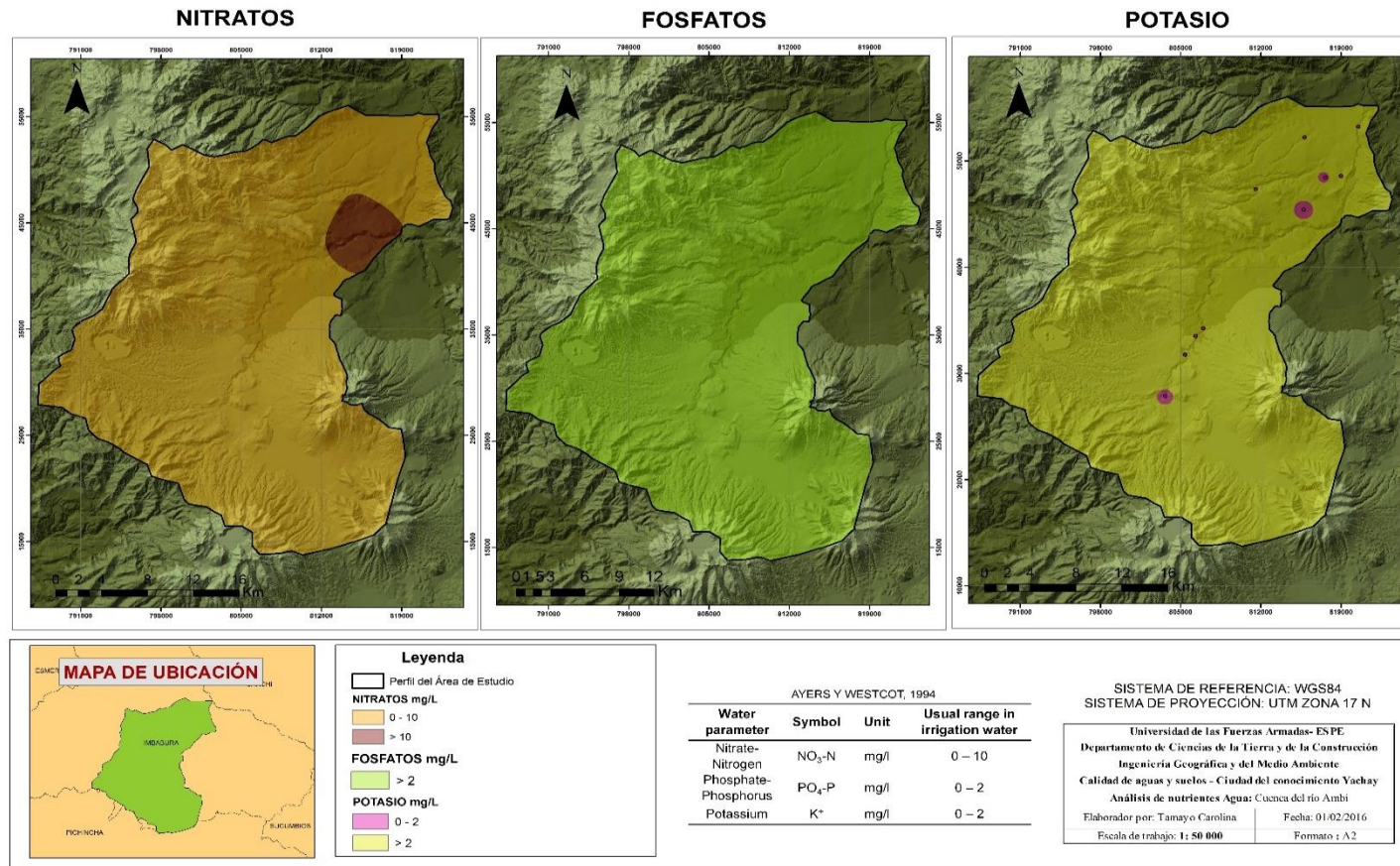


Figura 26: Mapa de nutrientes puntos de Agua – Segundo muestreo

4.5.1.2. Aniones y Cationes

El calcio proviene de la disolución de los carbonatos y sulfatos de calcio (calizas, dolomías y yesos), está vinculado con la presencia de iones de carbonatos o bicarbonatos. Precipita con facilidad en forma de CaCO_3 , incrementa la dureza del agua y produce incrustaciones en los sistemas de riego. El Magnesio procede de dolomías y silicatos, intrusión marina, intercambio catiónico, etc., por lo general se encuentran en menor proporción que el Calcio, a pH elevado precipita con facilidad en forma de hidróxido de Magnesio (Fernández, E., 2009). Los niveles de Ca^{2+} y Mg^{2+} pueden causar la precipitación del fósforo ocasionando un aumento en sales y usarla en fertirrigación no sería conveniente ya que algunas fuentes de nitrógeno, tal como nitrato de amonio u otras, cloruros de potasio, incrementan el contenido de sólidos totales disueltos en el agua de riego, produciendo daños irreversibles, principalmente a cultivos sensibles a la salinidad (Hamlet, M., 1999).

La cuenca del río Ambi en época seca los valores de Calcio se encuentran entre los 0,38 meq/L y 5,4 meq/L, mientras que en época lluviosa se encuentra entre los 1 y 4,31 meq/L encontrándose en el rango adecuado para su uso. La concentración de Magnesio en época seca varía entre los 1,59 meq/L y 8,36 meq/L, mientras que en época lluviosa varía entre los 0,06 y 4,7 cumpliendo con el rango óptimo para su uso

Los Bicarbonatos en época seca se encuentra en el rango de 1,76 y 9,56 meq/L, en época lluviosa los puntos 4 vía a Salinas y 9 tomado en un Ojo de agua ubicado en la zona de Yachay se encuentran sobre los 10 meq/L, varía entre los 0,1 y 11,04 meq/L. La Concentración de Carbonatos cuatro puntos en época seca se encuentran fuera del rango varía entre los 0 y 1,68 meq/L, mientras que en época lluviosa varía entre los 0 y 2,15 meq/L.

El ión sulfato procede fundamentalmente de los procesos de disolución de yesos sin olvidar de los procesos de oxidación bacteriana de sulfuros, son típicos de suelos de ambientes áridos y semiáridos, donde la precipitación es escasa o nula. Se encuentran en cantidades abundantes en las aguas y suelos (Sánchez, R., Dunel, L., y Scherger, M., 2015). En la Cuenca se encuentran entre los 0,04 y 1 meq/L en época seca, mientras que en época lluviosa se encuentran entre los 0,021 y 1,35 meq/L encontrándose en el rango óptimo.

4.5.2. Problemas que influyen en la calidad de agua de Riego.

Los problemas que influyen en la calidad del agua para agricultura son la Salinidad, RAS, Boro y Cloruros, clasificados en tres grupos: “ninguna” restricción en su uso, leve a moderado, es necesario aumentar gradualmente el cuidado en la selección de alternativas de manejo de cultivos, si se utiliza agua que iguala o excede los valores indicados para las restricciones severas, el usuario del agua debe experimentar problemas del suelo y de cultivo o una disminución del rendimiento.

4.5.2.1. Cloruros

Los Cloruros se encuentran en las aguas naturales por el agua marina atrapada en los sedimentos, a la disolución de evaporitas cloruradas, tienen gran afinidad con el sodio o el calcio, debido a su alta movilidad y escasa fijación al suelo provoca que las raíces absorban este ion y se acumulen en las hojas, si su concentración sobrepasa la tolerancia de la planta se produce la necrosis, quemaduras en las hojas, defoliación temprana, etc. (Fernández, E., 2009). La presencia de este ión en cuerpos de agua en concentraciones mayores que las normales puede ser indicativa de vertimiento de aguas residuales sin tratar. La cuenca presento el 68 % sin ninguna restricción mientras que el 16 % se encuentra de leve a moderado y la parte nor-oeste se encuentra con un 16 % de restricción severa (Figura 27). En época lluviosa 9% presento restricción de leve a moderada mientras que el 91% no presentó ninguna restricción (Figura 28).

4.5.2.2. Boro

La concentración de Boro varía desde trazas a ppm al ser un elemento esencial para el crecimiento de las plantas se convierte en tóxico cuando excede su nivel óptimo, junto al Ca^{2+} en un estado de equilibrio tendrá un correcto crecimiento de las plantas, ya que el Calcio no puede ser metabolizado adecuadamente cuando el boro está en niveles bajos y viceversa. Bajos niveles de B afectan también la incorporación de fósforo y sus compuestos a las células, el Fosforo puede ser reducido a la mitad con déficit de B. Los niveles altos de Nitrógeno y Potasio pueden reducir la disponibilidad de B. Al incrementar N y/o K se disminuye los niveles de Ca y la relación Ca-B (Brown, 2011). La concentración de B en época seca presenta un 44 % de los puntos de leve a moderado mientras que el 40 % no

presenta restricción y el 16 % presenta restricción severa (Figura 29). En época lluviosa el 36% se encuentra de leve ha moderado mientras que el 64% no presenta restricción (Figura 30).

Cloruros (Época seca) - Clasificación Ayers y Westcot

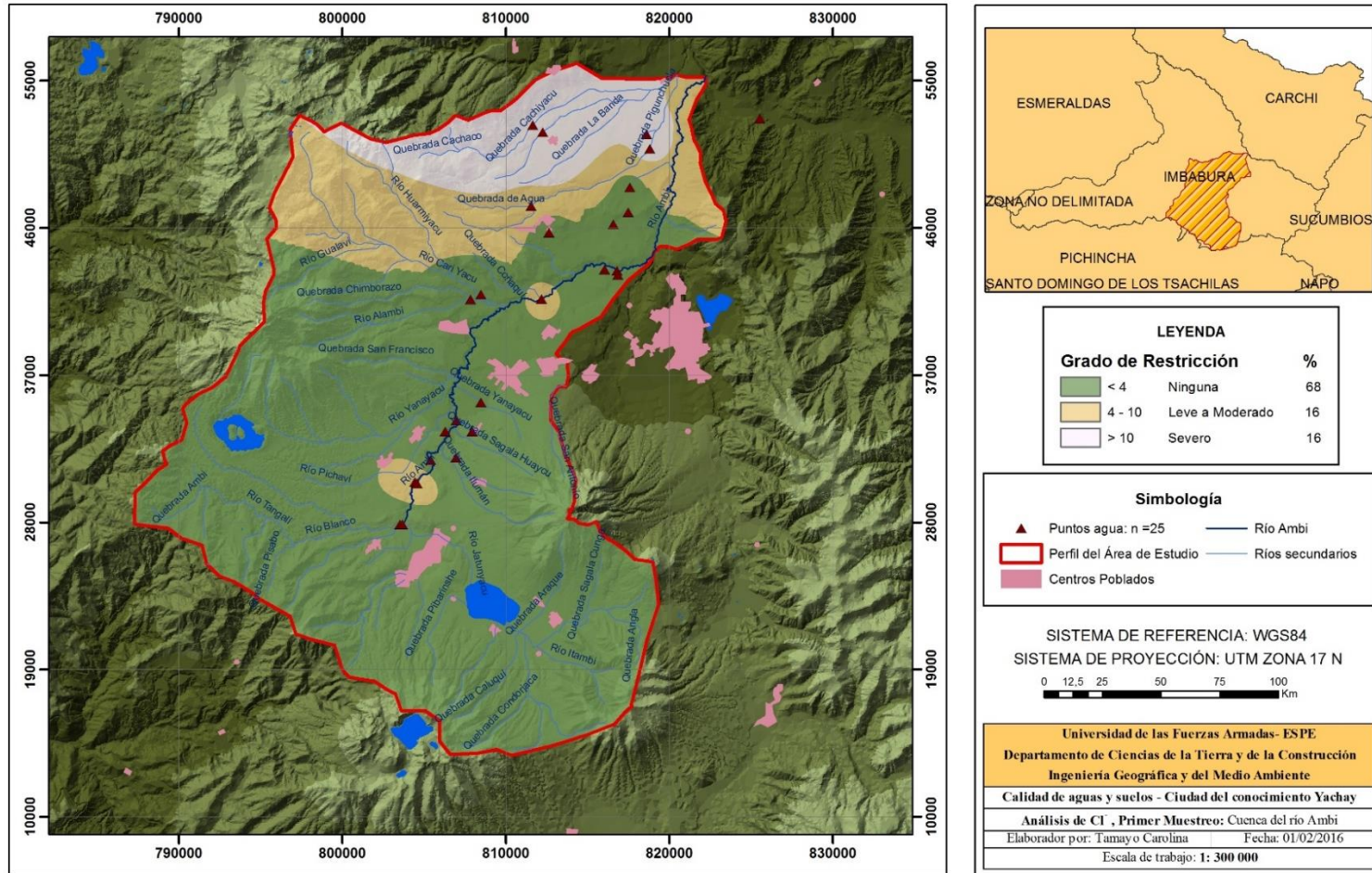


Figura 27: Mapa de Cloruros (meq/L)– Primer muestreo, época seca.

Cloruros (Época Lluviosa) - Clasificación Ayers y Westcot

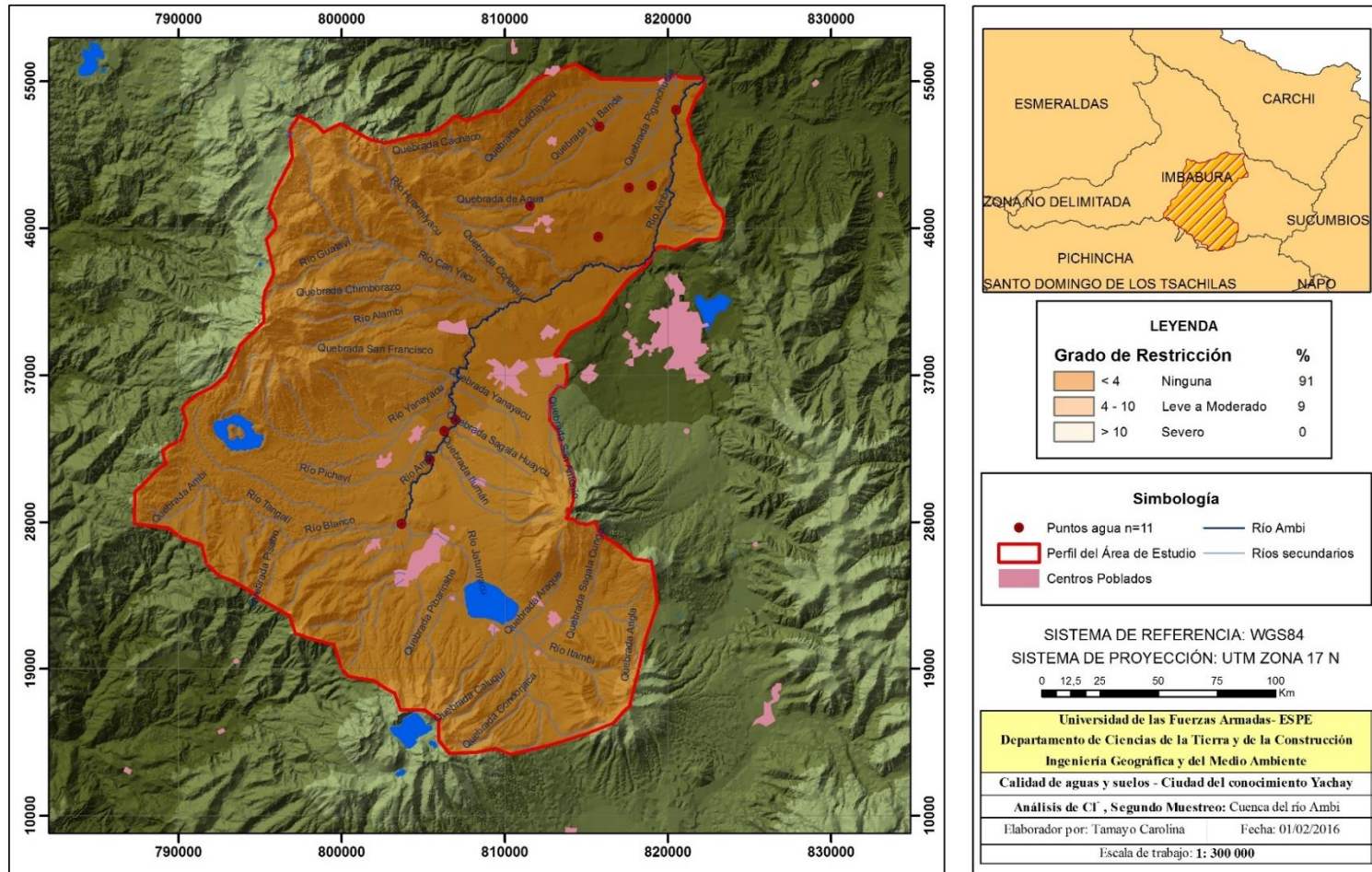


Figura 28: Mapa de Cloruros (meq/L) – Segundo muestreo, época lluviosa.

Boro (Época Seca) - Clasificación Ayers y Westcot

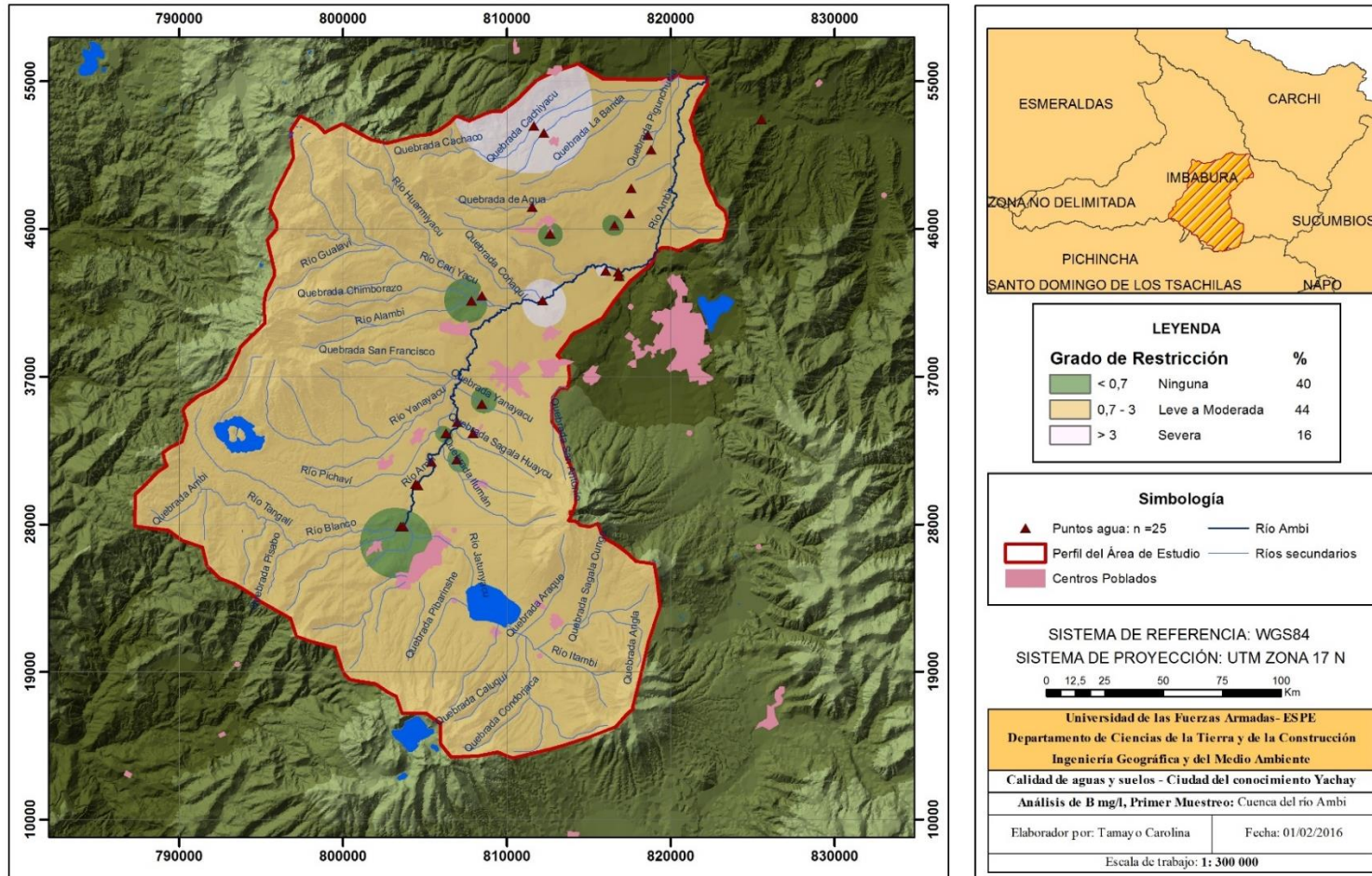


Figura 29: Mapa de Boro (mg/L) – Primer muestreo, época seca.

Boro (Época Lluviosa) - Clasificación Ayers y Westcot

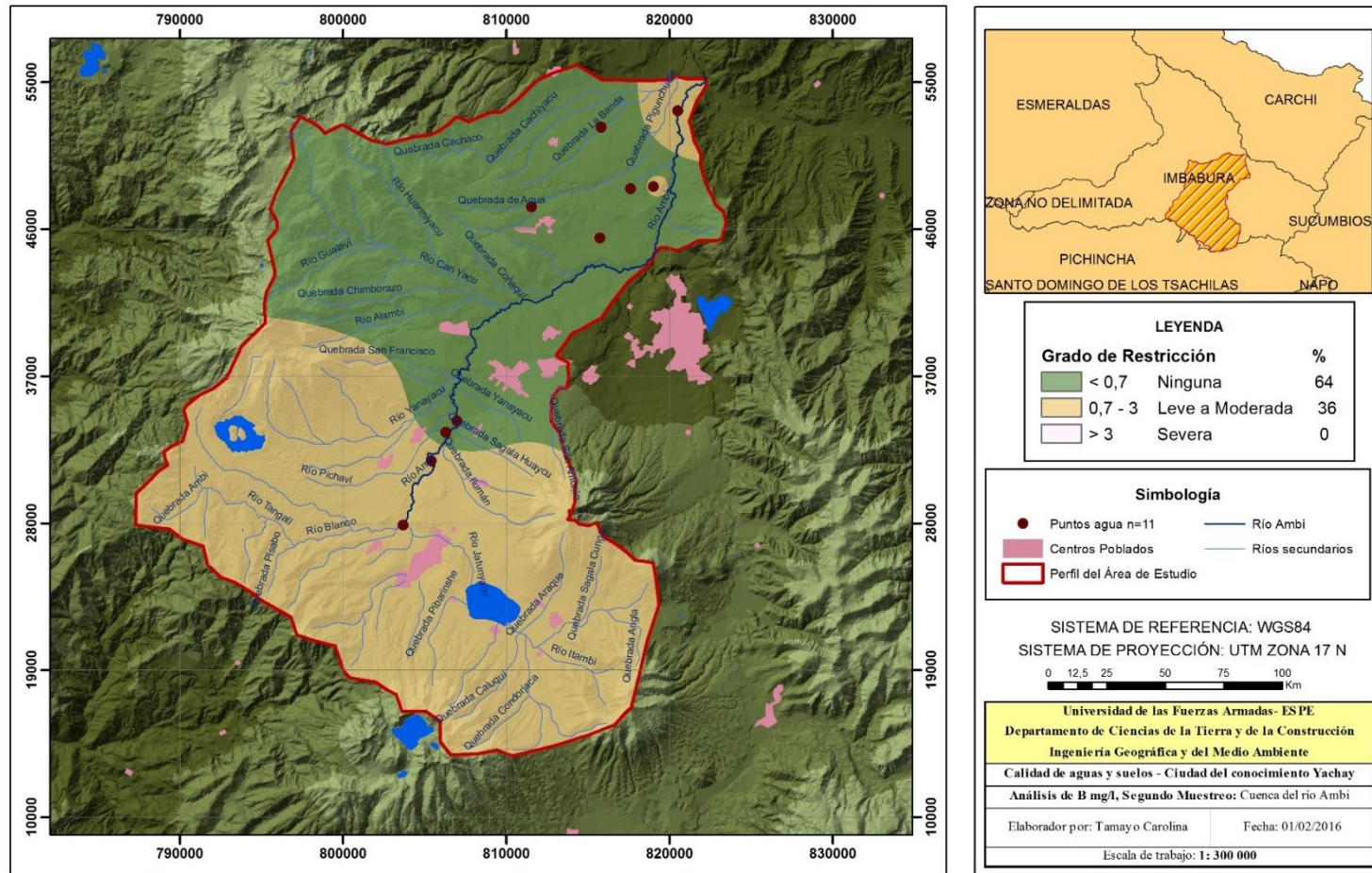


Figura 30: Mapa de Boro (mg/L) – Segundo muestreo, época lluviosa.

4.5.2.3. Salinidad

La Salinidad representa el contenido total de sales disueltas, se reporta como Conductividad eléctrica o como Sólidos Disueltos Totales, varía según la cantidad de evaporación y precipitación, valores mínimos se registran cuando existe menor evaporación y elevadas precipitaciones, mientras que los máximos se dan en latitudes cercanas a los 20° donde la evaporación supera a las precipitaciones (Figueroa, F., y Dávila, M., 2004). En época seca (Figura 31), el 68 % de las muestras se encuentran en un rango de leve a moderado y el 24 % no presenta ninguna restricción en su uso y el 8% corresponde a los puntos ubicados en la zona del Relleno Sanitario el cual presenta una restricción severa, en época lluviosa (Figura 32) el 64% se encuentra de leve a moderado mientras que el 36% no presenta restricción, La cantidad total de sólidos disueltos en el agua está relacionada con la Conductividad Eléctrica siendo una medida indirecta de las sales inorgánicas disueltas, en época seca el 88% se encuentra en el rango entre los 450 y 2000 mg/L (sin restricción) y el 8% no presenta restricción a diferencia de la CE el 4% no se la debe utilizar para riego, en época lluviosa 73% se encuentra de leve a moderado y el 27% no presenta restricción, al ser una medida indirecta no se considera ciertas variaciones por lo que su valor difiere de la CE (Jiménez, B., 2001).

Conductividad Eléctrica - Clasificación Ayers y Westcot

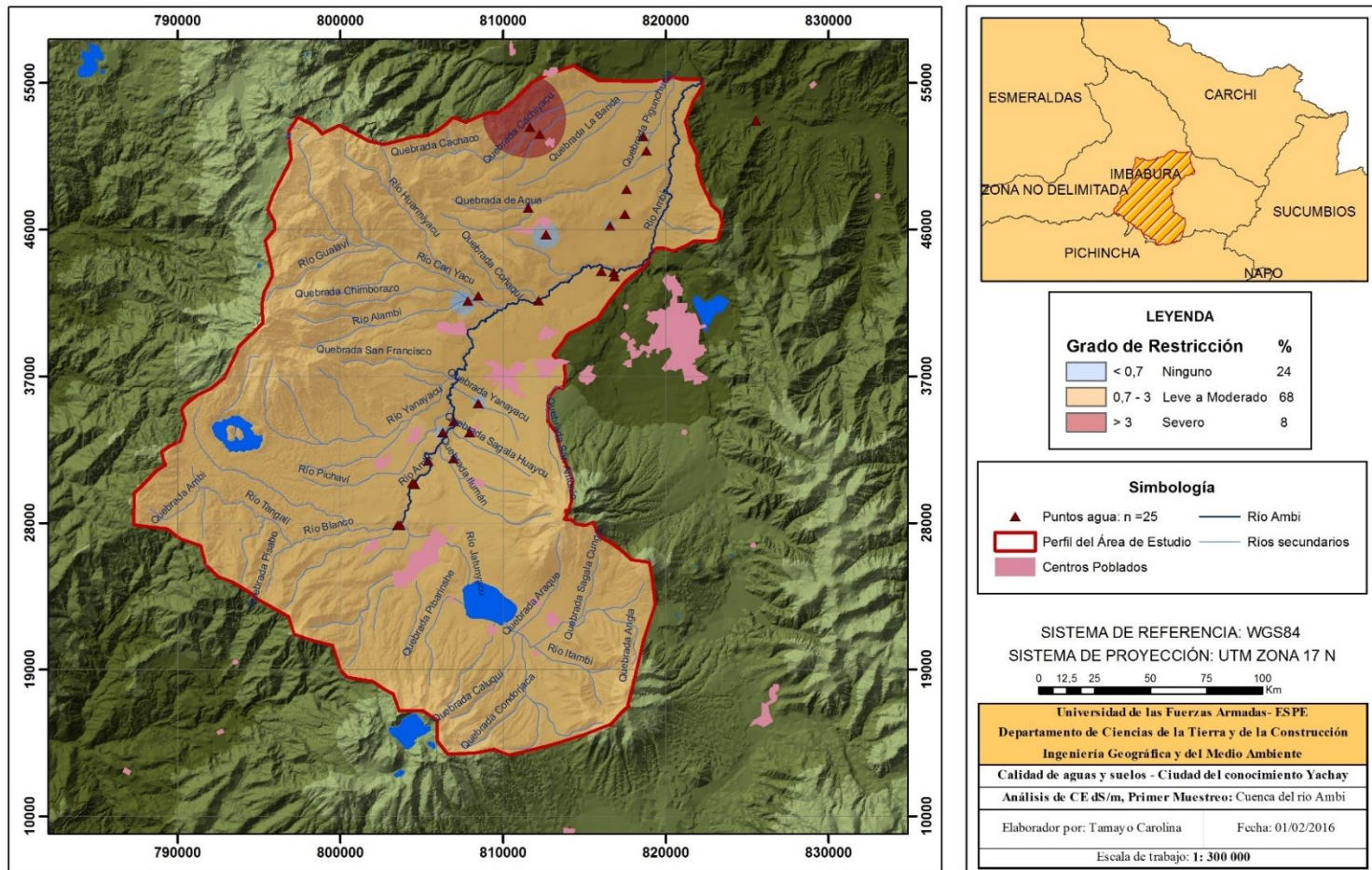


Figura 31: Mapa de Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S/cm}$) – Primer muestreo, época seca.

Conductividad Eléctrica (Época Lluviosa)- Clasificación Ayers y Westcot

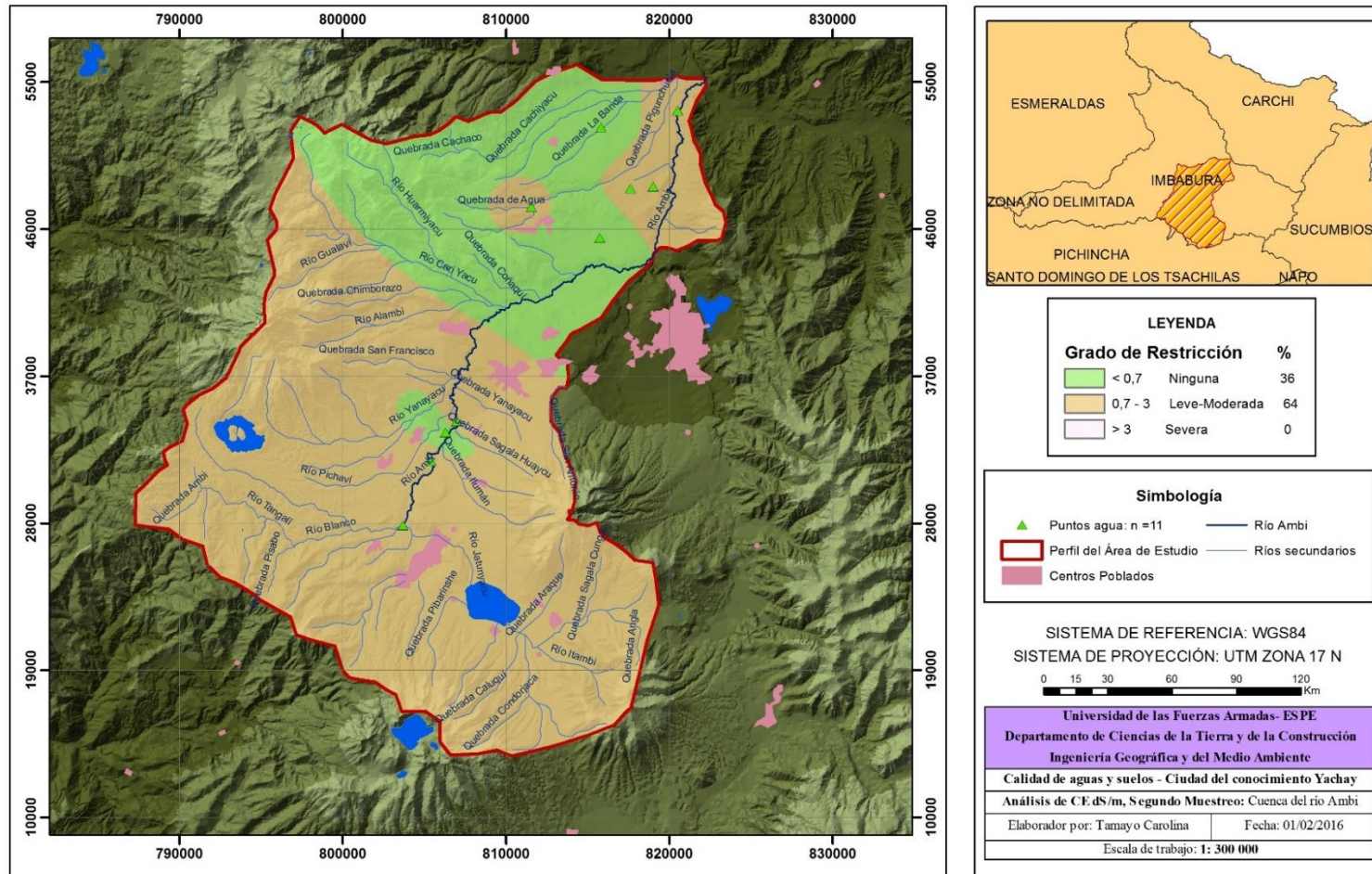


Figura 32: Mapa de Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), Segundo muestreo, época lluviosa.

4.5.2.4. RAS

El cuarto problema es la acumulación de sodio que puede deteriorar la estructura del suelo, el sodio en el agua de irrigación puede incrementar la presión osmótica en la solución del suelo y afectar específicamente a los frutales. Genera problemas en la estructura del suelo y altera la tasa de infiltración. Cuando la cantidad de sodio adsorbido excede a 10-15 % del total de cationes en el complejo de intercambio del suelo, la arcilla se dispersa y disminuye la permeabilidad. Para estimar el grado en que el sodio del agua de irrigación será adsorbido por el suelo se propuso la relación de adsorción de sodio determinada como RAS, es la proporción relativa del sodio frente al Mg^{2+} y al Ca^{2+} , sin tomar en cuenta sus posibles precipitados por lo que se determinó el Ras ajustado el cual analiza la precipitación de las sales menos solubles (Ca^{2+} y al Mg^{2+}), a medida que el agua se evapora forma carbonatos y bicarbonatos cálcicos y magnésicos aumentando así la concentración de sodio, y por último el RAS corregido, calcula el valor de Ca° en base a la salinidad, por el contenido de iones bicarbonato con relación a su propio contenido de calcio (HCO_3^- / Ca^{2+}) y por la presión parcial del dióxido de carbono (CO_2), ejercida en los primeros milímetros del suelo (presión igual a 0.0007 atm) (Can, Á., Ramírez, C., Ortega, M., Trejo, C., y Cruz, J., 2008).

En la tabla 23 los valores de la CE y el RAS, RAS ajustado y RAS° , en época seca presento el 24% como C2-S1, son aguas con salinidad media, necesitan un lavado moderado y cultivos moderadamente tolerantes a las sales como el Trigo. El 68% se clasifican como C3-S1, son aguas altamente Salinas que deben usarse con precaución en suelos sin drenaje y cultivos tolerantes como el Algodón, y finalmente los puntos 24 y 25 corresponden al 8% presentan la clasificación C4-S1 aguas muy altamente salinas no apropiadas para el riego, sin embargo se las puede utilizar en suelos permeables y en cultivos altamente tolerantes a las sales. Con respecto a la clasificación S1 el agua no presenta inconvenientes con el Sodio, sin embargo se debe tomar en cuenta los cultivos muy sensibles al sodio. Los valores de RAS ajustado en comparación con el Ras original aumentan significativamente en casi la mitad de su valor, mientras que los valores de RAS° no presenta una gran variación en sus valores.

Tabla 23

Clasificación de las aguas en base al Diagrama de Richards- Época seca

No.	RAS	RAS AJ	RAS°	Clasificación	No.	RAS	RAS AJ	RAS°	Clasificación
1	1,13	1,92	1,16	C3-S1	14	1,07	1,83	1,14	C3-S1
2	1,18	1,88	1,24	C3-S1	15	1,73	1,96	1,77	C2-S1
3	2,81	4,13	2,05	C3-S1	16	1,21	1,65	1,19	C2-S1
4	1,39	1,82	1,41	C3-S1	17	1,34	1,87	1,34	C3-S1
5	1,34	1,73	1,33	C3-S1	18	1,22	1,71	1,23	C3-S1
6	0,93	2,04	1,03	C3-S1	19	2,06	2,69	2,28	C3-S1
7	1,33	2,91	1,48	C3-S1	20	1,18	2,26	1,29	C3-S1
8	1,87	3,99	2,03	C3-S1	21	1,78	3,59	1,95	C3-S1
9	1,13	1,42	1,08	C2-S1	22	1,24	2,09	1,29	C3-S1
10	1,36	2,03	1,31	C2-S1	23	2,04	4,05	2,11	C3-S1
11	1,36	2,63	1,50	C3-S1	24	1,21	1,53	1,11	C4-S1
12	1,20	0,92	1,12	C2-S1	25	1,37	1,30	1,12	C4-S1
13	1,14	1,54	1,11	C2-S1					

En época lluviosa (Tabla 24), los valores de RAS original,ajustado y corregido el 18,18% se clasifican como C1-S1, aguas con baja salinidad se pueden usar para riego en la mayoría de cultivos, en casi cualquier tipo de suelo sin temor a que ocurra un problema por salinidad, el 12 % se ubican como C2-S1, aguas con salinidad media, necesitan un lavado moderado y cultivos moderadamente tolerantes a las sales. La clasificación C3S1 en el Ras original presenta el 45,45 %, aguas altamente Salinas que deben usarse con precaución en suelos sin drenaje y cultivos tolerantes como el Algodón el RAS original presenta el 27,27% mientras que el corregido presenta el 36,36%. La clasificación C3S2 aguas altamente salinas con problemas de sodio el presenta el 9% en el RAS original y coregido, el 18% en el RAS ajustado.

Con respecto a las clasificación S1 el agua no presenta inconvenientes con el Sodio, sin embargo se debe tomar en cuenta los cultivos muy sensibles al sodio y el punto con la clasificación S2 posee cierto peligro de acumulación de sodio en el suelo especialmente en suelos arcillosos de baja permeabilidad (Richards, 1954).

Tabla 24

Clasificación de las aguas en base al Diagrama de Richards- Época lluviosa

No.	RAS	Clasificación	RAS ajusta	Clasificación	RAS°	Clasificación
1	0,479	C3-S1	1,005	C3-S1	0,54	C3-S1
2	1,173	C3-S1	2,698	C3-S1	1,43	C3-S1
3	1,170	C3-S1	2,692	C3-S1	1,40	C3-S1
4	3,963	C3-S1	9,511	C3-S2	5,04	C3-S2
5	3,575	C3-S1	6,435	C3-S2	3,63	C3-S1
6	0,120	C1-S1	0,144	C1-S1	0,11	C1-S1
7	0,014	C1-S1	0,015	C1-S1	0,01	C1-S1
8	2,098	C2-S1	3,357	C2-S1	2,14	C2-S1
9	8,043	C3-S2	16,889	C3-S4	10,22	C3-S3
10	2,135	C2-S1	3,630	C2-S1	2,37	C2-S1
11	0,602	C2-S1	0,542	C2-S1	0,25	C2-S1

4.6. Análisis multivariado de componentes principales-Agua

La técnica de Componentes principales (CP) es una técnica estadística multivariada que examina las relaciones entre muchas variables cuantitativas, los coeficientes de cada combinación lineal son vectores propios de la matriz de correlación. Los CP resultantes son variables normalizadas e independientes entre sí (Amézquita, M. y Franco, M., 1990).

La base para la utilización del ACP es la estructura de correlación (interdependencia) entre las variables definidas en una población. Es importante saber el mecanismo para determinar el número de componentes principales (CP) que recojan la mayor variabilidad de las variables originales estandarizadas. Uno de los criterios consiste en utilizar los porcentajes acumulados de la varianza, para datos de laboratorio los CP se explican con el 95% mientras que datos de otro tipo se explican con el 70% (González, A. L., Humberto, L.S., y Tilano, J., 2008).

Para el análisis de los CP en la Cuenca del Río Ambi tanto en época seca y lluviosa se realizó dos grupos: Cuenca Alta y Baja, según su altitud. La cuenca Alta está comprendida por puntos ubicados entre los 2275 a 2773 m.s.n.m mientras que la cuenca baja se encuentra comprendida por altitudes de 1777 a 2275.

Se utilizó el programa Minitab para realizar el análisis de los componentes principales; siendo un programa estadístico que permite determinar la correlación que existe entre dos o más variables. En la tabla 25 se presentan los resultados

obtenidos del análisis de 8 iones en época seca, comprendida la cuenca alta, 12 puntos de muestreo y la cuenca baja con 11 puntos con el fin de determinar la predominancia de los iones en la cuenca y su relación. presentando cuatro componentes principales en la cuenca alta y baja, siendo Mg^{2+} , K^+ , CO_3^{2-} , HCO_3^- los que sobresalen en la Cuenca Alta a diferencia de la Cuenca Baja en la que existe mayor presencia de SO_4^{2-} , K^+ , CO_3^{2-} , HCO_3^- .

Tabla 25

Datos obtenidos de Componentes principales Cuenca Alta y Baja-Primer muestreo

V acumulativa	Cuenca Alta				V acumulativa	Cuenca Baja			
	0,606	0,758	0,893	0,96		0,648	0,8	0,927	0,981
IONES	PC1	PC2	PC3	PC4	IONES	PC1	PC2	PC3	PC4
Ca²⁺	0,417	0,092	0,079	0,426	Ca²⁺	0,388	0,126	0,177	-0,61
Mg²⁺	0,421	-0,309	-0,026	0,046	Mg²⁺	0,428	-0,073	-0,081	-0,107
Na⁺	0,382	0,021	0,429	-0,352	Na⁺	0,417	0,087	0,117	0,139
K⁺	0,338	0,486	0,047	0,238	K⁺	0,408	-0,249	0,088	0,264
CO₃²⁻	-0,258	0,376	0,596	0,421	CO₃²⁻	-0,04	0,498	0,815	0,145
HCO₃⁻	0,347	-0,494	0,023	0,436	HCO₃⁻	0,231	0,647	-0,427	-0,249
Cl⁻	0,392	0,213	0,214	-0,513	Cl⁻	0,364	-0,445	0,234	-0,166
SO₄²⁻	0,219	0,478	-0,637	0,069	SO₄²⁻	0,372	0,213	-0,195	0,646

En la figura 33 tanto la cuenca Alta y baja está comprendida por zonas montañosas, siendo el Mg^{2+} el catión que tiene mayor predominancia sin embargo existe una relación con el K^+ por la presencia de formaciones generadas por subducción de la corteza oceánica. Y al tener calizas existen predominancia de carbonatos y bicarbonatos son aniones presentes en aguas en aguas con pH ácidos a neutros. La cuenca baja presenta de igual manera mayor predominancia de Mg^{2+} , HCO_3^- , CO_3^{2-} con una relación de predominancia de sulfatos.

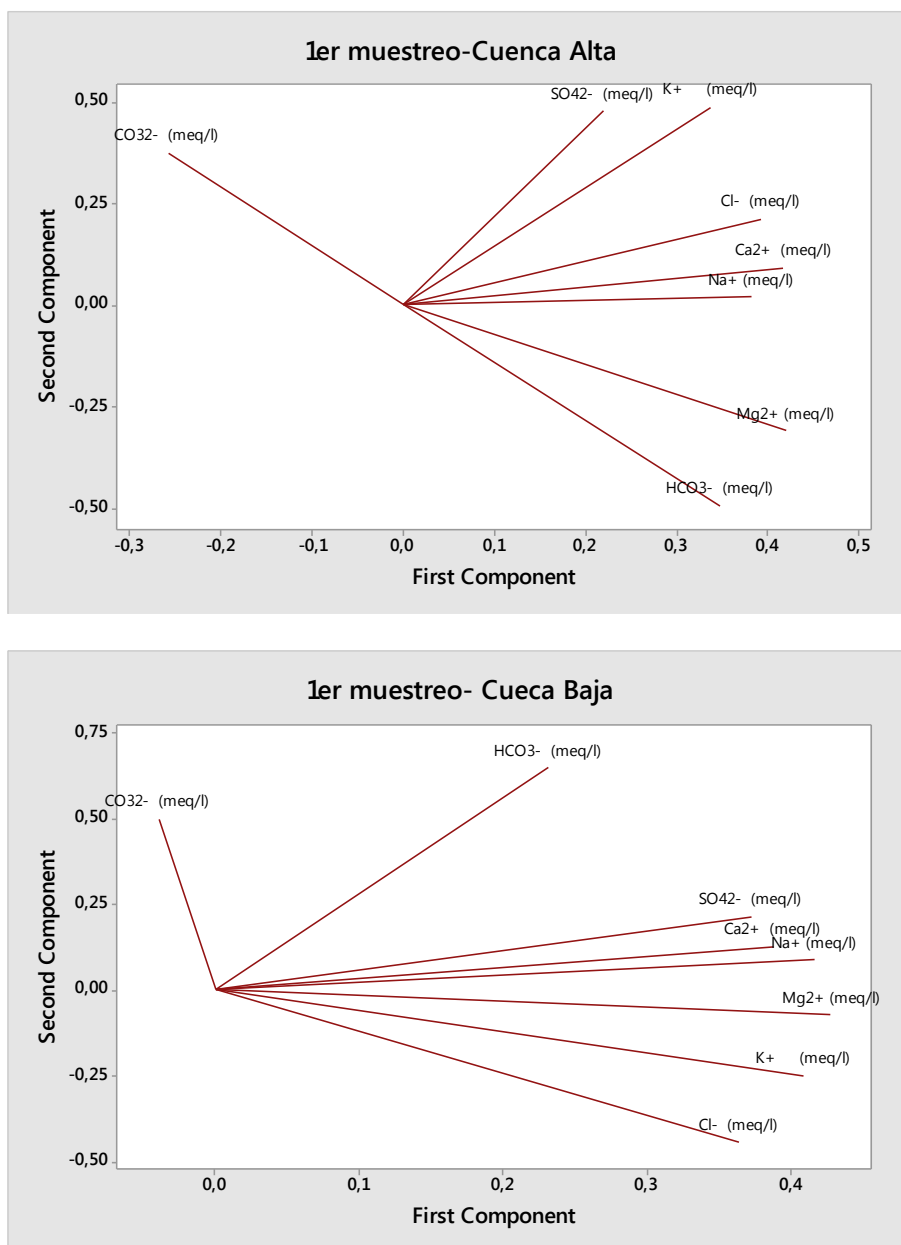


Figura 33: Gráficos Polares de los Componentes Principales – Primer muestreo

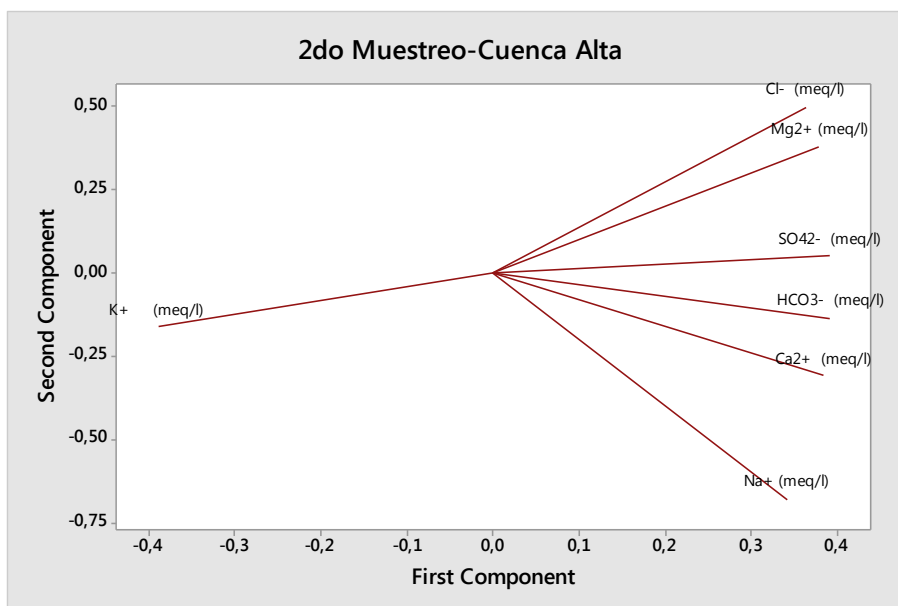
Para el segundo muestreo en la cuenca alta se encuentran 4 puntos en la Cuenca Alta y 7 en la Cuenca Baja los cuales están ubicados en la Ciudad del Conocimiento Yachay. En la tabla 26 se presentan los resultados obtenidos del análisis de 8 iones respectivamente, los carbonatos no tienen predominancia en la cuenca alta ya que las aguas no presentan

Tabla 26

Datos obtenidos de Componentes principales Cuenca Alta y Baja-Segundo muestreo

	Cuenca Alta		Cuenca Baja				
V acumulativa	0,92	0,993	V acumulativa	0,577	0,789	0,922	0,975
IONES	PC1	PC2	IONES	PC1	PC2	PC3	PC4
Ca²⁺	0,384	-0,31	Ca²⁺	0,393	-0,273	-0,256	0,42
Mg²⁺	0,379	0,378	Mg²⁺	0,407	-0,272	-0,217	-0,004
Na⁺	0,343	-0,682	Na⁺	0,427	0,213	0,186	-0,012
K⁺	-0,39	-0,165	K⁺	0,337	0,132	0,51	-0,575
CO₃²⁻	-----	-----	CO₃²⁻	0,039	0,594	-0,575	-0,302
HCO₃⁻	0,392	-0,138	HCO₃⁻	0,439	0,023	0,278	0,219
Cl⁻	0,363	0,497	Cl⁻	0,294	-0,403	-0,41	-0,507
SO₄²⁻	0,392	0,049	SO₄²⁻	0,321	0,523	-0,128	0,311

Como podemos observar en la tabla 26, la cuenca alta presenta una varianza de 0.99 % correspondiente al segundo CP, es decir no necesita más Componentes para el análisis, la cuenca baja presentan 4 CP con una varianza de 0.975% , siendo SO_4^{2-} , HCO_3^- el componente principal, el segundo componente son Cloruros . La Cuenca Baja presenta Ca^{2+} , K^+ , CO_3^{2-} , HCO_3^- los que sobresalen.



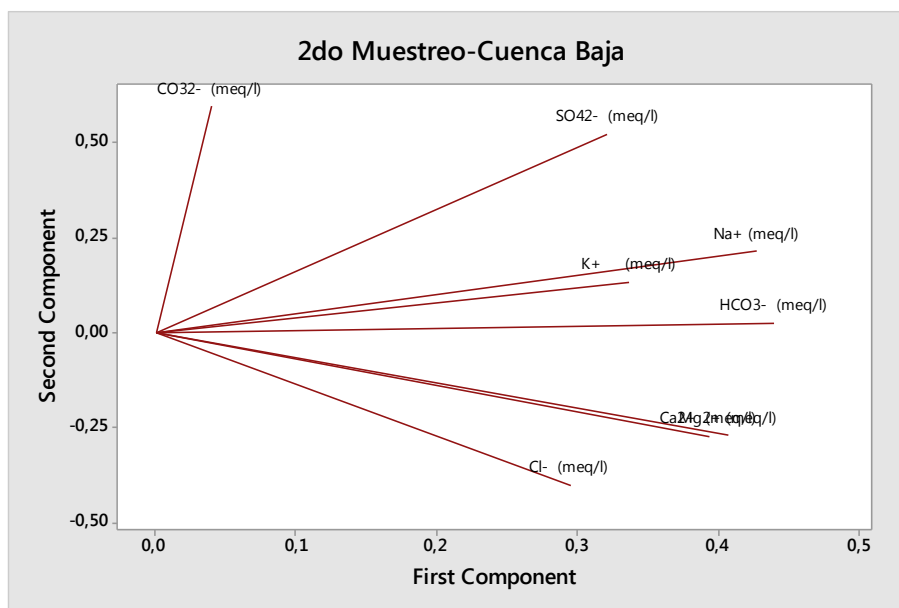


Figura 34: Gráficos Polares de los Componentes Principales – Segundo muestreo

A diferencia del primer muestreo existe en época lluviosa mayor presencia de Bicarbonatos y sulfatos presentan una relación con los cloruros que indican una medida indirecta de contaminación de origen orgánico.

4.7. Calidad de los Suelos para agricultura

El suelo al estar compuesto por agua, aire, materia orgánica e inorgánica, organismos vivos y por partículas minerales, en él se realizan una de las actividades económicas más antiguas que es la agricultura. Un suelo agrícola es aquel que se lo utiliza en el ámbito de la productividad, apto para todo tipo de cultivos y plantaciones, su capa fértil se forma a lo largo de millones de años, sin embargo, por malas prácticas se la puede perder en poco tiempo. Su conservación es muy importante para mantener su productividad, pues cuando la capa superior se pierde hay menor retención de agua y las raíces ya no tienen soporte, se pierde la materia orgánica, el nitrógeno, el fósforo, nutrientes y otros elementos (Taboada, y Álvarez, 2008). Existen variables que puedan servir para evaluar la condición del suelo, conocidas como indicadores (propiedades físicas, químicas y biológicas) que permiten simplificar, cuantificar y comunicar fenómenos complejos (Cruz, A., Etchevers, J., Del Castillo, F., y Gutiérrez, C., 2004).

4.7.1. Propiedades físicas

Las propiedades físicas reflejan la manera en que este recurso acepta, retiene y transmite agua a las plantas, así como las limitaciones que se pueden encontrar en el crecimiento de las raíces (Cruz, *et al.*, 2004). Para este estudio se determinó: densidad aparente, densidad real, porosidad y humedad. En la Tabla 27 se presenta la caracterización de los 10 perfiles de muestreo junto con los parámetros físicos.

Tabla 27

Propiedades físicas de los Perfiles de Yachay.

Nº	Humedad (%)	Densidad Aparente (g/cm ³)	Densidad Real (g/cm ³)	Porosidad (%)
1	16	1,28	2,32	44,8
2	11	1,35	2,34	42,3
3	7,8	1,47	2,26	35
4	8,6	1,28	2,4	46,6
5	9,7	1,32	2,35	43,8
6	13	1,25	2,32	46,1
7	22	1,31	2,4	45,4
8	3	1,32	2,23	40,8
9	2	1,35	2,43	44,4
10	8,6	1,28	2,44	47,5

4.7.1.1. Densidad Real

La densidad real representa la relación entre el peso de un suelo y el volumen de sus partículas constituyentes, esta densidad no se altera por partículas o por cambios en el espacio poroso y es un reflejo de la densidad de los minerales más abundantes en el suelo, el valor promedio para suelos minerales es de 2,65 g/cm³, en el rango de 2 a 2,6 g/cm³ predominan los minerales de arcillas silicatadas mientras que los minerales de suelos orgánicos se encuentran entre 1,1 a 1,4 g/cm³ (Porta, López, y Poch, 2014), valores superiores a 2,65 g/cm³ se puede asumir que posee un elevado contenido de óxidos de Fe o minerales ferro magnésico (Núñez, J., 1998). Los perfiles de suelo de Yachay oscilan entre 2,23 y 2,44 g/cm³ respectivamente, por lo tanto se clasifican es suelos minerales con mayor predominancia de las arcillas

silicatadas, este tipo de minerales son los de mayor predominancia en la corteza terrestre (Porta, et al., 2014).

4.7.1.2. Densidad Aparente

La densidad aparente describe la compactación del suelo en relación al espacio poroso, de forma que cuando la densidad aparente aumenta el volumen de poros disminuye y viceversa, su rango varía desde $0,1 \text{ g/cm}^3$ o menos en suelos orgánicos, hasta $1,6 \text{ g/cm}^3$ en suelos minerales (Nuñez, S., 1981). Valores mayores a $1,7 \text{ g/cm}^3$ generan dificultades en el drenaje y en la productividad del suelo convirtiéndolo en no apto para la agricultura por lo que se necesitaría emplear una técnica adecuada para el manejo y uso del mismo, (Richards, 1954). Los valores de densidad aparente en Yachay varían entre $1,2$ y $1,5 \text{ g/cm}^3$ por lo que las muestras se encuentran dentro de los rangos de suelos minerales francos y franco-arenosos.

4.7.1.3. Porosidad

En cuanto a la porosidad está en función de los valores de la densidad real, la densidad aparente y la humedad natural, y al ser suelos minerales y de textura franca-arenosa y franca (Figura 35), el porcentaje de porosidad varía entre el 35 y 47,5% en los suelos de Yachay considerados con una mediana porosidad, la relación de la porosidad y la retención de agua son dos parámetros que están estrechamente vinculados, ya que la capacidad de retención de agua en el suelo es dependiente del número y de la distribución de tamaño de los poros y al poseer poros grandes y continuos ocasionan una permeabilidad elevada (Navarro, y Simón, 2013). De acuerdo a la USDA (Tabla 28), los suelos francos arenosos ocupan el 50 % del área de estudio mientras que el 40% son suelos Franco y el punto 3 (10%) posee una textura Arenosa, este tipo de suelo tiene la característica de retener pocos nutrientes así como la capacidad de retención hídrica. Así que las prácticas de manejo para este tipo de suelos benefician sus condiciones y la productividad de los cultivos mediante la incorporación de abonos orgánicos quienes liberan nutrientes de forma lenta y mejora de tal forma las propiedades físico – químicas del suelo (FAO, 2016).

Tabla 28

Clases texturales del suelo y porosidad

Textura	Porosidad (%)
Arenosa	38 (32 - 42)
Franco-arenosa	43 (40-47)
Franco	47 (43 - 49)
Franco arcillosa	49 (47 - 51)
Arcillosa	53 (51 - 55)

Fuente: USDA, 1993

Textura del Suelo en base a la Porosidad- Perfiles de Yachay

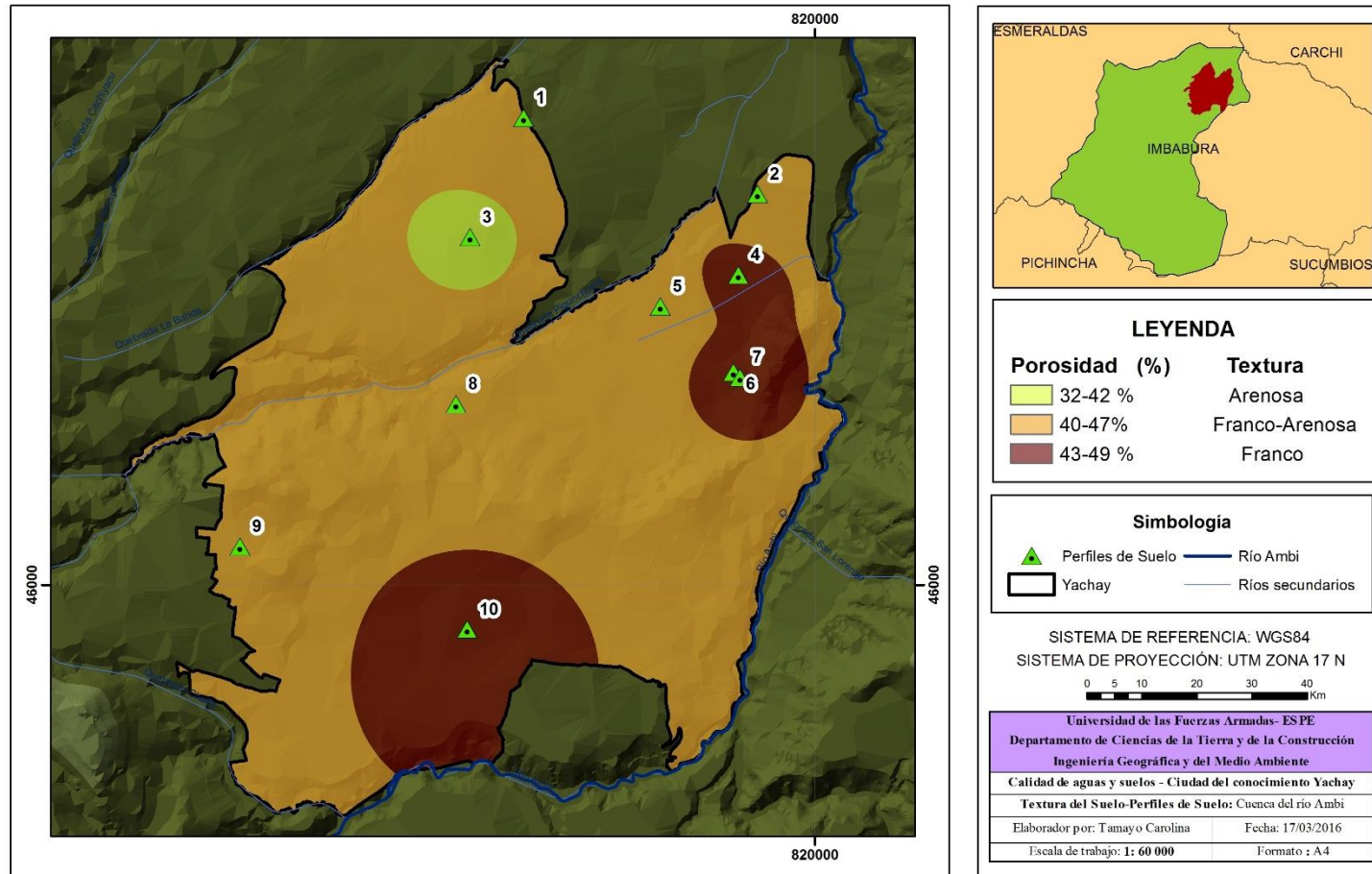


Figura 35: Mapa de Textura del Suelo - Yachay

4.7.1.4. Humedad

La humedad del suelo es uno de los factores más importantes en la caracterización de un suelo, su participación es vital ya que influye en varias propiedades físicas (Forsythe, W., 1985). Los puntos 3, 4, 5, 8, 9 y 10 de Yachay poseen un porcentaje de humedad menor al 10%, presentando una textura de arenosa a franca, mientras que los puntos 1, 2, 6, presentan un porcentaje de humedad de 10 al 14% con una textura franca-arenosa, estos suelos se caracterizan por retener poca humedad, posee baja fertilidad y necesitan aporte de elementos orgánicos e inorgánicos, además de presentar una buena aireación, al presentar un bajo porcentaje de humedad, los macronutrientes presentes en el suelo no podrán retenerse para que la planta crezca sin limitantes (Andrades, y Martínez, 2014).

4.7.2. Propiedades químicas

Los indicadores químicos incluyen mediciones de pH, salinidad, contenido de materia orgánica, macro y micronutrientes necesarios para el crecimiento y desarrollo de las plantas, la capacidad de intercambio catiónico, y las concentraciones de elementos que pueden ser potenciales contaminantes (Metales pesados, compuestos radiactivos, etc.) (USDA, 1996).

4.7.2.1. Salinidad-Conductividad Eléctrica-CE

El análisis de la CE en suelos se hace para establecer si las sales solubles se encuentran en cantidades suficientes como para afectar la germinación normal de las semillas, el crecimiento de las plantas o la absorción de agua por parte de las mismas. Todos los suelos fértiles contienen por lo menos pequeñas cantidades de sales solubles formadas principalmente por los cationes Na^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} asociados con los aniones Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- y HCO_3^- . Cuando un suelo tiene un exceso de sales solubles se le denomina suelo salino. La medida de la conductividad eléctrica (CE) del suelo y de las aguas de riego permite estimar en forma casi cuantitativa la cantidad de sales que contiene. La acumulación de sales solubles en el suelo se atribuye principalmente a problemas de drenaje y a la acción de riegos continuados, seguidos de evaporación y sequía (Sadzawka R. et al., 2004).

Para la valoración de salinidad en el suelo se presentan varios criterios dependiendo el autor, la USDA (1993) y Richards (1954) utiliza la relación del

extracto de saturación por ser el que se adapta mejor a los cultivos (Tabla 29). En el extracto de saturación los puntos se encuentran entre los 0,64 y 1,10 dS/m por lo que se clasifican como suelos no Salinos, los efectos de la salinidad sobre el crecimiento de plantas son insignificantes.

Tabla 29

Clasificación de suelos en base a la Salinidad

Clase	CE (dS/m)
No Salino	0-2
Muy ligeramente Salino	2-4
Ligeramente Salino	4-8
Moderadamente Salino	8-16
Fuertemente Salino	16

Fuente: USDA, 1993

4.7.2.2. pH

En la relación 1: 5 y 1: 10 el punto 3 presenta un pH ligeramente ácido lo que dificulta la asimilación de Calcio, Magnesio y Fosforo este tipo de suelos se caracterizan por ser pobres en bases de cambio (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+), los puntos 1, 2, 5, 9 y 10 se encuentra en el rango de pH neutro, óptimo para la asimilación de nutrientes en las plantas al tener mayor solubilidad de los iones a excepción del boro, los puntos 6, 7 y 8 el pH sube a ligeramente alcalino lo cual genera deficiencia de Boro menor asimilación de fósforo y el punto 4 en la relación 1:5 sube a ligeramente alcalino, los suelos con pH alcalino tienen un alto contenido en bases de cambio, hay presencia de carbonatos de calcio que generan dificultad en la asimilación de los micronutrientes como es el caso del Boro. El extracto de Saturación difiere en la mayoría de puntos, los puntos 8 y 9 se encuentran en el rango moderadamente alcalino , los puntos 4, 5, 6 y 7 son suelos ligeramente alcalinos y los puntos 1,2 , 3 y 10 son neutros (Figura 36) (Andrades, M., y Martínez, M., 2014).

Según la FAO (2002) el rango óptimo para el aprovechamiento de los nutrientes por las plantas es de 6,5 a 8,5 por lo que los suelos en estudio se encuentran en el rango óptimo, ya que la cantidad de nutrientes que contiene el suelo para alimentar a los cultivos que se desarrollarán sobre él no se encuentran muy escasos e comparación con los suelos ácidos , estos nutrientes son útiles para las plantas se

encuentran en forma de iones, las raíces absorben del suelo igual cantidad de cargas negativas y positivas o realizan un intercambio de un ion por otro, la mayor cantidad de cationes se encuentran en partículas de arcilla y materia orgánica y en cantidades menores los aniones provenientes de la materia orgánica que se descompone, otra fuente de estos iones se encuentra en las partículas minerales su fraccionamiento proporciona materiales solubles utilizables por las plantas como nutrientes (Thompson, y Troeh, 2002).

MAPA DE pH: Extracto de saturación- Relación 1:5 - Relación 1:10

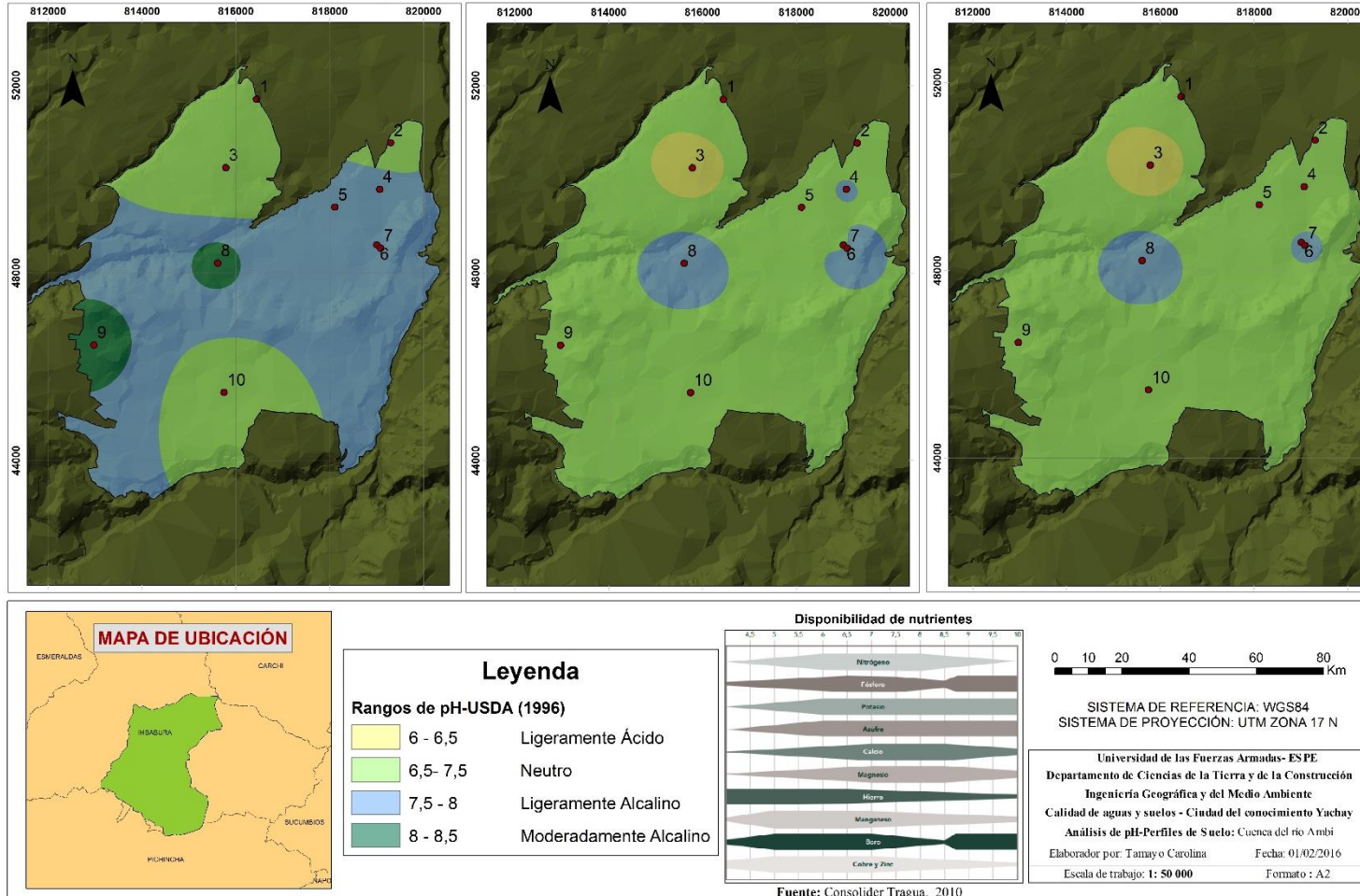


Figura 36: Mapa de pH- Relación 1:0,2-0,6; 1:5 y 1:10

4.7.2.3. Materia Orgánica

La materia orgánica es el parámetro más importante dentro de la fertilización, mejora la estructura del suelo, reduce la erosión del mismo, tiene un efecto regulador en la temperatura del suelo y le ayuda a almacenar más humedad (FAO, 1986). En los perfiles se pudo observar que el suelo presenta un bajo nivel de materia orgánica varía entre los 0,38 y 0,70 % extracto de saturación mientras que en la relación 1:5 y 1:10 disminuye el porcentaje significativamente de 0,06 a 0,28 % y 0,05 a 0,24% (Figura 37) respectivamente, este factor está en relación con la cantidad de sales presentes en el suelo, al tener un suelo del tipo franco-arenoso y no salino con una porosidad alta, los suelos se van a lavar fácilmente y su capacidad de retención de nutrientes va a ser bajo, es decir que con el tiempo va a generar escases de nutrientes para los cultivos (Andrade y Martínez; 2014).

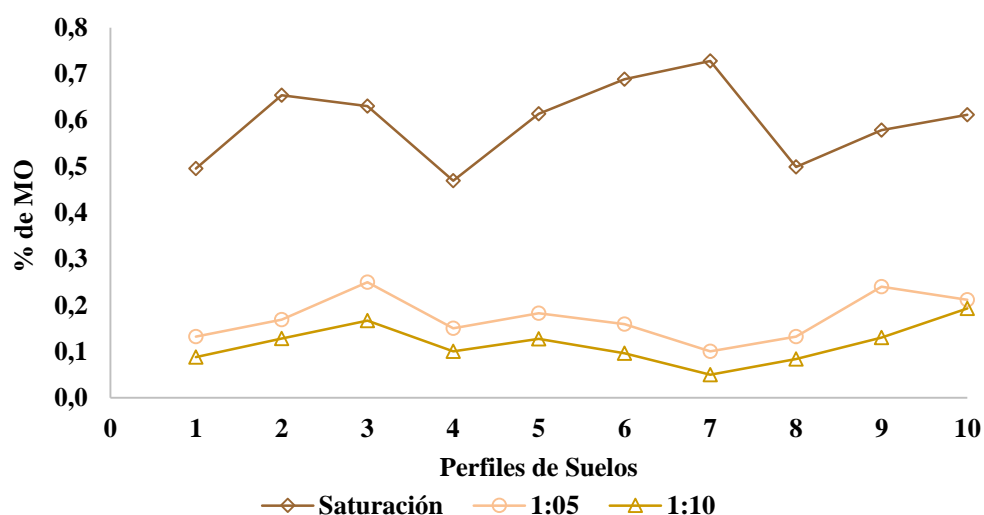


Figura 37: Porcentaje de Materia Orgánica – Perfiles de Yachay

4.7.2.4. Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C.) y Bases de Cambio (B.C.)

Se define a la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) como la capacidad de cargas negativas presentes en las arcilla, materia orgánica o sustancias húmicas de absorber la cantidad de cationes disponibles en el suelo e indica la disponibilidad y cantidad de nutrientes para la planta. Los cationes de mayor importancia con relación al crecimiento de las plantas son el calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K), amonio (NH_4^+), sodio (Na^+) e hidrógeno (H). Los primeros cuatro son nutrientes para el crecimiento de las plantas mientras que el sodio y el hidrógeno tienen efecto en la

disponibilidad de los nutrientes y la humedad. La CIC desempeña un papel muy importante en la estructura y fertilidad del suelo, la cantidad de nutrientes que la planta requiere a su disposición va a depender de la capacidad que tenga el complejo de cambio de retener nutrientes. Cuando existe grandes cantidades de algún elemento en el suelo, y la planta no es capaz de asimilarlos debido a un bloqueo de nutrientes en el complejo arcillo húmico se utiliza la CIC para ver las interacciones de los cationes en el suelo (Andrades M. *et al.*, 2014).

La unidad de medición de CIC es en centimoles de carga por kg de suelo cmolc/kg o meq/ 100g de suelo. Los suelos de pobre contenido en materia orgánica como los de Yachay en la relación 1:10 presentaron un bajo nivel de Capacidad de retención de nutrientes. (Nuñez, S., 1981).

El magnesio y calcio son nutrientes secundarios que las plantas también los absorben en cantidades considerables. Para interpretar su análisis se utilizó las tablas de fertilidad realizadas por el Centro Agronómico Tropical de Investigaciones y Enseñanza (CATIE). Es un organismo internacional cuya misión es el bienestar humano sostenible e inclusivo en América Latina y el Caribe, en la tabla 30 se presentan los rangos óptimos para la interpretación de Calcio, magnesio en la relación suelo-agua 1:10.

Tabla 30

Guía para la interpretación de análisis de suelo-relación suelo-agua 1:10

PARAMMETRO	BAJO	ÓPTIMO	ALTO	Perfiles de Yachay promedio
Ca (meq/100ml)	4	4-20	20	2-25
Mg (meq/100ml)	1	1-10	10	2-7
Ca/Mg (meq/100g)	2	2-5	5	0,6-10,6
Mg/K (meq/100g)	2,5	2,5-15	15	2-22,6
Ca/K (meq/100g)	5	5-25	25	1,9-43,4

La disponibilidad de las bases extraíbles en los perfiles de Yachay presentaron un óptimo contenido de Ca^{2+} , a excepción de los puntos 3, 9 y 10 que presentan un

bajo contenido, el punto 7 presenta un contenido alto, este nutriente es esencial para el crecimiento de las raíces y como un constituyente del tejido celular de las membranas, es esencial para los microorganismos que transforman los residuos de cultivos en materia orgánica, liberan nutrientes y mejoran tanto la estructura como la capacidad del suelo para almacenar agua (FAO, 1986).

El magnesio a diferencia del calcio todos los puntos se encuentran en el rango óptimo para los cultivos, es uno de los constituyentes centrales de la clorofila, el pigmento verde de las hojas, por lo que se incluye también en las reacciones enzimáticas relacionadas a la transferencia de energía de la planta. El Magnesio (Mg) utilizable se encuentra como el ion Mg^{2+} es la forma en que se encuentra disuelto en la solución del suelo para ser absorbido por las plantas. Altos niveles de elementos competitivos, tales como el potasio y el calcio reducen la disponibilidad de magnesio (Bayón C. et al., 2012).

En la tabla 31 la relación Ca/Mg en Yachay los puntos 1, 2, 3, 4, 9 y 10 presentaron un rango bajo por lo que existe un desbalance entre cationes es decir que existe mayor contenido de magnesio respecto al calcio, mientras que los puntos 5, 6, y 8 se encuentran en el rango óptimo por lo que existe un balance entre ellos no existe problemas en esos puntos, el punto 7 presenta un rango alto por lo que se supone que existe menor contenido de magnesio y mayor predominancia de Calcio. En la relación Mg/K los puntos 3, 7 y 8 presentan un rango bajo por lo que existe mayor predominancia de potasio con respecto al magnesio, el punto 9 se encuentra sobre el rango de equilibrio por lo que existe menor contenido de K, y los puntos 1, 2, 4, 5, 6, y 10 se encuentra en equilibrio. En la relación Ca/K existe mayor predominancia de potasio en las muestras de suelo en los puntos 1, 2, 3, 4 y 10, los puntos 6 y 9 presentan menor contenido de potasio con respecto al calcio y los puntos 5, 7, y 8 se encuentran en estado óptimo.

Tabla 31

Capacidad de cambio de las bases intercambiables - Yachay

No	Ca/Mg	Mg/K	Ca/K
1	0,7	3,8	2,6
2	0,8	4,2	3,3
3	0,9	2,1	1,9
4	1,5	2,7	4,0
5	3,0	3,0	8,9

Continúa



6	3,7	11,8	43,4
7	10,6	1,7	17,7
8	4,0	2,0	7,7
9	1,2	22,6	26,9
10	0,6	3,7	2,3

4.7.2.5. Nutrientes

En el suelo el medio de transporte de los nutrientes hacia las plantas es en la solución del suelo. Si el suministro de nutrientes es amplio, los cultivos crecerán mejor y producirán mayores rendimientos, sin embargo, si uno de los nutrientes necesarios es escaso, el crecimiento de las plantas es limitado y los rendimientos de los cultivos son reducidos (FAO, 2002). Los nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas se encuentran clasificados en dos grupos los macronutrientes (calcio, magnesio, potasio, fosforo, azufre, nitrógeno) y los micronutrientes (boro, cloro, cobre, hierro, manganeso, molibdeno, cinc), el sodio es uno de los cationes que no es indispensable en las plantas pero puede ser beneficioso o perjudicial por sí mismo o como sustituto del potasio (Thompson, y Troeh, 2002).

4.7.2.5.1. Macronutrientes

Dentro del grupo de los macronutrientes, tenemos los primarios: nitrógeno (Es absorbido del suelo bajo forma de nitrato (NO_3^-) o de amonio (NH_4^+)), fosforo y potasio, necesarios para el crecimiento de las plantas en grandes cantidades y los secundarios tenemos el magnesio, calcio y azufre.

Los suelos de Yachay en el extracto 1: 5 presentan concentraciones Nitrógeno muy bajas, por lo que su deficiencia retrasaría la coloración de las hojas en las puntas (clorosis). Un buen suministro de nitrógeno para la planta es importante también para la absorción de los otros nutrientes (FAO, 1986). El contenido Fósforo se encuentra en un nivel de medio a alto, este tipo de nutriente no presenta dificultad en la volatilización y lixiviación como los compuestos nitrogenados, sin embargo al tener una alta estabilidad presentan una baja solubilidad lo que ocasiona deficiencia de este nutriente (Fassbender, H., 1983). Los niveles de Potasio se encuentran en un nivel demasiado bajo, al ser otro nutriente necesario para la fertilización se encuentra en forma catiónica siendo el más abundante, su deficiencia se traduce en

debilidad del tallo, y su exceso puede interferir en la adsorción y disponibilidad de otros cationes como el Calcio y el Magnesio (FAO, 1986) (Figura 38).

Nutrientes Primarios: Perfiles de Suelo

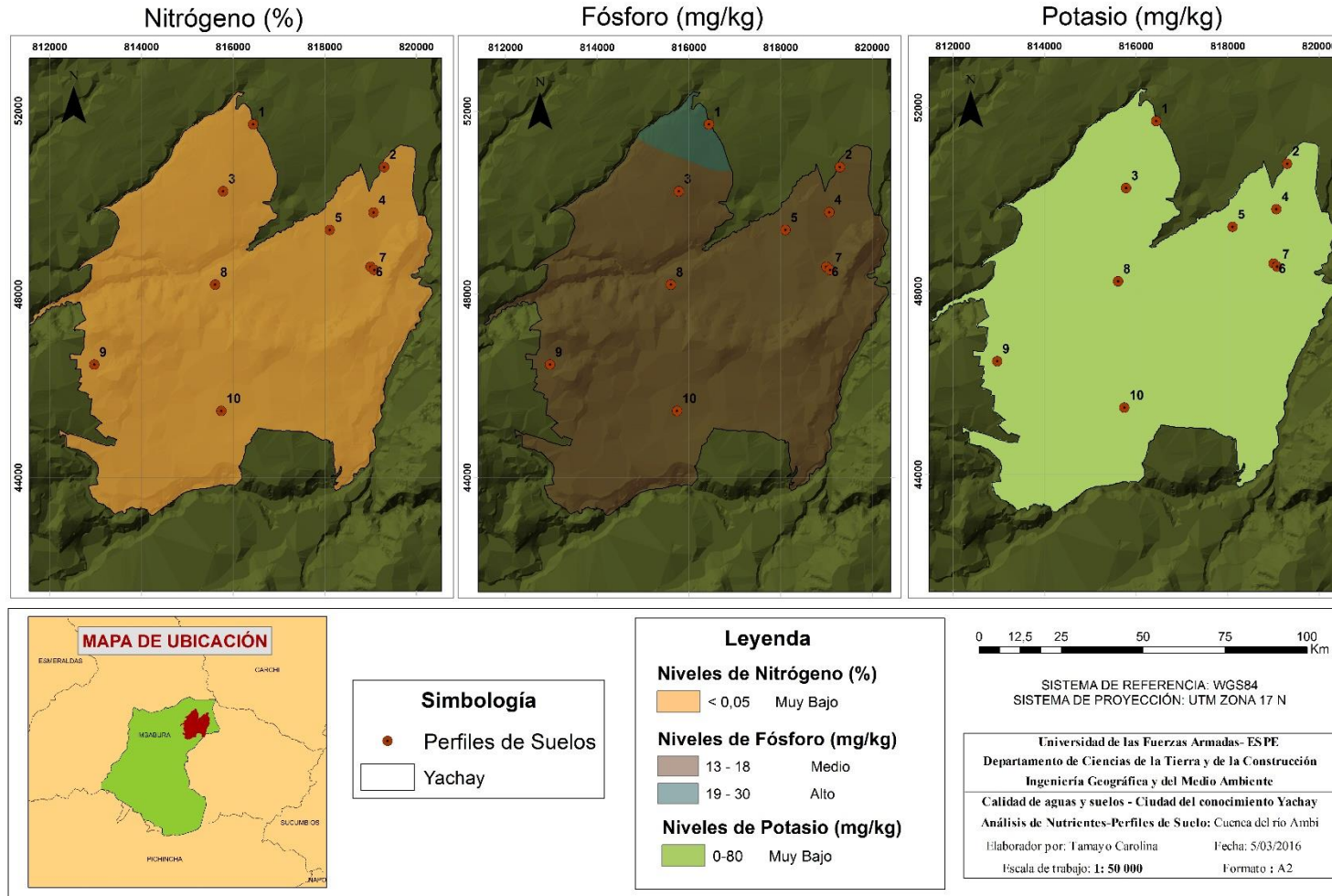
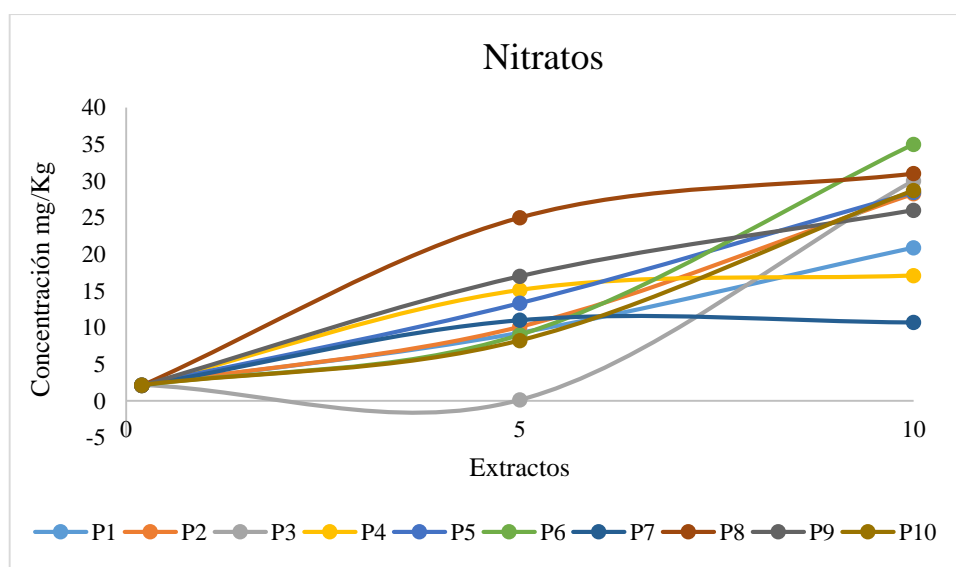


Figura 38: Mapa de Nutrientes primarios – Perfiles de Suelo de Yachay

4.7.2.5.1.1. Lixiviación de Macronutrientes

En la figura 39, se observa las curvas de lixiviación de los nutrientes primarios, a medida que aumenta el volumen de agua la concentración de nitratos, fosfatos y potasio aumenta. Los nitratos son móviles en el suelo, de manera que pueden ser lixiviados fácilmente con el incremento de precipitación. La alta solubilidad en agua favorece el potencial de lixiviación en condiciones aerobias y por ello se espera que en condiciones de anaerobias (bajo saturación) es decir en zonas de inundación aumente el potencial de lixiviación (Huertas, J., 2014). Los nitratos no son contaminantes, hasta que se lixivian por debajo de la zona de raíces, o son transportados lejos del sitio, por escurrimiento superficial. Cuando son lixiviados hacia las aguas subterráneas nos confrontamos con riesgos para personas y para animales, el potasio al igual que los nitratos es el catión que las plantas absorben rápidamente pero a su vez es uno de los nutrientes que se pierden por lixiviación, las concentraciones de K^+ en la relación 1:5 y 1:10 son superiores a las de saturación.

Los fosfatos al presentar una baja movilidad, en el extracto de saturación no presentan problemas de escasez de este nutriente por lo que no existe deficiencia de este nutriente al presentar escasas de precipitaciones.



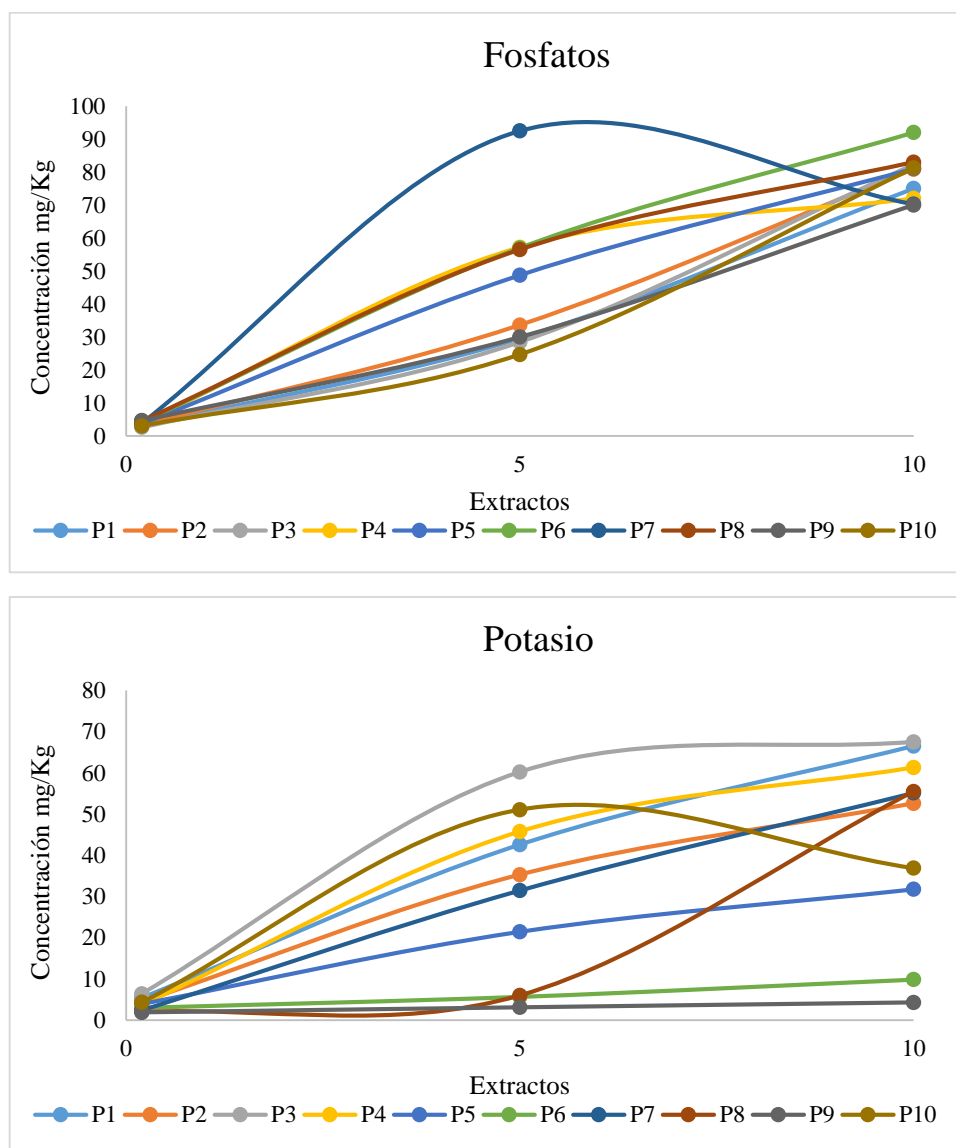
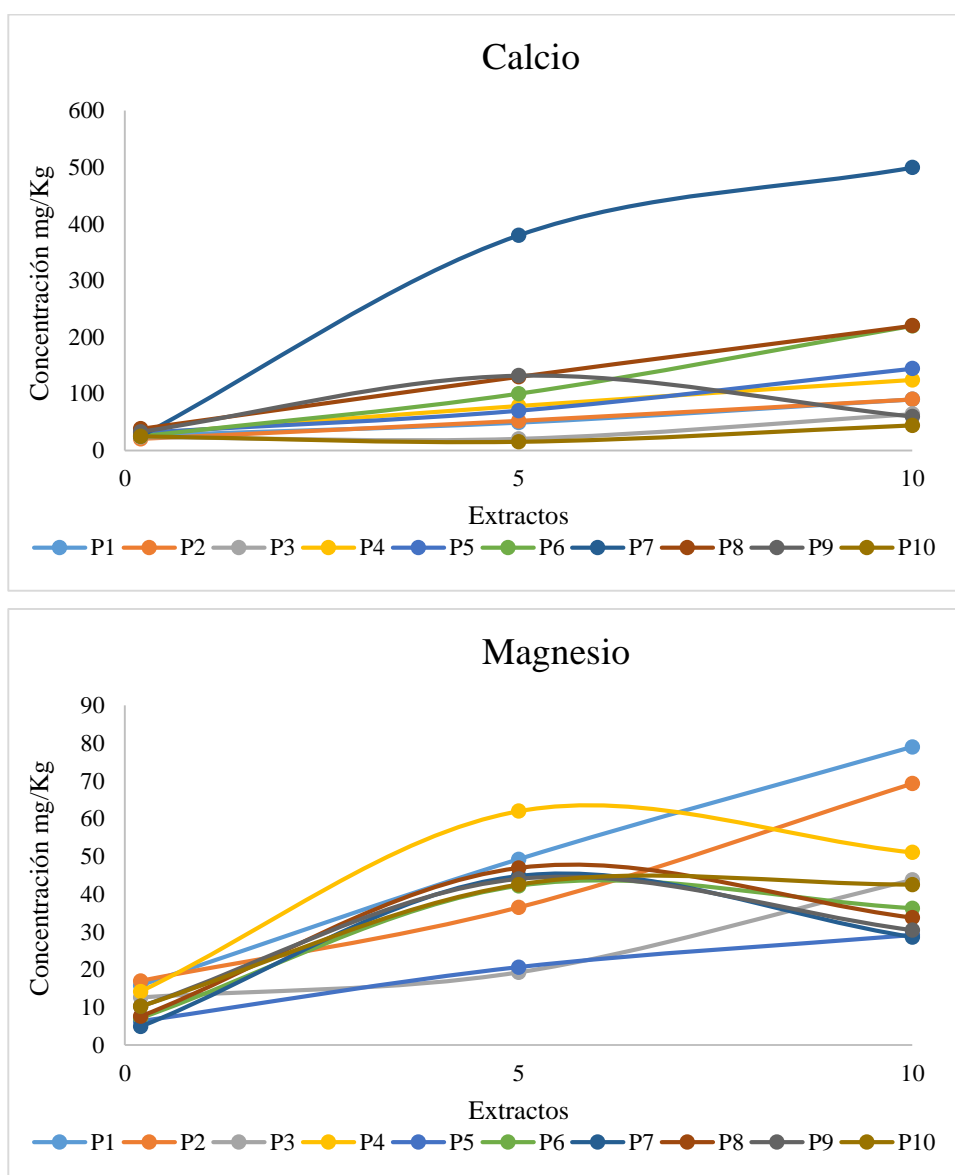


Figura 39: Lixiviación de los Nutrientes Primarios disponibles para las plantas.

Las curvas de lixiviación de los nutrientes secundarios a una profundidad de 30-40cm (Figura 40), presentan óptimos contenidos de estos nutrientes en las relaciones 1:5 y 1:10 (existe mayor volumen de agua), los cationes calcio y magnesio están relacionados con el ion sodio al presentar bajas concentraciones de calcio y magnesio el suelo puede presentar problemas de sodicidad, el calcio no presenta problemas con la pérdida de este catión al existir mayor precipitación, mientras que el magnesio y los sulfatos tienen un comportamiento diferente es así que las plantas pueden aprovechar estos nutrientes en profundidades mayores.

Los Sulfatos presentan valores en la relación 1:5 entre los 2.2 hasta los 7 mg/L por lo que se los considera deficientes en el suelo de Yachay, la presencia de sulfatos en el suelo no es muy frecuente por su facilidad de lavado, puesto que son compuestos de solubilidad relativamente alta, pueden lixiviarse en suelos arenosos y acumularse en horizontes de suelos arcillosos (Espinoza, *et. al*, 2012). La concentración de sulfatos se encuentra en óptimas condiciones en el extracto de saturación al igual que los nitratos.



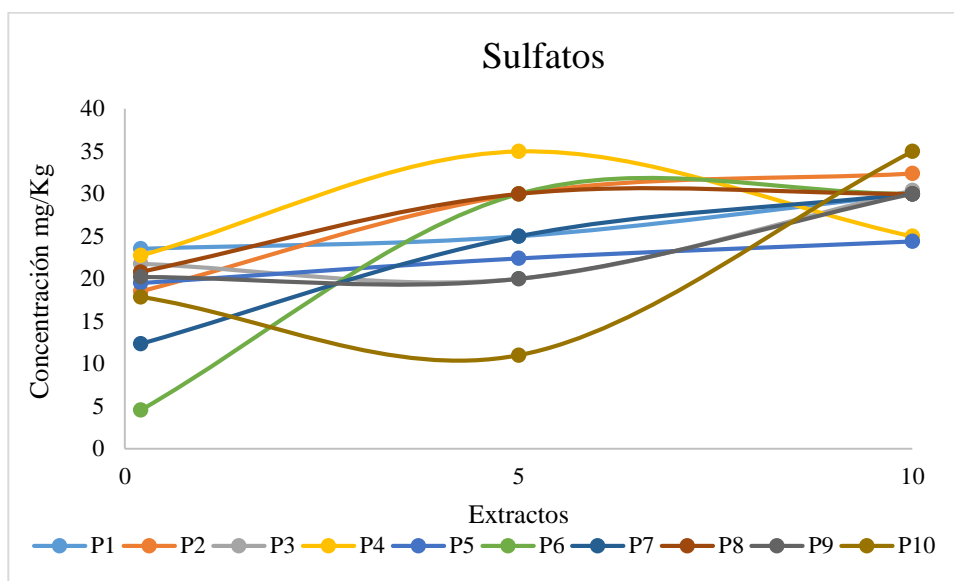


Figura 40: Lixiviación de Calcio, Magnesio y Sulfatos

4.7.2.5.2. Micronutrientes

Los micronutrientes o microelementos son el hierro (Fe), el manganeso (Mn), el zinc (Zn), el cobre (Cu), el molibdeno (Mo), el cloro (Cl) y el boro (B). Siendo el boro y el cloro dos iones que pueden generar toxicidad en las plantas, ellos son parte de sustancias claves en el crecimiento de la planta. Son absorbidos en cantidades minúsculas, su rango de provisión óptima es muy pequeño. Su disponibilidad en las plantas depende principalmente de la reacción del suelo.

El B en los cultivos varía dependiendo de su estructura y composición de la pared celular, las plantas absorben B de la solución del suelo principalmente en forma de ácido bórico (H_3BO_3). (Acuña, 2005). Es altamente soluble y depende del movimiento del flujo de agua del suelo, los suelos arenosos con buen drenaje son más propensos a tener deficiencias del micronutriente, El suministro en exceso de boro puede tener un efecto adverso en la cosecha subsiguiente. Durante periodos de sequía la parte superior del suelo se seca y los cultivos no son capaces de absorberlo de la solución del suelo y están expuestos a una deficiencia temporal o estacional. En la relación 1:5, el punto 9 presenta un bajo contenido de Boro, su deficiencia se la asocia a la textura del mismo según sea su proveniencia geológica y su alcalinidad (Trinidad *et al*, 2015), además de ser un micronutriente de muy poca retención este está sujeto a pérdidas por lixiviación (Silva *et al*, 2013). Los puntos presentan un contenido bajo de Boro, por lo que presentan problemas de este micronutriente

ocasionando Clorosis y necrosis de los puntos de crecimiento que progresa hacia el centro de las hojas, y más tarde hojas que se caen e incluso la muerte de la planta.

Los cloruros en la solución de suelo, pueden generar toxicidad a la planta cuando se encuentran en altas concentraciones (Tabla 32). Ejemplos de reducción de calidad son: disminución de materia seca en tubérculos de papa, y reducción de sacarosa extractable en caña de azúcar (PNA, 2015). Los niveles en los suelos de Yachay se encuentran entre los 3,4 y 8,77 meq/L, presenta deficiencia para los cítricos.

Tabla 32

Tolerancia de frutales y otros cultivos a diferentes niveles de cloruro en extracto saturado de suelo.

Frutales y Cultivos	Nivel de cloruro en extracto saturado de suelo	
	mmol/litro	ppm
Cítrico	10-25	350-875
Carozos	7-25	245-875
Aguacate	5-8	175-280
Uva	10-25	350-875
Berries	10	350
Fresa	05-8	175-280
Otros cultivos		
Remolacha	90	3.150
Tomate	39	1.365
Geranio	30	1.050

Fuente: Román, C., 2002

4.8. Medidas de manejo para los puntos con concentraciones críticas de Agua y Suelo

La clasificación de las aguas de la cuenca del río Ambi presentaron más del 50 % tanto en época seca como lluviosa como aguas altamente Salinas, el exceso de sales en el agua de riego puede ser un problema en suelos con mal drenaje, sin embargo existen sectores que necesitan el uso de estas aguas, es así que se darán algunas medidas para el uso de este tipo de aguas.

1. El riego por goteo ha sido el sistema más eficiente que mejor se adapta para los cultivos regados con aguas de mala calidad, se caracteriza en mantener la zona radical con altos niveles de humedad y bajos de salinidad por la continua

aplicación de agua. Al estar en continuo lavado permite que las sales no se concentren en la zona del cultivo afectando a su crecimiento (INTAGRI, 2015).

2. El uso de cultivos que se adaptan mejor a aguas salinas como las hortalizas como la remolacha, cebada que tienen mayor tolerancia a las sales, no se debería utilizar cebolla y la zanahoria ya que estos son cultivos muy sensibles y su crecimiento se puede ver afectado por las sales (Ayers, *et. al*, 1994).

Tabla 33

Cultivos Medianamente Tolerables a las Sales

Nombre (Nombre Científico)			
Cebada (<i>Hordeum vulgare</i>)	Calabacín (<i>Cucurbita pepo melopepo</i>)	Patata (<i>Solanum tuberosum</i>)	Cebolla (<i>Allium cepa</i>)
Algodón (<i>Gossypium hirsutum</i>)	Remolacha roja (<i>Beta vulgaris</i>)	Maíz dulce (<i>Zea mays</i>)	Zanahoria (<i>Daucus carota</i>)
Remolacha azucarera (<i>Beta vulgaris</i>)	Brócoli, Brécol (<i>Brassica oleracea botrytis</i>)	Boniato (<i>Ipomoea batatas</i>)	Judía (<i>Phaseolus vulgaris</i>)
Sorgo (<i>Sorghum bicolor</i>)	Tomate (<i>Lycopersicon esculentum</i>)	Pimiento (<i>Capsicum annuum</i>)	Nabo (<i>Brassica rapa</i>)
Trigo (<i>Triticum aestivum</i>)	Pepino (<i>Cucumis sativus</i>)	Lechuga (<i>Lactuca sativa</i>)	Espinaca (<i>Spinacia oleracea</i>)
Trigo (<i>Triticum turgidum</i>)	Col (<i>Brassica oleracea capitata</i>)	Rábano (<i>Raphanus sativus</i>)	Apio (<i>Apium graveolens</i>)

Para mantener un cultivo saludable es necesario mantener un buen manejo y uso de suelo, por lo que la zona de Yachay mantienen deficiencia de materia orgánica perdiendo la estabilidad en su estructura por lo que es un suelo que es desfavorable para los cultivos también la zona al presentar el 60% de los puntos una textura arenosa y franca arenosa los nutrientes que recibe los pierde fácilmente por la infiltración. Es así que se menciona a continuación las medidas de uso para este tipo de suelos.

1. Los métodos de mejoramiento para suelos arenosos, francos-arenosos consisten en añadir regularmente materia orgánica al suelo además de fertilizantes y nutrientes en forma lenta que ayude a las propiedades físicas y químicas del suelo.

Según la FAO, 2002 la labranza convencional es una de las principales causas de la grave pérdida de suelo ocasionando más erosión (pérdida de profundidad del suelo, nutrientes, materia orgánica y deterioro de las propiedades físicas) y degradación de los suelos, en especial en las zonas más cálidas, donde la capa superior de los suelos es más fina.

2. Se recomienda utilizar la labranza cero la cual básicamente consiste en mantener una cubierta orgánica permanente o semipermanente del suelo (por ejemplo, un cultivo en crecimiento o una capa de rastrojo) para protegerlo del sol, la lluvia y el viento, y permitir que los microorganismos y la fauna del suelo se ocupen de "arar" y mantengan el equilibrio de los elementos nutritivos, además de mantener la rotación de cultivos diversos para evitar enfermedades y plagas.
3. Los suelos de tipo arenosos al presentan considerables pérdidas de nutrientes y la generación de compost con estos suelos pueden ser utilizados posteriormente para el mejoramiento de su estructura.

El compost si se lo hace en un hueco rodeado por hojas, realizando capas se añade restos de los desechos generados en la cocina cada día. Es indispensable remover el montón cada mes, con el fin de ayudarlo a que se prepare mejor. Este toma tres o cuatro meses para presentarse oscuro y listo para su utilización.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES

- La mejor metodología para el relleno de datos en series temporales para la región andina del Ecuador fue el método de regresión lineal simple, siendo el más factible debido a la gran cantidad de datos faltantes que presentaron los registros del INAMHI obteniendo un r mayor al 0,9 cumpliendo la prueba de rachas y la curva de doble masa con un r igual a 1.
- El cálculo de la precipitación, evaporación y evapotranspiración media del sistema hidrográfico del Ambi se adaptó mejor por el método de Isoyetas, por ser una zona andina presentando la mayor parte del área una pendiente ondulada con una precipitación media anual de 589.18 mm, la evaporación y evapotranspiración media se obtuvo 1247,23 y 201,91 mm anuales.
- La zona que presentan valores entre los 800 y 1900 mm es la zona alta de la cuenca a 3 140 m.s.n.m, mientras que la zona ubicada cerca del Chota registra valores de 400 a 1 200 mm durante un periodo de 33 años, las zonas de Otavalo, Antonio Ante, Cotacachi y Urcuqui, sector en el que se asienta las instalaciones de Yachay se ven beneficiadas por el aporte que reciben de agua por parte de la zona Alta de la Cuenca. Mensualmente se ven afectados por las sequías en los meses de Junio a Septiembre.
- La evaporación influye en la composición química de las aguas aumentando su concentración en época seca mientras que en época lluviosa la composición disminuye. Sin embargo existen varios factores que influyen en la concentración como el punto 24 y 25, en época seca en el que existe registro en campo de la presencia de relleno sanitario que por los lixiviados que se generan en los suelos existe mayor presencia de Cloruros.
- El análisis de nutrientes requeridos para evaluar la calidad de agua de riego cumplió el 66% en época seca y lluviosa mientras que el 34 % correspondiente al potasio supera los 2 mg/L en las dos épocas.
- Los cationes calcio y magnesio tanto en época seca y lluviosa se encuentra en el rango óptimo de 0-20 meq/L y 0-5 meq/L respectivamente cumpliendo el 100%,

mientras que el anión bicarbonato cumplen el rango óptimo para su uso, los carbonatos presentaron concentraciones fuera de rango en cuatro puntos en época seca y dos en época lluviosa . Los sulfatos cumplieron el 100% de las muestras encontrándose en el rango óptimo tanto en época seca como lluviosa.

- En cuanto a los problemas que influyen en la calidad del agua, el 68% de las muestras en época seca no presen restricción de Cloruros mientras que el 40 % en época lluviosa no presenta restricción. La concentración de Boro el 91% no presenta restricción en época seca y el 64% en época lluviosa. La salinidad el 24% no presentan restricción en su uso en época seca y en época lluviosa presenta el 36%.
- La Salinidad en el suelo en época seca el 65.3% de los puntos presentan aguas altamente salinas y en época lluviosa el 54.54% por lo que no se presentó una variación significativa en el aumento de sales, esto se debe a que el abastecimiento de agua de la cuenca del río Ambi es principalmente proporcionada por agua que baja de la zona alta en donde se registró mayor volumen de agua.
- Los suelos de Yachay el 10% fueron caracterizados como suelos arenosos el 50% como suelos franco-arenoso y el 40 % como suelos Franco, con rangos de porosidad de 42 a 49%, con los cuales se concluyó que en la ciudad del conocimiento Yachay se encuentran suelos porosos con un pH de neutro a ligeramente alcalino, sin problemas de sales y con bajo porcentaje de materia orgánica, presenta una deficiencia de los nutrientes N y K.
- Los valores de conductividad eléctrica del suelo no superan los 0.98 dS/m por lo que los efectos de salinidad son despreciables en los cultivos y en los diferentes tipos de organismos, resultando ser suelos no salinos.
- El pH del suelo varía entre los 6,5 a 8,5 siendo suelos neutros y ligeramente alcalinos, donde los efectos tóxicos de los elementos son mínimos. Cuando el pH es muy acido, hay una intensa alteración de minerales y la estructura se vuelve inestable. Uno de los elementos que no produce ningún tipo de problema en su disponibilidad para las plantas para valores de pH entre 5.5 y 8 en los que serían beneficiados los perfiles estudiados.

- La materia orgánica en los perfiles de suelo es escasa varías entre el 0% y 0,28% ocasionando una débil estructura en el suelo además de disminuir la retención de nutrientes en el suelo.
- En los diferentes perfiles de suelo se obtuvo una tendencia franco arenosa, por lo que los suelos presentan deficiencia en la retención de los nutrientes, sin embargo este tipo de suelos se adaptan a las condiciones de riego con aguas altamente salinas por su capacidad de drenaje, a su vez los nutrientes no permanecerán el tiempo que la planta necesita para su crecimiento, ocasionando deficiencia de nutrientes. El riego por goteo es el mejor método que se utiliza para aguas del tipo C3S1 con la utilización de los cultivos tolerantes a las sales.

Bibliografía

1. Acuña, A. (2005). *Los suelos como fuente de boro para las plantas*. Postgrado en Agricultura Tropical. Venezuela, Campus Juanico, Universidad de Oriente-Núcleo de Monagas, Maturínestado Monagas
2. Aguilar, A. B. (2011). *El suelo de cultivo y las condiciones climáticas* (UF0001). España: IC Editorial. Retrieved from <http://www.ebrary.com>
3. Alarcón, A. (2001). *El Boro como nutriente esencial*. Horticom. Pp.11
4. Allen, R., Pereira, L., Raes, D., y Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Estudio FAO, Riego y Drenaje. Vol. 56.
5. Álvarez, R. (1995). *Estadística multivariante y no paramétrica con SPSS*. España: Novimar.
6. Andrades M., & Martínez, M. (2014). “*Fertilidad del suelo y parámetros que la definen.*” Universidad de La Rioja, Servicio de Publicaciones. Disponible en Google Académico. [En línea]. [Accesado el día 27 de julio de 2015].
7. Aparicio, F. (2012). *Fundamentos de Hidrología de superficie*. México: LIMUSA S.A.
8. Apollin, F. (2004). *Riego Campesino en el Ecuador*. Agronomes y Veterinaires Sans Frontier, 1(1), 1-4.
9. Asociación Española de Fabricantes de Agro nutrientes. (2009). *Clasificación de pH*. Recuperado de <http://aefa-agronutrientes.org/glosario-de-terminos-utiles-en-agronutricion/clasificacion-del-ph>
10. Ayers, R., y Westcot, D. (1994). *Water Quality for Agriculture*. FAO irrigation and drainage. No.29.
11. Badia, D. (1992). *Suelos afectados por Sales*. Butll.Soc. Cat.Cien, 8, 609-629.
12. Bardán, M. V. (1991). *La Calidad Agronómica de las aguas de riego*. España
13. Bertsch, F. (1995). *Manual para interpretar la fertilidad de los suelos de Costa Rica*. Universidad de Costa Rica.
14. Brazales, A. (2000). *La Agricultura Sustentable como una alternativa de desarrollo para el sector agrícola ecuatoriano*. Tesis de Maestría. Universidad Andina Simón Bolívar, Quito.

15. Brown, PH. 2011. *Boro: Probablemente el mayor mercado de micronutrientes por desarrollar en el mundo*. Biblioteca virtual de fertilidad y fertilizante <http://www.fertilizando.com>
16. Caballero, I. (2013). *Análisis de la Homogeneidad de las Series de Precipitación de Guipúzcoa*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Agencia Estatal de Meteorología. Gobierno de España. p. 119
17. Carrera, D. V. (2011). *Salinidad en Suelos y Aguas Superficiales y Subterráneas de la Cuenca Evaporítica de Río Verde-Matehuala, San Luis de Potosí*. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados: Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas, México.
18. Carrera, D., Crisanto, T., Guevara, P., y Maya, M. (2015). *Relación entre la composición química inorgánica del agua, la precipitación y la evaporación en la Cuenca de Río Grande, Chone, Ecuador*. *Ecuador. UTE*, 6 (1), 25-34.
19. Carrera, D., Guevara, P., Tamayo, C., y Guallichico, D. (2015). *Análisis Multivariado de las aguas de la subcuenca del río ambi en época de estiaje y su relación con la calidad desde el punto de vista agrícola*. *Revista Geoespacial*, 10, 117-123
20. Carrera, D., Ortega, H., Ramírez, J., Ramírez, C., Trejo, C., y Becerril, A. (2011). *Boro, fosfatos e índices de salinidad del sistema hidrográfico Zahuapan-Atoyac, México*. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 2(2), 5-21.
21. Carrera, D.V. (2013). *Salinidad, Fosfatos, Nitratos y problemas de infiltración en las aguas de irrigación del Cantón Milagro, Ecuador*. *Revista Ciencia Unemi*, 6 (9), 85-95.
22. Cassanova, E. (2005). *Introducción a la Ciencia del Suelo*. Universidad Central de Venezuela: Caracas.
23. Castro, P. M. (Ed.). (2008). *Sistema de riego automatizado en tiempo real con balance hídrico, medición de humedad del suelo y lisímetro*. *Agricultura Técnica en México*, 34(4), México: Red Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Retrieved from <http://www.ebrary.com>
24. Chow, V., Maidment, D., Mays, L. (2009). *Hidrología Aplicada*. Colombia: McGRAW-HILL.

25. Córdoba, S., Zea, J., y Murillo, W. (2006). *Estimación de la precipitación media, evaluación de la red pluviométrica y cuantificación del balance hídrico en la cuenca del río Quito en el departamento del Chocó*, Colombia. *Meteorología Colombiana*. No. 10., 100-110.
26. Cruz, A., Etchevers, J., Del Castillo, F., y Gutiérrez, C. (2004). *La Calidad del Suelo y sus indicadores*. *Ecosistemas*, 13(2) , 90-97.
27. Ecuambiente Consulting Group. (2014). *Estudio de Impacto Ambiental de la ciudad del Conocimiento Yachay*. Ecuador: Imbabura.
28. Eguez, A., Aspden, J., Baez, N., Beate, B., Benitez, S., y Van, F. (2011). *Mapa Geológico de la República del Ecuador*.
29. Espinoza, L., Slaton, N., y Mozaffari, M. (2012). *Como Interpretar los Resultados de los Análisis de Suelos*. *Agricultura y Recursos Naturales*, 1-4.
30. ESRI. (2013). *IDW*. ArcGIS Resources. Obtenido de
31. FAO. (2002). *Los Fertilizantes y su Uso* (4ta edición). [En línea] <http://www.fao.org/3/a-x4781s.pdf>
32. FAO. (2002). *Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos*. [En línea] <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/lw8s.pdf>.
33. FAO. (2013). *El manejo del suelo en la producción de hortalizas con buenas prácticas agrícolas*.
34. Fassbender, H. (1983). *Suelos y Sistemas de Producción Agroforestales*. CATIE: Costa Rica.
35. Fernández, E. (2009). *La calidad de las aguas en función de su uso*. Madrid: Grafinat.
36. Figueruelo, F., y Dávila, M. (2004). *Química Física del Ambiente y de los procesos medio ambientales*. España y México: Reverte. Pp.466
37. Forsythe, W. (1985). *Física de Suelos*. Costa Rica: IICA. Pp. 18
38. García, Álvaro. (2012). *Criterios Modernos para Evaluación de Calidad de Agua para Riego*. International Plant Nutrition Institute, 7, pp. 34.
39. Garrido, S. (1994). *Interpretación de Análisis de Suelos*. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación: España.
40. Guevara, J.M. (2003). *Métodos de estimación y ajuste de datos climáticos* (2da edición). Caracas: Universidad Central de Venezuela.

41. Gurrea, M. T. (2006). *Análisis de Componentes Principales*, 1–11
42. Guzmán, V., y Narváez, R. (2010). *Línea base para el monitoreo de la calidad de agua de riego en la demarcación hidrográfica del Guayas*. Quito: SENAGUA
43. Hamlet, M. C. (1999). *Informaciones Agronómicas: Es su agua de riego adecuada para los cultivos*. Potash and Phosphanate Institute, 3(5).
44. Harris, D. (2003). *Análisis químico cuantitativo*. Barcelona. REVERTE
45. Huertas J., 2014. *Lixiviación En Columna De Suelo De Los Herbicidas Metsulfurón Metilo. En Suelos Arroceros De Los Municipios De Espinal Y Prado (Tolima)*. [En línea] <http://www.bdigital.unal.edu.co/43401/1/197533.2014.pdf>. [Último acceso: 13, sábado Enero 2016].
46. Instituto Ecuatoriano de Normalización. (1998). *Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 2 169: 98): Agua, Calidad del Agua, Muestreo, Manejo y Conservación de muestras* (1era edición). Quito.
47. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC]. (2010). *Ficha de datos del cantón san miguel de Urcuquí*. Quito.
48. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMH). *Anuarios Meteorológicos publicados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología*, Quito, Ecuador.
49. INTAGRI. (2015). *Como lograr eficiencia en el riego cuando se usan aguas salinas*.
50. Jiménez, B.E. (2001). *La Contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada*. México: Limusa, Pp 194.
51. Kass, D. (1998). *Fertilidad en los Suelos*. Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia San José
52. Lapeña, M. (1990). *Tratamiento de aguas industriales: Aguas de proceso y residuales*. España: Boixareu
53. Lavie, E., Bermejillo, A., y Morábito, J. A. (2011). *Contaminación por fosfatos en el oasis bajo riego del río Mendoza*. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. 42(1): 169-184, Retrieved from <http://www.ebrary.com>
54. Lind, D.A., Marchal, W. G., y Mason, R. D. (2004). *Estadística para Administración y Economía* (11va edición). Colombia: Algaomega, 458-464
55. Manahan, S. (2007). *Introducción a la Química Ambiental*. México: Reverte

56. Melitón, A. (1995). *Fundamentos de Química del Suelo*. Venezuela: Anauco. Pp. 203w
57. Mongay, C. (2005). *Quimiometría*. Universidad de Valencia. p-88
58. Monsalve, G. (2009). *Hidrología en la Ingeniería*. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
59. Montaner, M. y Almohalla, E. (1988). *Aproximación, por el método de Thornthwaite, al cálculo de infiltración de lluvia útil*. Papeles de la Geografía. Vol. 14. 223-23.
60. Moro, A. (2015). *Relaciones catiónicas y su interpretación en los análisis de suelos*. Universidad de Valladolid. Recuperado de:
61. Munchara, M. (2013). *Proyecto y Diseño de áreas verdes*. España: Mundi-Prensa
62. Murillo, D., Ortega, I., Carrillo, J., Pardo, A., y Rendón, J. (2012). *Comparación de métodos de interpolación para la generación de mapas de ruido en entornos urbanos*. USBMed. 3, 62-68.
63. Natural Resources Conservation Service [USDA]. *Indicators for Soil Quality Evaluation*. Agricultural Research Service,
64. Navarro, B. S., y Navarro, G. G. (2008). *Química agrícola: el suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal* (2a. ed.). España: Mundi-Prensa. Retrieved from <http://www.ebrary.com>
65. Navarro, G. & Simón, N., (2013). *Química Agrícola: Química del suelo y de nutrientes esencial*. España: Mundi-Prensa, p. 66.
66. Nijensohn, L. (1998). *Determinación del nivel de salinidad edáfica a partir del quíntuple extracto de Saturación*. Ciencia del Suelo, 6(1), 8-13.
67. NOM-021-RECNAT-2000. *Norma Oficial Mexicana que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis*. p. 85
68. Núñez, J. (1998). *Fundamentos de Edafología*. San José: EUNED.
69. Nuñez, S. (1981). *Fundamentos de Edafología*, Costa Rica: EUNED, Pp. 67
70. Oeihuela, D., Hernández, J., Pérez, S., y Marijuan, L. (2005). *Estudio de la variación y evolución de índices de calidad agroquímicos e hidroquímicos de las*

aguas drenadas de columnas de suelos calizos de Andalucía. Estudio de la Zona no saturada del Suelo. Vol. 8, 359-360

71. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación [FAO]. (2009). *Guía para la descripción de Suelos*. Roma
72. Organización Meteorológica Mundial [OMM]. (2006). *El Clima y la Degradación de las Tierras*, OMM-N°989, Edición 2006
73. Organización Meteorológica Mundial [OMM]. (2011). *Guía de Prácticas Climatológicas*, OMM-N°100, Hidrología de la medición a la información hidrológica (6ta edición)
74. Pacheco, D., Andrade, D., y Alvarado, A. (2014). *Estratigrafía Cuaternaria de la Cuenca San Antonio de Pichincha*. Escuela Politécnica Nacional [EPN], 33(3), 1-9.
75. Pacheco, J., y Cabrera, A. (2006). *Fuentes principales de nitrógeno de nitratos en aguas subterráneas*. Revista de Ingeniería, 7 (2), 47-54. Retrieved from <http://www.ebrary.com>
76. Pikul, J., y Allmaras, R. (1986). *Physical and chemical properties of a Haploxeroll after fifty years of residues management*. SOIL SCI.
77. Porta, C. J., López, R. M., y Roquero, D. L. C. (2008). *Edafología: para la agricultura y el medio ambiente* (3a. ed.). España: Mundi-Prensa. Retrieved from <http://www.ebrary.com>
78. Porta, J., López, M., y Poch, R. (2014). *Edafología: Uso y Protección de Suelos* (3era edición). España: Mundi Prensa.
79. Richards, L. A. (1954). *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*. Washington D.C. : Agriculture Handbook. No 60.
80. Roldán, G., & Ramírez, J. (2008). *Fundamentos de limnología netropical* (2a. ed.). Colombia: Universidad de Antioquía.
81. Sadzawka R., Anderson, C., y Reitemeier, R. (2004). *Liming soil, an aid to better farming*. USDA: Farmers Bul. No.8, Pp1-8
82. Sánchez, E., Ortega, H., Sandoval, G., Hernández, R., y Estrada, C. (2012). *Lavado de sales en suelos aluviales costeros de Oaxaca, México, con aguas residuales municipales tratadas*. Revista Internacional de Contaminación Ambiental. 28(4). 343-360.

83. Sánchez, R., Dunel, L., y Scherger, M. (2015). *Evaluación de las áreas bajo riego afectadas por salinidad y/o sodicidad en Argentina*. Argentina: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca.
84. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2002). *Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000: Especificaciones de Fertilidad, Salinidad y Clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis* (2da edición). México.
85. Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo [SENPLADES]. (2011). *Identificación de la sede para la Ciudad del Conocimiento Yachay*. Ecuador.
86. Secretaría Nacional del Agua del Ecuador [SENAGUA], Secretaría General de la Comunidad Andina, Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza [UICN]. (2009). *Delimitación y Codificación de Unidades Hidrográficas del Ecuador: Metodología PFAFSTETTER*. Quito.
87. Sepúlveda, T. V., Velasco, J. A., y De la Rosa, D.A. (2005). *Suelos Contaminados por metales y metaloides: Muestreo y Alternativas para su remediación* (1era edición). México: INE-SEMARNAT.
88. Sierra C., Rojas C., 2000. *La materia orgánica y su efecto en las características físico-químicas y Biológicas del suelo*. [En línea] <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/serieactas/NR29542.pdf> [Último acceso: 16, Martes Febrero 2016]
89. Silva, D., Mesquita, M., Souza, C., y Correa, T. (2013). *Boro aplicado simultaneamente a al cultivo de girassol*. Revista Global Science and Tecnology.
90. Simes, L. E. (2011). *Introducción a la química general (1ra. ed.)*. Argentina: Jorge Sarmiento Editor - Universitas. Retrieved from <http://www.ebrary.com>
91. Solís, J. N. (2000). *Fundamentos de Edafología* (3ra reimpresión). Costa Rica: EUNED.
92. Taboada, M.A.; Álvarez, C.R. (2008). *Fertilidad física de los suelos. 2da Ed.* Editorial Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires.
93. Tarbuck, E. J., y Lutgens, F. K. (2005). *Ciencias de la Tierra: Una Introducción a la Geología Física* (8va ed). Madrid: Pearson.
94. Thompson, L., y Troeh, F. (2002). *Los suelos y su fertilidad*. España: Reverte.

95. Trinidad, S., Álvarez, J., Recalde, C., Figueredo, J., y González, A. (2015). *Fertilización foliar con boro en el cultivo de la soja*. *Investigación Agraria*, 17(2), 129-137.
96. U.S. Department of Agriculture [USDA]. (1993). *Soil Survey manual. Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture*. [En línea] http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/ref/?cid=nrcs142p2_054262
97. U.S. Department of Agriculture [USDA]. (1999). *Guía para la Evaluación de la Calidad de aguas y Suelos*. EEUU. [En línea] http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044786.pdf.
98. Universidad Agraria del Ecuador. (2004) *La Salinidad de los suelos y sus efectos en la Agricultura*. Guayaquil: PROMSA
99. Valverde, C., y García, J. (1966). *Consideraciones Generales acerca del efecto de las sales en los suelos y en la producción. Salinidad*. Simposio llevado a cabo en el Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Costa Rica.
100. Vidal, M., Suárez, M., Gómez, R., y Ramírez, L. (1994). *Ecología de las aguas Continentales: prácticas de Limnología*. España: Universidad de Murcia. Pp.45
101. Villarroel, J. (1988). *Manual práctico para la interpretación de análisis de suelos en laboratorio*. AGRUCO: Bolivia
102. 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*. *Agronomía Costarricense*, P. 12.
103. Votano, J.R., Parham, M., Hall, L. (2004). *El vivir bien como respuesta a la crisis global*. Bolivia.

