

# TABLA DE CONTENIDO

## 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Formulación del problema .....	1
1.2. Hipótesis de trabajo.....	2
1.3. Objetivos .....	2
1.3.1 Objetivo general .....	2
1.3.2 Objetivos específicos.....	2

## 2. ANTECEDENTES GENERALES

2.1. Zona de estudio .....	3
2.2. Antecedentes históricos y actividades industriales en la zona de estudio .....	4
2.3. Clima y régimen de vientos .....	8
2.4. Marco Geológico .....	10
2.4.1. Rocas volcanosedimentarias .....	10
2.4.1.1. Formación Ajial (Ja).....	10
2.4.1.2. Formación Caleta Horcón (Th).....	11
2.4.1.3. Formación Confluencia (Tc) .....	11
2.4.2. Intrusivos.....	11
2.4.2.1. Unidad Cochoa (Pzc).....	11
2.4.2.2. Superunidad Mincha.....	11
2.4.2.2.1. Unidad Puerto Oscuro (Jmi2).....	11
2.4.2.2.2. Unidad Tranquila (Jmi3) .....	12
2.4.2.2.3. Unidad Cavilolén (Jmi4) .....	12
2.4.3. Depósitos no consolidados .....	12
2.4.3.1. Sedimentos eólicos antiguos (Pqd) .....	12
2.4.3.2. Terrazas de depósitos marinos (Qtm) .....	12
2.4.3.3. Sedimentos eólicos y litorales recientes (Qel).....	12
2.4.3.4. Sedimentos aluviales y coluviales (Qac).....	12
2.5. Marco Agrológico.....	13
2.5.1. Definición y formación de suelos.....	13
2.5.2. Elementos traza y contaminación en suelos.....	14
2.5.3. Normativas internacionales sobre contaminación en suelos .....	16
2.5.4. Suelos de la zona de estudio.....	17
2.5.5. Series de suelo.....	17

2.5.5.1. Catapilco (CPC).....	18
2.5.5.2. Loncura (LNR) .....	18
2.5.5.3. Lo Vásquez (LVZ).....	19
<b>3. METODOLOGÍA</b>	
3.1. Antecedentes previos .....	20
3.2. Muestreo .....	20
3.1.1. Implementos utilizados en el muestreo .....	20
3.1.2. Toma de muestras.....	21
3.1.3. Plan de muestreo .....	21
3.1.3.1. Escala no urbana.....	22
3.1.3.2. Escala urbana.....	23
3.1.3.3. Muestreo en series agrológicas.....	25
3.1.3.4. Muestreo en roca .....	25
3.3. Análisis de laboratorio .....	25
3.3.1. Digestión ácida.....	26
1 3.3.2. ICP-MS.....	26
1 3.3.3. Difracción de Rayos X (DRX).....	27
3.4. Procesamiento de datos.....	27
3.4.1. Control de calidad y validación de datos .....	27
3.4.1.1. Límite de detección .....	27
3.4.1.2. Análisis de calidad de datos .....	28
3.4.1.3. Validación de base de datos .....	30
3.4.2. Cálculo de valores del fondo geoquímico natural.....	30
3.4.3. Análisis de Componentes Principales .....	33
3.4.4. Factor de Enriquecimiento (FE).....	34
3.4.5. Interpolación Espacial .....	35
<b>4. RESULTADOS</b>	
4.1. Estadística básica de la concentración de elementos en la zona de estudio y comparación con estándares internacionales de calidad de suelos.....	36
4.2. Cálculo de valores del fondo geoquímico a partir de muestras naturales.....	39
4.3. Factor de enriquecimiento (FE) .....	44
4.4. Análisis de componentes principales.....	50
4.5. Análisis mineralógico .....	53
<b>5. DISCUSIONES</b>	

5.1. Análisis de procedencia según concentraciones, enriquecimiento, asociaciones geoquímicas y mineralogía. ....	56
<b>6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	59
<b>7. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	61
<b>ANEXOS</b>	
A. Control de Calidad de muestras .....	67
B. Análisis ICP-MS .....	71
C. Histogramas con concentraciones máximas aceptables.....	80
D. Diagramas de Caja .....	84
E. Factor de enriquecimiento y mapas factor de enriquecimiento .....	97
F. Análisis de Componentes Principales y Matriz de correlación de Pearson .....	114
G. Difractogramas.....	120

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2.1:</b> Registro histórico del Complejo Industrial Ventanas. ....	5
<b>Tabla 2.2:</b> Macronutrientes y micronutrientes para el óptimo funcionamiento de los organismos vivos...	15
<b>Tabla 2.3:</b> Categorías de ocurrencia de los elementos traza en suelos.....	15
<b>Tabla 2.4:</b> Propuesta de concentraciones máximas aceptables (CMA) de elementos traza en suelos agrícolas (ppm).....	16
<b>Tabla 3.1:</b> Resumen de muestras tomadas en la zona de estudio. ....	22
<b>Tabla 3.2:</b> Elementos bajo el LDD con cantidad de muestras y % respectivo.....	28
<b>Tabla 3.3:</b> Cantidad de muestras por bloque de análisis de concentración con respectiva cantidad de blancos, duplicados y material certificado. ....	29
<b>Tabla 4.1:</b> Estadísticas básicas de datos geoquímicos obtenidos para muestras urbanas y no urbanas para los 19 elementos seleccionados.....	38
<b>Tabla 4.2:</b> Resumen estadístico de los 19 elementos analizados para las 61 muestras consideradas para el cálculo del fondo geoquímico natural. ....	39
<b>Tabla 4.3:</b> Comparación de métodos estadísticos para valor del fondo geoquímico de 19 elementos analizados. ....	40
<b>Tabla 4.4:</b> Cantidad de muestras y % respectivo a partir de su factor de enriquecimiento en categorías según Sutherland (2000) para los 19 elementos analizados. ....	46
<b>Tabla 4.5:</b> Resumen de fases minerales encontrados en difractogramas y semi-cuantificación de las 30 muestras analizadas. ....	55
<b>Tabla A.1:</b> Control de calidad de bloque 1 de muestras.....	67
<b>Tabla A.2:</b> Control de calidad de bloque 2 de muestras.....	69
<b>Tabla A.3:</b> Control de calidad de bloque 3 y 4 de muestras.....	70
<b>Tabla B.1:</b> Concentraciones químicas de los 19 elementos seleccionados para el estudio mediante análisis de ICP-MS.....	71
<b>Tabla F.1:</b> Cargas factoriales de análisis de componentes principales para muestras agrológicas. ....	114

<b>Tabla F.2:</b> Matriz de correlación de Pearson para los 19 elementos seleccionados para muestras agrológicas. ....	115
<b>Tabla F.3:</b> Cargas factoriales de análisis de componentes principales para muestras no urbanas enriquecidas. ....	116
<b>Tabla F.4:</b> Matriz de correlación de Pearson para los 19 elementos seleccionados para muestras no urbanas enriquecidas. ....	117
<b>Tabla F.5:</b> Cargas factoriales de análisis de componentes principales para muestras no urbanas no enriquecidas. ....	118
<b>Tabla F.6:</b> Matriz de correlación de Pearson para los 19 elementos seleccionados para muestras no urbanas no enriquecidas. ....	119

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.1:</b> Mapa general de la zona de estudio a escala 1:150.000. ....	3
<b>Figura 2.2:</b> Mapa a escala 1:25.000 de las principales empresas del CIV en la bahía de Quintero. ....	8
<b>Figura 2.3:</b> Porcentaje de casos de direcciones del viento a distintos períodos del día. ....	9
<b>Figura 2.4:</b> Comportamiento diario de la intensidad del viento promedio en noviembre 2013. ....	10
<b>Figura 2.5:</b> Comportamiento de la dirección y velocidad del viento en noviembre 2013. ....	10
<b>Figura 2.6:</b> Mapa geológico a escala 1:160.000 de la zona de estudio. ....	13
<b>Figura 2.7:</b> Mapa de ubicación de las series agrológicas en la zona de estudio. ....	19
<b>Figura 3.1:</b> Esquema de la recolección de muestras en cada punto. ....	21
<b>Figura 3.2:</b> Distribución de puntos muestreados a escala no urbana. ....	23
<b>Figura 3.3:</b> Ubicación de muestras a escala urbana. ....	24
<b>Figura 4.1:</b> Histograma de Cu para muestras urbanas y no urbanas. ....	36
<b>Figura 4.2:</b> Histograma para Cd para muestras urbanas y no urbanas. ....	37
<b>Figura 4.3:</b> Diagrama de caja Fe para series agrológicas y muestras geológicas. ....	41
<b>Figura 4.4:</b> Diagrama de caja para Cu para series agrológicas y muestras geológicas. ....	43
<b>Figura 4.5:</b> Factor de enriquecimiento para el Cobre a escala 1:150.000. ....	47
<b>Figura 4.6:</b> Comparación de mapas de factores de enriquecimiento para Cu, As y Pb a escala de 1:135.000. ....	48
<b>Figura 4.7:</b> Factor de enriquecimiento para el Hierro a escala 1:150.000. ....	49
<b>Figura 4.8:</b> ACP para muestras agrológicas. ....	51
<b>Figura 4.9:</b> ACP para zona no urbana enriquecida. ....	52
<b>Figura 4.10:</b> ACP para zona no urbana no enriquecida. ....	53
<b>Figura C.1:</b> Histograma de V para muestras urbanas y no urbanas. ....	80
<b>Figura C.2:</b> Histograma de As para muestras urbanas y no urbanas. ....	80
<b>Figura C.3:</b> Histograma de Zn para muestras urbanas y no urbanas. ....	81
<b>Figura C.4:</b> Histograma de Pb para muestras urbanas y no urbanas. ....	81
<b>Figura C.5:</b> Histograma de Mo para muestras urbanas y no urbanas. ....	82
<b>Figura C.6:</b> Histograma de Ni para muestras urbanas y no urbanas. ....	82
<b>Figura C.7:</b> Histograma de Cr para muestras urbanas y no urbanas. ....	83
<b>Figura C.8:</b> Histograma de Co para muestras urbanas y no urbanas. ....	83
<b>Figura D.1:</b> Diagrama de caja Na para series agrológicas y muestras geológicas. ....	84

<b>Figura D.2:</b> Diagrama de caja Mg para series agrológicas y muestras geológicas.....	85
<b>Figura D.3:</b> Diagrama de caja K para series agrológicas y muestras geológicas.....	85
<b>Figura D.4:</b> Diagrama de caja Ca para series agrológicas y muestras geológicas.....	86
<b>Figura D.5:</b> Diagrama de caja Bi para series agrológicas y muestras geológicas.....	86
<b>Figura D.6:</b> Diagrama de caja Sc para series agrológicas y muestras geológicas.....	87
<b>Figura D.7:</b> Diagrama de caja V para series agrológicas y muestras geológicas.....	87
<b>Figura D.8:</b> Diagrama de caja Cr para series agrológicas y muestras geológicas.....	88
<b>Figura D.9:</b> Diagrama de caja Mn para series agrológicas y muestras geológicas.....	89
<b>Figura D.10:</b> Diagrama de caja Co para series agrológicas y muestras geológicas.....	90
<b>Figura D.11:</b> Diagrama de caja Ni para series agrológicas y muestras geológicas.....	91
<b>Figura D.12:</b> Diagrama de caja Zn para series agrológicas y muestras geológicas.....	92
<b>Figura D.13:</b> Diagrama de caja As para series agrológicas y muestras geológicas.....	93
<b>Figura D.14:</b> Diagrama de caja Se para series agrológicas y muestras geológicas.....	94
<b>Figura D.15:</b> Diagrama de caja Mo para series agrológicas y muestras geológicas.....	94
<b>Figura D.16:</b> Diagrama de caja Cd para series agrológicas y muestras geológicas.....	95
<b>Figura D.17:</b> Diagrama de caja Pb para series agrológicas y muestras geológicas.....	96
<b>Figura E.1:</b> Porcentaje de muestras categorizadas en base a FE para elementos de interés.....	97
<b>Figura E.2:</b> Mapa de factor de enriquecimiento para Na a escala 1:150.000.....	98
<b>Figura E.3:</b> Mapa de factor de enriquecimiento para Mg a escala 1:150.000.....	99
<b>Figura E.4:</b> Mapa de factor de enriquecimiento para K a escala 1:150.000.....	100
<b>Figura E.5:</b> Mapa de factor de enriquecimiento para Ca a escala 1:150.000.....	101
<b>Figura E.6:</b> Mapa de factor de enriquecimiento para Bi a escala 1:150.000.....	102
<b>Figura E.7:</b> Mapa de factor de enriquecimiento para V a escala 1:150.000.....	103
<b>Figura E.8:</b> Mapa de factor de enriquecimiento para Cr a escala 1:150.000.....	104
<b>Figura E.9:</b> Mapa de factor de enriquecimiento para Mn a escala 1:150.000.....	105
<b>Figura E.10:</b> Mapa de factor de enriquecimiento para Co a escala 1:150.000.....	106
<b>Figura E.11:</b> Mapa de factor de enriquecimiento para Ni a escala 1:150.000.....	107
<b>Figura E.12:</b> Mapa de factor de enriquecimiento para Zn a escala 1:150.000.....	108
<b>Figura E.13:</b> Mapa de factor de enriquecimiento para As a escala 1:150.000.....	109
<b>Figura E.14:</b> Mapa de factor de enriquecimiento para Se a escala 1:150.000.....	110
<b>Figura E.15:</b> Mapa de factor de enriquecimiento para Mo a escala 1:150.000.....	111
<b>Figura E.16:</b> Mapa de factor de enriquecimiento para Cd a escala 1:150.000.....	112
<b>Figura E.17:</b> Mapa de factor de enriquecimiento para Pb a escala 1:150.000.....	113
<b>Figura G.1:</b> Difractograma para muestra NC48.....	120
<b>Figura G.2:</b> Difractograma para muestra OC38.....	121
<b>Figura G.3:</b> Difractograma para muestra OC40.....	122
<b>Figura G.4:</b> Difractograma para muestra OC42.....	122
<b>Figura G.5:</b> Difractograma para muestra OQ21.....	123
<b>Figura G.6:</b> Difractograma para muestra OV01.....	124
<b>Figura G.7:</b> Difractograma para muestra OV03.....	124
<b>Figura G.8:</b> Difractograma para muestra EC04.....	125
<b>Figura G.9:</b> Difractograma para muestra Loncura FB15.....	125
<b>Figura G.10:</b> Difractograma para muestra Loncura FA30.....	126
<b>Figura G.11:</b> Difractograma para muestra CC06.....	126
<b>Figura G.12:</b> Difractograma para muestra CC65.....	127
<b>Figura G.13:</b> Difractograma para muestra CC69.....	127

<b>Figura G.14:</b> Difractograma para muestra EC03.....	128
<b>Figura G.15:</b> Difractograma para muestra EC06.....	128
<b>Figura G.16:</b> Difractograma para muestra EC13.....	129
<b>Figura G.17:</b> Difractograma para muestra Lo Vásquez FA15.....	130
<b>Figura G.18:</b> Difractograma para muestra MM09.....	130
<b>Figura G.19:</b> Difractograma para muestra MM19.....	131
<b>Figura G.20:</b> Difractograma para muestra MM21.....	131
<b>Figura G.21:</b> Difractograma para muestra MP03.....	132
<b>Figura G.22:</b> Difractograma para muestra MQ02.....	132
<b>Figura G.23:</b> Difractograma para muestra MQ21.....	133
<b>Figura G.24:</b> Difractograma para muestra NC13.....	133
<b>Figura G.25:</b> Difractograma para muestra NC14.....	134
<b>Figura G.26:</b> Difractograma para muestra NC46.....	134
<b>Figura G.27:</b> Difractograma para muestra NC47.....	135
<b>Figura G.28:</b> Difractograma para muestra NQ03.....	135
<b>Figura G.29:</b> Difractograma para muestra SP04.....	136
<b>Figura G.30:</b> Difractograma para muestra SP12.....	136