

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**ESCUELA DE POSGRADO**



**ANÁLISIS DE LA FERTILIDAD DE LOS SUELOS AGRÍCOLAS  
DESTINADOS AL CULTIVO DE ARROZ EN LA CUENCA BAJA  
DEL RÍO JEQUETEPEQUE**

Tesis para optar el grado de Magíster en Química que presenta la alumna:

**CECILIA EUGENIA CORCUERA MOLINA**

Asesora:

**DRA. NADIA ROSA GAMBOA FUENTES**

Jurado:

Luis Ortega San Martín

Carlos Tavares Corrêa

San Miguel, Agosto 2016

## RESUMEN

En la costa norte del Perú en la región de La Libertad sobre la cuenca baja del río Jequetepeque el cultivo intensivo del arroz sobre los lechos fluviales del río, ha inducido debido a la inundación permanente el empobrecimiento de nutrientes, la compactación y salinización del suelo. En el presente trabajo, se evaluó mediante el estudio de suelos a través de métodos tradicionales de análisis la fertilidad de aquellos destinados al cultivo del arroz.

El estudio comprende análisis físicos de textura, densidad aparente y humedad, y químicos de pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, contenidos de nitrógeno, carbono inorgánico, relación C/N, concentración de cationes ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) solubles e intercambiables, capacidad de intercambio catiónico, cloruros, carbonatos, sulfatos y fosfato disponible.

El muestreo se realizó cuando los suelos se hallaban con cultivos inundados (febrero 2012) y antes de la preparación de los suelos para la siembra (agosto 2013). Adicionalmente, se tomaron muestras de agua en la bocatoma de distribución de agua para regadío y en la desembocadura del río Jequetepeque durante el segundo muestreo.

Las muestras del margen izquierdo del río tienen un alto porcentaje de arena, mientras que las del margen derecha tienen un alto porcentaje de limo, en ambos muestreos. La densidad y la porosidad de los suelos tienen valores óptimos para el desarrollo de las raíces. La cantidad de materia orgánica tuvo un porcentaje alto, el pH varía de 7,5 a 8,34; los suelos son medianamente básicos y básicos. Los valores del CIC muestran una relación directa con la textura de los suelos, los de menor contenido de arcilla (menor de 19,0%) tienen valores entre 4,63 y 5,67 cmol de carga(+)/kg, y los de composición franco limosa muestran valores entre 10,09 - 14,25 cmol de carga(+)/kg.

Los valores para  $N_{\text{TOTAL}}$  para el periodo de inundación fueron ligeramente mayores que para las muestras tomadas en suelos sin preparar. En cuanto a los valores obtenidos para la relación C/N, las muestras tomadas en terrenos inundados presentan valores por debajo de la relación 20:1 lo que indica una disposición de  $\text{N-NH}_4^+$  y  $\text{N-NO}_3^-$ . Por otro lado, la mayor parte de las muestras tomadas en el periodo previo a la preparación del suelo muestran valores de relación C/N superiores a 30:1. Esto indica que el nitrógeno ha sido inmovilizado ( $N_{\text{inorg}}$  a  $N_{\text{org}}$ ) durante el proceso de descomposición inicial.

Los suelos muestran salinización en diferentes grados, mas al calcular el porcentaje de sodio de intercambio (PSI), ninguna de las muestras clasificó como suelo sódico. En cuanto a los aniones, los cloruros mantienen un valor promedio en los puntos analizados en ambos muestreos, el porcentaje de carbonatos determinado da una clasificación de medianamente y fuertemente calcáreos. Los aniones sulfato se mantienen en un rango estrecho de valores para las muestras de suelo en ambas fechas de muestreo.

La muestra de agua proveniente de la bocatoma presenta carácter básico y la concentración de iones sulfato es mucho mayor que en las muestras de agua recogidas en la desembocadura. Para esta última, la muestra tiene carácter medianamente básico con una concentración de iones cloruro mucho mayor que en la bocatoma. Los valores de SAR para evaluar la calidad del agua en ambas muestras, nos indican que de ser utilizadas como agua de riego existe un riesgo de ligero a moderado a salinizar o sodificar el suelo.

En base a los resultados encontrados; los suelos presentan las condiciones necesarias de abastecedores de nutrientes a los cultivos de arroz. Sin embargo, se reconoce un desequilibrio en el ecosistema debido a la acumulación salina, un riesgo moderado de la calidad de aguas de riego. Es necesario desarrollar y establecer técnicas agrícolas para el mejoramiento y mantenimiento de la fertilidad de los suelos por medios con un mínimo impacto ambiental como por ejemplo: combatir la degradación del suelo mediante el uso de especies leguminosas arbustivas o arbóreas propias de la zona, para que ayuden en el enriquecimiento del suelo con nutrientes esenciales.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, quien guía mi vida por las más increíbles y enriquecedoras vivencias.

A mis padres Martha y Miguel por apoyarme y guiarme.

A Elba Molina por su cariño y apoyo incondicional.

A mi esposo Rudy por su apoyo constante y confiar en que puedo cumplir mis metas.

Al motor de mi vida; mis hijos Eduardo y Gabriel por la alegría, el amor y la energía que me entregan cada día

A mi asesora de tesis la Dra. Nadia Gamboa, por darme la oportunidad de participar en tan importante y enriquecedor proyecto; por su constante asesoramiento y aliento en el desarrollo de la tesis; aclarando dudas, proporcionando sugerencias y sobre todo por transmitir la energía necesaria para llevar a buen término este trabajo.

Al profesor Dr. Carlos Tavares Corrêa por su coasesoría en el desarrollo de este trabajo; brindando enseñanzas y sugerencias para enriquecerlo.

Al grupo de investigación GRIDES-PUCP por hacer posible mi participación en los proyectos de investigación “Diagnóstico ambiental de represas en la costa peruana. Caso de estudio: La represa de Gallito Ciego” y “Evaluación del estado de salinización de los suelos agrícolas en San Pedro de Lloc, La Libertad, Perú”. Agradezco el incentivo, financiamiento y difusión de los proyectos en el Congreso Latinoamericano de Química 2014, donde pude exponer el presente trabajo.

Al profesor Dr. Eric Cosio, por el apoyo con el uso del equipo de análisis: TruMac C-N.

A mis muy queridos compañeros y amigos del laboratorio Adolfo Marchese, Carmen Alvarez, Renzo Matienzo, Lesly Lagos, Michael Klug, Katusca Yakabi, Rolando Sánchez, Satoshi Flores, Betty Teves, y Pieer Ruiz; quienes compartieron conmigo sus conocimientos y su amistad y con quienes pasé momentos inolvidables.

A la Lic. Milka Cajahuanca, encargada del Laboratorio de Instrumentación; por su valiosa colaboración.

A Francisco Huamán, Nicolás Astoquilca, Gilmer Barrantes y Humberto Martínez por su amable disposición y el apoyo logístico para desarrollar el presente trabajo.

## ÍNDICE

1.INTRODUCCIÓN	1
1.1 Justificación	2
1.2 Objetivos	3
1.2.1 Objetivo general	3
1.2.2 Objetivos específicos	3
1.3 Naturaleza del suelo	4
1.3.1 Composición del suelo	4
1.3.2 Propiedades físicas del suelo	5
1.3.2.1 Textura	5
1.3.2.2 Distribución del tamaño de partícula	7
1.3.2.3 Densidad aparente	8
1.3.3 Elementos esenciales en el desarrollo de la planta	9
1.3.4 Propiedades químicas	11
1.3.4.1 Capacidad de intercambio catiónico	11
1.3.4.2 Cationes	15
1.3.4.2.1 Potasio	15
1.3.4.2.2 Calcio	17
1.3.4.2.3 Magnesio	19
1.3.4.2.4 Sodio	20
1.3.4.3 Aniones	20
1.3.4.3.1 Cloruro	20
1.3.4.3.2 Sulfatos	21
1.3.4.3.3 Carbonatos y bicarbonatos	22
1.3.4.3.4 Nitratos	22
1.3.4.3.5 Fosfatos	23

1.3.4.4 Materia orgánica.	24
1.3.4.5 Acidez y basicidad	25
1.3.4.6 Nitrógeno total y sus transformaciones en el suelo	27
1.3.4.7 Efecto de la relación C/N	29
1.3.4.8 Conductividad eléctrica	29
1.3.4.9 Salinidad y sodificación	31
1.3.4.9.1 Relación de adsorción de sodio	32
1.3.4.9.2 Relación de sodio intercambiable	33
1.3.4.9.3 Porcentaje de sodio intercambiable	34
1.3.4.10 Suelos salinos, sódicos y salino-sódicos	34
1.3.5 Evaluación de la fertilidad del suelo	35
1.4 Cultivo de arroz en la cuenca	36
1.4.1 Agricultura intensiva de arroz	36
1.4.2 Siembra de arroz en los valles costeros del Perú	37
1.4.3 Tipo de arroz empleado en la cuenca del río Jequetepeque	38
1.4.4 Fases del desarrollo de la planta de arroz	38
1.4.5 Requerimientos edafoclimáticos del arroz	39
1.4.5.1 Temperatura	39
1.4.5.2 Radiación solar	40
1.4.5.3 Suelo	40
1.4.5.4 pH	41
1.4.5.5 Agua	41
1.4.5.6 Abonado	41
1.4.6 Fertilizantes más utilizados en el cultivo de arroz	42
1.5 Área de estudio	44
1.5.1 Ubicación	44
1.5.2 Relieve	45

1.5.3 Usos del suelo en la cuenca baja	45
1.5.4 Descargas y drenaje del río Jequetepeque	47
1.5.5 Clima	50
1.5.5.1 Temperatura	50
1.5.5.2 Precipitaciones	51
1.5.5.3 Humedad relativa	51
1.5.5.4 Evaporación	51
1.5.5.5 Vientos	53
1.5.6 Aporte hídrico	53
2. PARTE EXPERIMENTAL	56
2.1 Criterios de muestreo	56
2.1.1 Zona de muestreo	56
2.1.2 Fecha de muestreo	56
2.1.3 Tipo de muestreo	56
2.1.4 Cantidad de muestra	56
2.2 Selección de zonas de muestreo	57
2.3 Estaciones de muestreo	57
2.3.1 Ubicación de las estaciones	57
2.3.2 Descripción de las estaciones	61
2.4 Reactivos empleados en los análisis fisicoquímicos	66
2.5 Tratamiento de las muestras	67
2.5.1 Secado	67
2.5.2 Molienda y tamizado	67
2.6 Análisis físicos	68
2.6.1 Textura	68
2.6.2 Humedad	69
2.6.3 Densidad aparente	70

2.7 Análisis químicos	70
2.7.1 Ceniza	70
2.7.2 Materia orgánica	71
2.7.3 pH	71
2.7.4 Conductividad eléctrica	71
2.7.5 Cationes solubles	72
2.7.6 Cationes de intercambio	72
2.7.7 Capacidad de intercambio catiónico	72
2.7.8 Sulfatos	74
2.7.9 Cloruros	75
2.7.10 Carbonatos	75
2.7.11 Fosfatos	76
2.7.12 Nitrógeno total Kjeldahl	78
2.7.13 Porcentaje de C y N con equipo TruMac LECO®	80
2.8 Lavado de material	80
2.9 Manejo de residuos	81
3. RESULTADOS	82
3.1 Textura. Capacidad de intercambio catiónico	82
3.2 Densidad aparente	83
3.3 Materia orgánica	84
3.4 Nitrógeno total, porcentaje de C y relación C/N	84
3.5 pH y conductividad eléctrica	86
3.6 Cationes solubles	87
3.7 Cationes de intercambio	90
3.8 Aniones	91
3.9 Análisis químicos en muestras de agua	94
3.10 Correlación de Pearson entre parámetros medidos a suelos	95



4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	97
4.1 Textura	97
4.2 Densidad aparente	99
4.3 Capacidad de intercambio de cationes	100
4.4 Materia orgánica	100
4.5 Relación C/N	101
4.6 pH y conductividad eléctrica	101
4.7 Cationes solubles	102
4.8 Cationes de intercambio	103
4.9 Cloruro	104
4.10 Carbonato	105
4.11 Sulfato	106
4.12 Fosfato	108
4.13 Muestras de agua	108
4.14 Correlación de Pearson	109
4.15 Observaciones finales	109
5. CONCLUSIONES	111
6. RECOMENDACIONES	113
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	114

.

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Triángulo de textura del suelo.	7
Figura 2.	Relación entre el porcentaje de espacio de poros llenos de agua con la actividad de los microorganismos del suelo.	9
Figura 3.	Diagrama del intercambio en las superficies minerales y orgánicas en el suelo	12
Figura 4.	Estructuras tetraédricas de silicatos y octaédrica de aluminio.	13
Figura 5.	Conformaciones de arcilla tipo 1:1 y tipo de arcilla 2:1	14
Figura 6.	Modelo de un silicato expansible con intercapas mostrando posiciones p-, e-, i- del K <sup>+</sup> .	16
Figura 7.	Solubilidad de las sales más comunes en los suelos con respecto a la temperatura.	22
Figura 8.	Cambios en los niveles de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> del suelo durante la descomposición de residuos de los cultivos con N	29
Figura 9.	Esquema de clasificación para suelos salinos, sódicos y salino-sódicos. Principales tipos de sales en suelos y aguas.	35
Figura 10.	Planta de arroz.	38
Figura 11.	Mapa de la cuenca baja del río Jequetepeque	46
Figura 12.	Ubicación de los puntos de muestreo de la primera y la segunda salida de campo.	60
Figura 13.	Estación de muestreo S1	62
Figura 14.	Estación de muestreo S2	62
Figura 15.	Estación de muestreo S3	63
Figura 16.	Estación de muestreo S4	63
Figura 17.	Estación de muestreo S5	64
Figura 18.	Estación de muestreo S6	64
Figura 19.	Estación de muestreo S7	65
Figura 20.	Estación de muestreo S8	65

Figura 21. Esquema del equipo de destilación para determinación de N como $\text{NH}_4^+$ .	73
Figura 22. Curva de calibración para $\text{Na}^+$	88
Figura 23. Curva de calibración para $\text{K}^+$	89
Figura 24. Curva de calibración para $\text{Ca}^{2+}$	89
Figura 25. Curva de calibración para $\text{Mg}^{2+}$	89
Figura 26. Curva de calibración para $\text{SO}_4^{2-}$ .	93
Figura 27. Curva de calibración para $\text{P-PO}_4^{3-}$ .	93
Figura 28. Gráfico de barras de los porcentajes de fracciones finas de los suelos muestreados con la ubicación respectiva en el mapa de la zona en estudio.	98
Figura 29. Gráficos de barras comparativas de las concentraciones de $\text{Cl}^-$ para las muestras con la ubicación respectiva en el mapa de la zona en estudio.	105
Figura 30. Gráficos de barras comparativos de los porcentajes de $\text{CO}_3^{2-}$ (%) para las muestras con la ubicación respectiva en el mapa de la zona en estudio.	106
Figura 31. Gráfica de las concentraciones del anión $\text{SO}_4^{2-}$ comparada con las concentraciones de los diferentes cationes solubles ( $\text{Na}^+$ , $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ ) presentes en el suelo para el primer muestreo (Febrero 2012).	107
Figura 32. Gráfica de las concentraciones del anión $\text{SO}_4^{2-}$ comparada con las concentraciones de los diferentes cationes solubles ( $\text{Na}^+$ , $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ ) presentes en el suelo para el segundo muestreo.	107

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Denominación Europea completa modificada de las fracciones granulométricas con sus respectivos rangos de diámetros aparentes.	6
Tabla 2	Clasificación de los nutrientes vegetales según su absorción por la planta y la función bioquímica en que participa.	11
Tabla 3.	Intervalos de pH establecidos por USDA (1971) y los efectos esperados en el suelo.	26
Tabla 4.	Dependencia del contenido de agua de extracto de saturación ( $WC_{SE}$ ) sobre la textura y el contenido de M.O.	31
Tabla 5.	Calidad del agua de riego con valores del SAR y CE	33
Tabla 6.	Clasificación de suelos afectados por sales	34
Tabla 7.	Resumen de la fertilización inorgánica en las diferentes etapas de crecimiento y desarrollo del arroz.	43
Tabla 8.	Descargas medias ( $m^3/s$ ) mensuales y anuales del río Jequetepeque en los años hidrológicos 1975 – 1999.	49
Tabla 9.	Precipitación y temperatura en las estaciones de control meteorológico del SENAMHI.	50
Tabla 10.	Estaciones climatológicas de la cuenca del río Jequetepeque y los promedios mensuales de las precipitaciones.	52
Tabla 11.	Caudales promedio de los ríos de zona norte del período septiembre 2012- abril 2013 y mayo- agosto 2013	54
Tabla 12.	Coordenadas UTM y geográficas de las muestras colectadas en febrero 2012 y agosto 2013.	58
Tabla 13.	Coordenadas UTM y geográficas de los puntos de muestreo de aguas tomadas en el periodo agosto 2013.	59
Tabla 14.	Reactivos empleados en los análisis fisicoquímicos de laboratorio	66
Tabla 15.	Distribución de tiempos y tamaños de partícula en el método de la pipeta	69
Tabla 16.	Cantidades de reactivos para blanco, estándares y muestra en determinación de sulfatos.	75

Tabla 17.	Cantidades para preparar soluciones con estándar interno en el análisis de fósforo como fosfato	78
Tabla 18.	Textura y valores de CIC (cmol <sup>+</sup> /kg) de suelos muestreados en el primer y segundo muestreo	82
Tabla 19.	Valores de la densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> ), porcentaje de poros totales y porcentaje de poros llenos de agua del suelo.	83
Tabla 20.	Valores porcentuales de materia orgánica a 440°C y 750°C para ambos muestreos	84
Tabla 21.	Valores de los porcentajes de nitrógeno (%N) y carbono (%C) de las muestras medidos con el equipo LECO y valores del porcentaje de nitrógeno total determinados por método Kjeldahl.	85
Tabla 22.	Valores de M.O. hallada por calcinamiento a 440°C, y a partir del %C con la respectiva clasificación del suelo.	86
Tabla 23.	Valores de pH y CE(1:2,5) para el primer y segundo muestreo de suelos a 25°C.	87
Tabla 24.	Concentración de cationes Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> solubles (mg/kg muestra) para las muestras tomadas en el primer y segundo muestreo	88
Tabla 25.	Concentración de cationes Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> de intercambio para los extractos (suelo:sol NH <sub>4</sub> Ac 1:2,5) de muestras	90
Tabla 26.	Concentraciones de cloruros (Cl <sup>-</sup> ) (mg/kg muestra), carbonato total (CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> ) (%), sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) (mg/kg muestra), y fosfatos (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ) (mg/kg muestra) para primer y segundo muestreo	91
Tabla 27.	Clasificación de los suelos en base al porcentaje de carbonato total y su reacción con HCl (10%)	92
Tabla 28.	Análisis químicos medidos a las muestras de agua; A01: bocatoma y A02: desembocadura	94
Tabla 29.	Tabla con coeficientes de correlación de Pearson de los parámetros analizados en los suelos de la cuenca baja del río Jequetepeque	96
Tabla 30.	Relación entre la densidad aparente con el crecimiento de raíces basado en la textura del suelo (USDA-NRCS).	99

## ABREVIATURAS

AAS	espectrofotometría de absorción atómica
aprox.	aproximadamente
ASTM	American Society for Testing and Materials
CE	conductividad eléctrica
cmol <sup>+</sup>	centimoles de carga positiva
CONDESAN	Consortio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina
DA	densidad aparente
FAO	Food and Agriculture Organization
GPS	sistema de posicionamiento global
Ha	hectáreas
IGN	Instituto Geográfico Nacional
INDECOPI	Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática
INRENA	Instituto Nacional de Recursos Naturales
meq	miliequivalentes
MINAGRI	Ministerio de Agricultura y Riego
MINAM	Ministerio del Ambiente
MINEDU	Ministerio de Educación
MMC	millones metros cúbicos
M.O.	materia orgánica
m s. n. m.	metros sobre el nivel del mar
ONERN	Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales
ONU	Organización de las Naciones Unidas
p.a.	para análisis

PUCP	Pontificia Universidad Católica del Perú
SAR	relación de adsorción de sodio
SIG	sistema de información geográfica
SM	Standard Methods
TM	Tonelada métrica
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
USDA	United States Department of Agriculture
UTM	Universal Transversa de Mercator
UV-VIS	espectrofotometría ultravioleta-visible

## 1. INTRODUCCIÓN

Para el año 2016 la proyección de la población en el Perú, según INEI<sup>[1]</sup>, se estima en más de 31 millones de habitantes; solo en las regiones de Lima, Piura, Lambayeque, La Libertad y Cajamarca se encuentra el 49,6% de la población<sup>[2]</sup>. Resulta un desafío abastecer de alimento a esta cantidad de personas en una región tan árida. Con la finalidad de ampliar la productividad agrícola en la costa norte peruana se construyó la represa de Gallito Ciego en la cuenca del río Jequetepeque como parte del Proyecto Jequetepeque-Zaña.

El proyecto Gallito Ciego forma parte de la primera etapa del Proyecto Especial Jequetepeque –Zaña, creado en 1977 e iniciado en 1981; es una obra importante para la agricultura del norte del país pues busca el mejoramiento del riego de 49 600 Ha (36 000 en Jequetepeque y 13 600 en Zaña), la incorporación a la agricultura de 16 400 Has de tierras eriazas de agua y suelo y lograr un mínimo de dos campañas por año. Con el Reservorio Gallito Ciego se ha logrado incrementar en aproximadamente 50% la producción agrícola en la parte baja de la cuenca, alcanzando una producción promedio de 250 000 TM al año, con un valor bruto de la producción que ha variado de 30,8 a 80,6 millones de dólares americanos<sup>[3]</sup>.

El monocultivo transitorio de arroz se ha constituido en las últimas décadas en el principal rubro de ingresos económicos de los agricultores en la costa norte del Perú, la industria molinera y comerciantes de arroz que pagan las cosechas de arroz por adelantado. Los requerimientos de agua en el cultivo de arroz deben compensar las pérdidas de agua por transpiración, evaporación del agua en el suelo y especialmente por la infiltración o percolación; sin embargo, en el norte del Perú las lluvias son escasas y la descarga de los ríos es irregular. Los proyectos de irrigación proveen del agua necesaria para el riego de los cultivos en la cuenca del Jequetepeque que, para el caso del arroz, la técnica del cultivo se basa principalmente en el trasplante y el riego por inundación. Esta práctica, junto con el uso intensivo de labranza convencional a largo plazo, podría degradar físicamente los suelos, debido al arrastre de partículas finas así como generar el lavado de los suelos de nutrientes. Aunado a esta situación, el uso excesivo de fertilizantes sintéticos y plaguicidas contaminan las fuentes superficiales y subterráneas de agua.<sup>[4]</sup>

Según el informe del INRENA en la costa del Perú alrededor de 300 000 hectáreas tienen problemas de salinidad debido al mal manejo del agua, la falta de drenaje y las



limitadas áreas de cultivo existentes son destruidas periódicamente con la ocurrencia del Fenómeno del Niño. <sup>[5]</sup>

## 1.1 Justificación

Según documento de la ONU publicado en el año 2015, la población mundial ese año excedía los 7,3 mil millones; para el 2030 bordeará los 8,5 mil millones; y los 11 mil millones para el año 2050 <sup>[6]</sup>. La preocupación actual se halla en la capacidad de los suelos disponibles para la expansión de la agricultura con miras a satisfacer la demanda del crecimiento poblacional mundial.

El Perú no es ajeno a esta problemática, tal es el caso de las zonas de la costa norte donde prima la presencia de desiertos y la mayor concentración de centros poblados como lo muestra una publicación del INEI<sup>[7]</sup> la cual indica que a nivel nacional, la densidad poblacional es 24,2 hab./ km<sup>2</sup> siendo mayor en los departamentos ubicados en la costa: Provincia Constitucional del Callao (6 949,0 hab./ km<sup>2</sup>), seguido de la región Lima (282,4 hab./km<sup>2</sup>), Lambayeque, (87,1 hab./km<sup>2</sup>), La Libertad, (72,9 hab./km<sup>2</sup>), Piura (51,7 hab./km<sup>2</sup>), y Tumbes (50,9 hab./km<sup>2</sup>). Uno de los principales productos agrícolas cultivados en los valles del norte del Perú es el arroz, y cuenta con la mayor área instalada y la más alta producción (9-10 TM/Ha) en sus dos cosechas al año. <sup>[8]</sup> Se debe añadir que es el producto que más aporta al PBI agropecuario y agrícola, pues genera la mayor cantidad de empleos en el sector agrario; además de ser un cereal de gran importancia en la alimentación diaria del poblador peruano (consumo anual 60 kg aprox. por persona).

El alto nivel de siembra es posible gracias a las excelentes condiciones agro-climáticas imperantes (suelo, disponibilidad de agua, temperatura, luminosidad) a lo cual se añade el desarrollo e incremento del uso de fertilizantes, pesticidas así como al mejoramiento de la semilla y las nuevas prácticas adquiridas por los agricultores como el método de siembra por trasplante y el sistema de riego por inundación.

El desarrollo de la agricultura es absolutamente necesario como fuente de alimento, pero lo es también la imperiosa necesidad de la sostenibilidad de las prácticas agrícolas con miras a la preservación de los suelos, y todo lo que en ellos se desarrolla pues no solo es el soporte y sustento de plantas sino el medio donde viven y se desarrollan microorganismos esenciales para la obtención de elementos utilizados en la fotosíntesis. El suelo contiene y regula las fuentes de agua, sirviendo como filtro y conductor de las precipitaciones hacia acuíferos subterráneos.

En el caso de la producción arrocerá en el territorio nacional se ha observado que el monocultivo de arroz, el uso indiscriminado de agroquímicos: fertilizantes y pesticidas, están contaminando los suelos, el agua, el aire; lo que perjudica la salud de la población de los agricultores y consumidores. El aprovechamiento del recurso hídrico no se hace en base a un plan integral, lo cual provoca un deterioro del suelo por erosión y pérdida de nutrientes.<sup>[8]</sup>

Por lo anterior, el análisis de suelos es claramente una herramienta importante para evaluar las concentraciones de nutrientes presentes, y evitar interacciones contrarias entre ellos. Los suelos son la principal fuente de trece de los dieciséis nutrientes esenciales. Para lograr buen rendimiento y calidad del cultivo, el equilibrio de nutrientes debe de ser mantenido, de lo contrario se presentarán deficiencias, toxicidades o interferencias de un nutriente en la absorción de los demás, lo cual causará disminución en la calidad y en el rendimiento del cultivo.

El proyecto especial de irrigación en la costa norte Jequetepeque-Zaña ha modificado las condiciones ambientales en su área de influencia, lo que sumado al manejo inadecuado del agua y al abandono del uso de recursos hídricos subterráneos han ocasionado salinidad y condiciones potenciales de disminución en la fertilidad del suelo.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1.- Objetivo general**

El objetivo principal del presente trabajo es evaluar la fertilidad de los suelos destinados al cultivo de arroz en la cuenca baja del río Jequetepeque en base al análisis de sus parámetros físicos y químicos, y a las condiciones ambientales presentes favorables para el cultivo de arroz.

### **1.2.2.- Objetivos específicos**

- Caracterizar los suelos destinados al cultivo de arroz en la cuenca baja del río Jequetepeque en base a parámetros físicos y químicos.
- Diagnosticar la fertilidad de los suelos muestreados considerando los valores óptimos de los parámetros físico químicos hallados.
- Evaluar el grado de salinización a través de métodos tradicionales de análisis de suelos.

### **1.3 Naturaleza del suelo.**

El suelo constituye una parte de la geosfera formada por una mezcla de minerales, materia orgánica y agua capaz de sustentar la vida vegetal. Aunque la capa de suelo sobre la superficie es extremadamente delgada no solo es vital en el crecimiento de las plantas, sino que contiene el agua, regula su suministro y sirve como filtro y conductor del agua proveniente de las precipitaciones hacia los acuíferos subterráneos. Además, se encarga de reciclar materia prima, nutrientes; y es el hábitat para una gran variedad de microorganismos como hongos y bacterias.<sup>[9]</sup>

#### **1.3.1 Composición del suelo**

El suelo es el resultado de la acción de meteorización por medio de una serie de procesos físicos, químicos y biológicos sobre la roca madre.<sup>[9]</sup> El suelo es un sistema abierto, dinámico constituido por tres fases; la fase sólida formada por componentes inorgánicos y orgánicos, estos elementos generan espacios donde se encuentran el aire, la fase gaseosa cuya composición difiere a la del aire de la atmósfera; y por último el agua, retenida en estos espacios que constituye la fase líquida.<sup>[10]</sup>

La fase sólida está constituida por aproximadamente 5% de materia orgánica y 95% de materia inorgánica. La fracción orgánica del suelo está constituida por los restos de plantas en diferentes estadios de descomposición que sirven de alimento a los microorganismos, así como también contribuye a la meteorización de los minerales. En los componentes activos de la fracción orgánica se consideran: polisacáridos, amino azúcares, nucleótidos y compuestos orgánicos de fósforo (ésteres de fosfatos, fosfatos de inositol, fosfolípidos, etc). La fracción inorgánica está conformada por coloides productos de minerales y la meteorización de la roca madre, los que servirán de depósitos de nutrientes para las plantas. Los elementos más comunes en la corteza terrestre son: oxígeno, sílice, aluminio, hierro, calcio, sodio, potasio y magnesio; por lo que los minerales compuestos por aquellos constituyen la mayor fracción mineral del suelo.

El agua del suelo forma parte del sistema de tres fases sólido-líquido-gaseoso que conforma el suelo. Es el medio de transporte de nutrientes disueltos desde las partículas sólidas del suelo hacia las raíces. El agua está íntimamente ligada a las pequeñas partículas sólidas del suelo debido a pequeños capilares y poros que generan fuerzas de capilaridad y por la fuerza de gravedad. A esta solución de agua que contiene disuelta materia procedente de procesos químicos y biológicos generados en el suelo se le conoce como solución suelo. La mayoría de los solutos presentes en la solución suelo (cationes:  $H^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Al^{3+}$ , y aniones:  $HCO_3^-$ ,  $CO_3^{2-}$ ,

SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>, F<sup>-</sup>) están presentes como sales. Es en las interacciones entre la fase sólida y líquida (adsorción e intercambio iónico) que se llevan a cabo procesos fundamentales en la nutrición de las plantas. La naturaleza de la textura del suelo determinará en gran medida la composición de las fases líquida y gaseosa presentes, que a su vez tendrán implicancia en la biota del suelo.<sup>[9]</sup>

### **1.3.2 Propiedades físicas del suelo**

#### **1.3.2.1 Textura**

El estudio de las partículas minerales puede llevarse a cabo de una manera sencilla determinando la granulometría de la fracción mineral. La granulometría expresa las proporciones relativas de las partículas agrupadas por tamaños en fracciones granulométricas, en base a valores determinados. Los criterios para la determinación estos valores son arbitrarios y dependen de los objetivos perseguidos. Los más comunes son los propuestos por Atterberg, adoptados por la International Society of Soil Science (ISSS) (1927) y los de United States Department of Agriculture (USDA).<sup>[10]</sup>

La textura es una expresión sintética de las características de cada horizonte que dependen de la proporción de los distintos tamaños de partículas. Se basa en una división arbitraria del suelo en tres fracciones principales: arena, limo y arcilla; según el tamaño dominante de las partículas. Todos los sistemas han adoptado como límites extremos comunes 2mm y 2 µm.

Los elementos gruesos son los fragmentos de roca o mineral de diámetro aparente superior a 2mm y la fracción constituida por los granos de menor tamaño se denomina tierra fina. La fracción gruesa presenta poca actividad, su superficie específica es baja y suelen ser resistentes a la meteorización. El predominio de elementos gruesos en el suelo hace que éste no sea capaz de retener el agua y que presente por tanto escasas posibilidades para el suministro de nutrientes.<sup>[10]</sup>

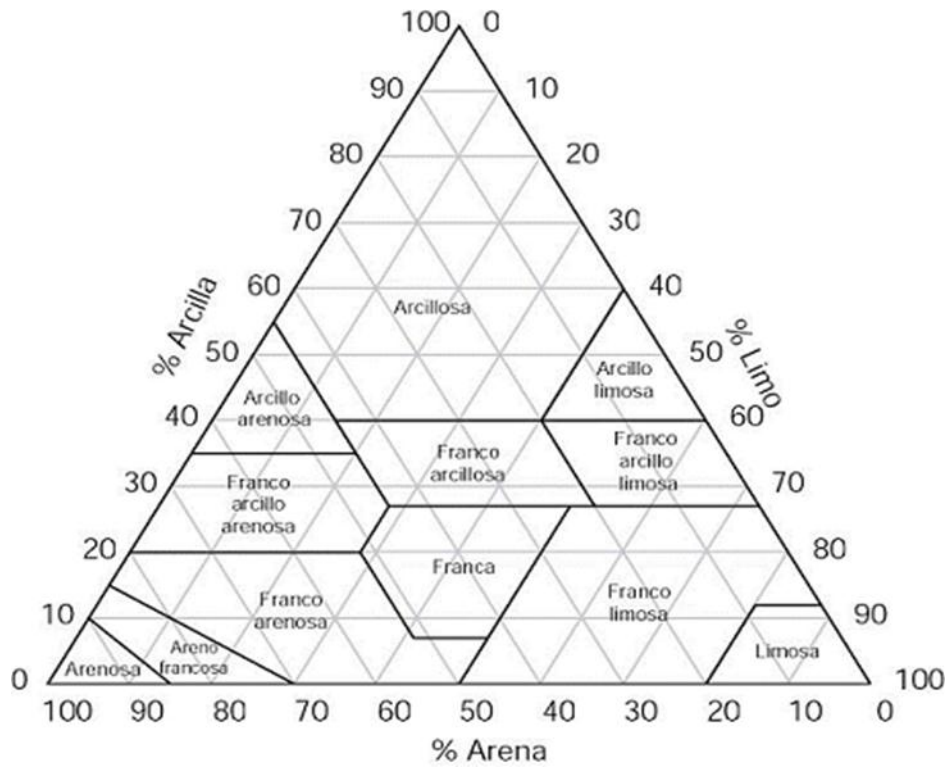
La determinación de textura solo considera la fracción fina y se realiza por la determinación de los porcentajes de arena, limo y arcilla en el triángulo de clases texturales de la USDA. Se asume que las partículas son esferas de determinado diámetro aparente máximo ( $\phi$ ) correspondiente a la del grupo (ver Tabla 1). La fracción granulométrica denominada arena (2,00-0,06 mm) está constituida por partículas de tamaño grande e irregular. Poseen una textura áspera y moldeable cuando está húmeda, sin embargo, se seca rápidamente. Los poros que presentan dichas partículas son de tamaño grande, por lo tanto, son de alta permeabilidad para el agua y aire. La

fracción de limo (0,06-0,002 mm) comprende partículas de tamaño mediano; cuando el suelo está húmedo presenta limitada plasticidad y pegajosidad, es fácilmente moldeable pero, al secarse, se deshace fácilmente. El limo tiene alta capacidad de retención de agua. Por último, la fracción arcilla (< 0,002 mm) está constituida por partículas pequeñas que solo pueden ser observadas con microscopio electrónico.<sup>[10]</sup> Se caracteriza por ser plástica y pegajosa cuando se humedece y cuando está seca se endurece. La arcilla retiene una gran cantidad de agua.<sup>[11] [77]</sup>

**Tabla 1.** Denominación Europea completa modificada de las fracciones granulométricas con sus respectivos rangos de diámetros aparentes.<sup>[10]</sup>

Denominación de la fracción granulométrica	diámetro de partícula ( $\phi$ ) ( $\mu\text{m}$ )
arena gruesa	$600 < \phi < 2000$
arena media	$200 < \phi < 600$
arena fina	$60 < \phi < 200$
limo grueso	$20 < \phi < 60$
limo medio	$6 < \phi < 20$
limo fino	$2 < \phi < 6$
arcilla	$\phi < 2$

Las combinaciones posibles de porcentajes de arcilla, limo y arena pueden agruparse en unas pocas clases de tamaño de partículas o clases texturales, resaltando que la acción de ciertas fracciones es más acentuada que la de las otras, para determinar las propiedades del suelo y el comportamiento del agua y las plantas. Para representar las distintas clases texturales se han construido los triángulos de textura o diagramas triangulares (ver Figura 1).<sup>[12]</sup>



**Figura 1.** Triángulo de textura del suelo.<sup>[12]</sup>

### 1.3.2.2 Distribución de tamaño de partículas.

Existe una relación directa entre el tamaño de partícula y el área superficial de las partículas en un peso determinado de suelo. A medida que el tamaño de partícula disminuye, el área superficial se incrementa. Debido a que la mayoría de propiedades físicas y químicas están relacionadas a la actividad superficial, la determinación de la distribución del tamaño de partícula es un procedimiento para la caracterización y clasificación de los suelos.<sup>[13]</sup>

A medida que las partículas se asientan libremente en la columna de agua estas se ordenan de acuerdo a su tamaño de partícula. Las partículas gruesas como la arena, se mueven más rápido que las partículas finas. Debido a su velocidad de sedimentación diferencial en el agua, las fracciones se ordenan en rangos de diferentes tamaños. La relación entre el tiempo de sedimentación y el diámetro de la partícula puede expresarse cuantitativamente por la Ley de Stokes:<sup>[13]</sup>

$$V = \frac{2 \cdot r^2 \cdot (D_p - D_1) \cdot g}{9 \cdot Z} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde V: velocidad de caída de las partículas (cm/s), r: radio efectivo de la partícula (cm),  $D_p$ : densidad de las partículas ( $\text{g/cm}^3$ ),  $D_1$ : densidad del agua ( $\text{g/cm}^3$ ), g: aceleración de la gravedad ( $\text{cm/s}^2$ ) y Z: viscosidad absoluta del agua (poises=  $\text{g/cm}^2\text{s}$ ).

En la práctica la cantidad del material que queda en suspensión a cualquier tiempo es medido con el hidrómetro, el cual indica la densidad de la suspensión en el centro de la flotabilidad del hidrómetro. Bouyoucos determinó que después de 40 segundos todas las partículas de tamaño de diámetro 0,02 mm y mayores se habrán asentado de la suspensión. Luego de dos horas, las partículas con tamaño de diámetro mayor que 0,002 mm se asentarán de la suspensión sin afectar la lectura del hidrómetro.<sup>[13]</sup>

El Hidrómetro de Bouyoucos debe de ser calibrado para medir la cantidad de partículas sólidas remanentes en la suspensión.

### **1.3.2.2 Densidad aparente**

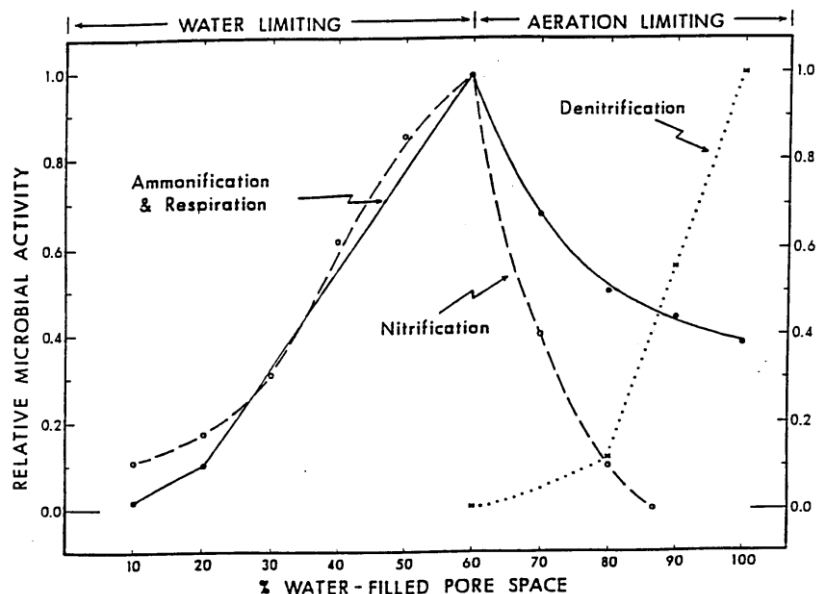
La densidad aparente es un parámetro indicador de la compactación del suelo. Esta propiedad afecta diversos factores como: la infiltración, la profundidad de las raíces, porosidad del suelo, la capacidad de agua disponible, la disponibilidad de los nutrientes para la planta, así como la actividad de los microorganismos del suelo. El volumen total del suelo en la superficie es aproximadamente 50% sólidos (45% partículas de suelo y materia orgánica <5%) y aprox. 50% de espacio poroso que se encuentra lleno de aire y agua.<sup>[14]</sup>

La densidad aparente depende de la materia orgánica y la textura (porcentaje de arena, limo y arcilla) que conforma el suelo. Generalmente, el suelo suelto, poroso y rico en materia orgánica posee baja densidad aparente. Una densidad aparente alta indica una baja porosidad del suelo y compactación del mismo<sup>[14]</sup>.

Según la Guía para la Determinación de la Densidad Aparente de la USDA y la NRCS, los suelos arenosos presentan una densidad aparente relativamente alta debido a que el espacio total de los poros es menor que en los suelos limosos o arcillosos.

Con la determinación de la densidad aparente se puede calcular el porcentaje del espacio de poros llenos de agua (water-filled pore space). Este valor tiene repercusión directa en los procesos de amonificación y nitrificación que se dan en el suelo, debido a que al superar el 60% la falta de aireación afecta la respiración de los microorganismos del suelo responsables del ciclo del nitrógeno. Si el porcentaje del espacio de poros llenos de agua excede el 80% la aireación del suelo disminuye a un nivel mínimo y ocurre la desnitrificación, resultando la pérdida de nitrógeno como gas generando la emisión de gas de invernadero, disminución de la producción por pérdida de nitrógeno

disponible por los cultivos y el consecuente incremento en gastos en fertilización nitrogenada. Ver Figura 2<sup>[14]</sup>



**Figura 2.** Relación entre el porcentaje de espacio de poros llenos de agua con la actividad de los microorganismos del suelo.<sup>[14]</sup>

### 1.3.3 Elementos esenciales en el desarrollo de la planta.

Recibe la denominación de elemento esencial aquel elemento mineral que tiene una relación directa con la rapidez y desarrollo total de la planta, debido a que está involucrado en las funciones metabólicas y la planta no podría completar su ciclo de vida sin la presencia de este elemento. Generalmente la deficiencia en un elemento es perceptible visualmente en la planta y podría ser corregido administrando el elemento esencial como abono.<sup>[15]</sup> Sin embargo, existen factores que dificultan la interpretación del análisis de una planta cuando se determina algún elemento: primero, la cantidad que contiene la planta de un elemento está a menudo influida por otro. Aunque un elemento se encuentre en cantidades adecuadas, un segundo elemento puede reducir su absorción. Segundo, el contenido mineral varía con diferentes tejidos y la ubicación en la planta. Por esta razón las comparaciones deberán de basarse en los mismos tejidos. Tercero, la humedad, temperatura y luz influyen en la absorción de materias nutritivas, lo que dificulta comparaciones entre años o entre plantas de diferentes regiones.<sup>[16]</sup>



Hoy en día se consideran elementos esenciales para las plantas los siguientes:<sup>[16]</sup>

Carbono (C)	Potasio (K)	Zinc (Zn)
Hidrógeno (H)	Calcio (Ca)	Molibdeno (Mo)
Oxígeno (O)	Magnesio (Mg)	Boro (B)
Nitrógeno (N)	Hierro (Fe)	Cloro (Cl)
Fósforo (P)	Manganeso (Mn)	Cobre (Cu)
Azufre (S)	Silicio* (Si)	Cobalto* (Co)
Sodio* (Na)		

Los tres últimos elementos (sodio, silicio y cobalto) (\*) no se han establecido como esenciales para las plantas superiores, pero existen casos como en el sodio que algunas especies vegetales como las quenopodiáceas y las adaptadas a ambientes salinos absorben este elemento en cantidades relativamente altas. El sodio tiene un efecto beneficioso y en algunos casos es esencial, lo mismo que el silicio para el arroz.<sup>[16]</sup>

Los elementos esenciales pueden clasificarse en macronutrientes y micronutrientes. Los macronutrientes se encuentran en las plantas y son necesarios en cantidades relativamente más altas que los micronutrientes. Según esta clasificación los macronutrientes son: C, H, O, N, P, S, K, Ca, Mg, (Na) y (Si), y los micronutrientes: Fe, Mn, Cu, Zn, Mo, B, y Cl.<sup>[16]</sup>

La Tabla 2 presenta los elementos esenciales en base a su comportamiento bioquímico y a su función fisiológica.

**Tabla 2.** Clasificación de los nutrientes vegetales según su absorción por la planta y la función bioquímica en que participa.<sup>[16]</sup>

Elemento	Absorción	Función bioquímica
Primer grupo:	En forma de CO <sub>2</sub> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , H <sub>2</sub> O, O <sub>2</sub> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , N <sub>2</sub> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , SO <sub>2</sub> iones de la solución del suelo, gases de la atmósfera.	Constituyentes principales de la materia orgánica, elementos esenciales de grupos implicados en procesos enzimáticos. Asimilación por reacciones redox.
Segundo grupo: P, B, Si	En forma de fosfatos, ácido bórico o borato, silicato de la solución del suelo.	Esterificación con grupos alcohol nativos en plantas. Los ésteres fosfato están implicados en reacciones de transferencia de energía.
Tercer grupo: K, Na, Mg, Ca, Mn, Cl.	En forma de iones de la solución suelo.	Funciones no específicas estableciendo potenciales osmóticos. Función específica: activación enzimática. Formación de puentes entre las parejas de la reacción. Equilibrar aniones. Control de permeabilidad de membrana y potenciales eléctricos.
Cuarto grupo: Fe, Cu, Zn, Mo	En forma de iones o quelatos de la solución del suelo.	Predominan en forma quelatada incorporados en grupos prostéticos. Permiten transporte de electrones por cambio de valencia.

En el presente trabajo se determina la presencia de los elementos del primer grupo (C, H, O, N, S), el P (como fosfato) del segundo grupo, y K, Na, Mg, Ca y Cl como aniones del tercer grupo.

Los elementos analizados como aniones son: el C como carbonato, el P como fosfato, el Cl como cloruro, y el S como sulfato. Los analizados como cationes son: el K, Na, Mg y el Ca.

### 1.3.4 Propiedades químicas

#### 1.3.4.1 Capacidad de intercambio catiónico

Existen numerosas interacciones fisicoquímicas y biológicas en el suelo que determinan la disponibilidad de los nutrientes para las plantas. Al conocer estos procesos dinámicos, se pueden administrar ciertas propiedades de los suelos en busca de optimizar la disponibilidad de los nutrientes así como mejorar la productividad de los cultivos.

Las plantas absorben nutrientes en forma de cationes y aniones de la solución suelo y a su vez liberan iones como H<sup>+</sup>, OH<sup>-</sup>, y HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Los cambios en las concentraciones

iónicas de la solución suelo son tamponadas por la adsorción de iones en la superficie de los minerales del suelo (arcilla, caliza, etc.) que, a su vez, pueden luego ser desorbidos parcialmente si hubiera una remoción de estos iones de la solución suelo (ver Figura 3). Asimismo, el incremento de la concentración de estos iones en el suelo como resultado del uso de los fertilizantes podría causar la precipitación de los mismos en forma de sus sales.<sup>[15]</sup>

Los microorganismos descomponen la materia orgánica, el humus y toman iones del suelo para incorporarlos a sus tejidos celulares. Al morir liberan los nutrientes que vuelven a formar nuevamente parte del suelo.<sup>[15]</sup>

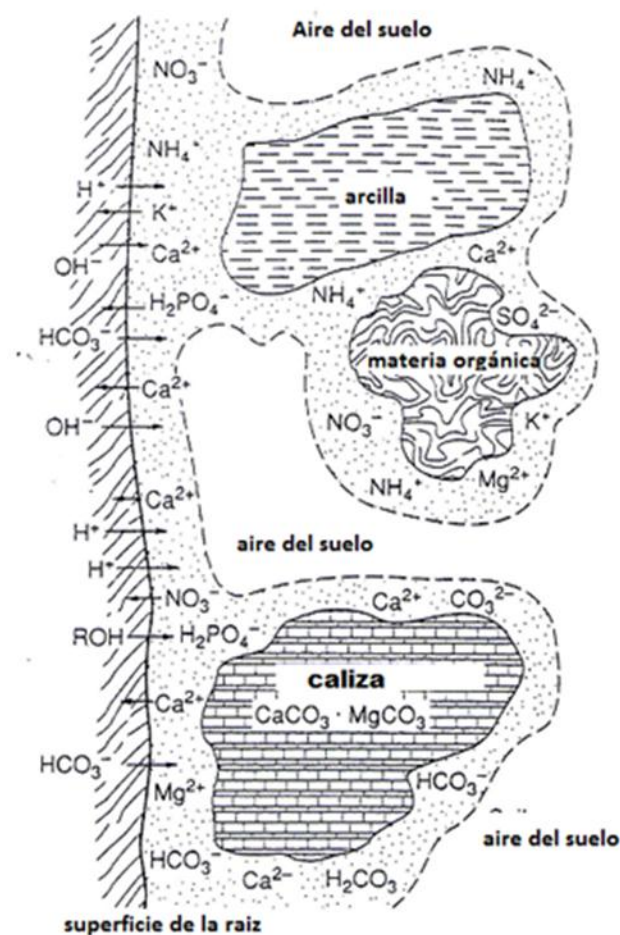


Figura 3. Diagrama del intercambio en las superficies minerales y orgánicas en el suelo.<sup>[15]</sup>

El intercambio de iones se da en la superficie de minerales arcillosos, compuestos inorgánicos, materia orgánica y raíces. Este es un proceso reversible en el cual un catión o anión adsorbido en fase sólida es intercambiado por otro catión o anión en la fase líquida. Las reacciones de intercambio iónico en el suelo constituyen un factor

importante en la disponibilidad de los nutrientes para la planta. Además, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) es considerada de mayor relevancia que la capacidad de intercambio aniónico (CIA), debido a que en suelos dedicados a la agricultura es mucho mayor que el intercambio aniónico.

La fracción de arcilla consiste principalmente en estructuras tetraédricas de silicatos y octaédricas de aluminio (ver Figura 4). La estructura tetraédrica de silicatos consiste en un catión de silicio  $\text{Si}^{4+}$  rodeado de cuatro aniones  $\text{O}^{2-}$ , mientras que la estructura octaédrica de aluminio consiste en un átomo  $\text{Al}^{3+}$  rodeado de seis aniones  $\text{OH}^-$ . Las largas cadenas o capas de tetraedros y octaedros se unen para formar las capas de silicatos<sup>[15]</sup>.

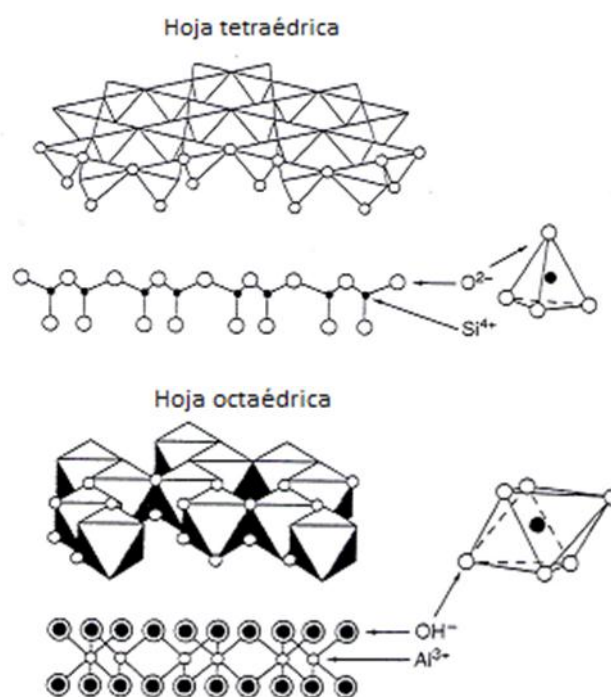


Figura 4. Estructuras tetraédricas de silicatos y octaédrica de aluminio. <sup>[15]</sup>

Las capas de silicatos de arcilla son de tres clases: 1:1, 2:1 y 2:1:1. El primer tipo de arcilla 1:1 está constituido por una lámina de silicatos y una de alúmina, por ejemplo la caolinita (ver Figura 5) El segundo tipo de arcilla 2:1 está compuesta por una capa de octaedros de aluminio entre dos capas de tetraedros de silicato, como ejemplos están las esmectitas (montmorillonita), la mica (illita) y la vermiculita. Por último, está la conformación de capas 2:1:1 la cual consiste en una capa de hidróxido añadida a una conformación 2:1 de arcilla (ejemplo: clorita).

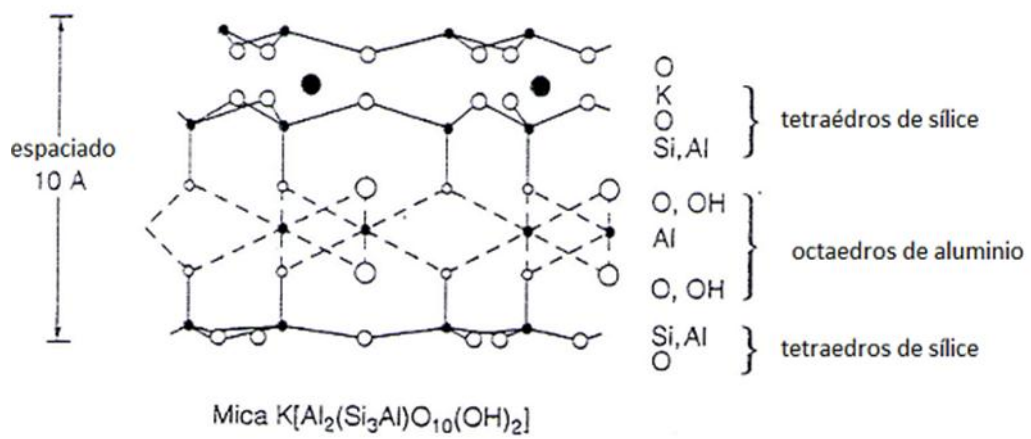
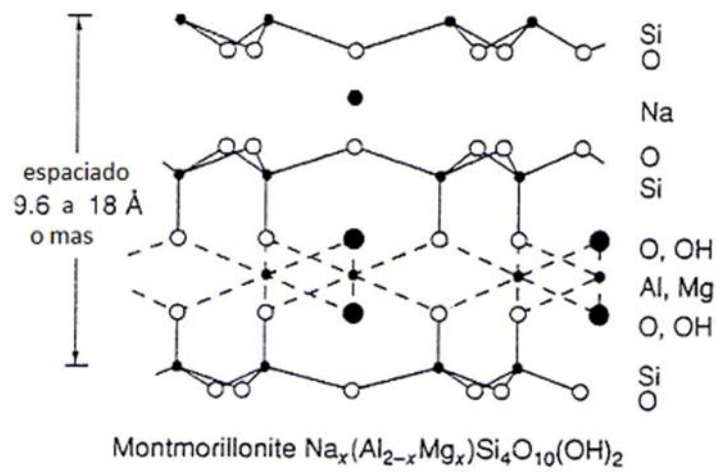
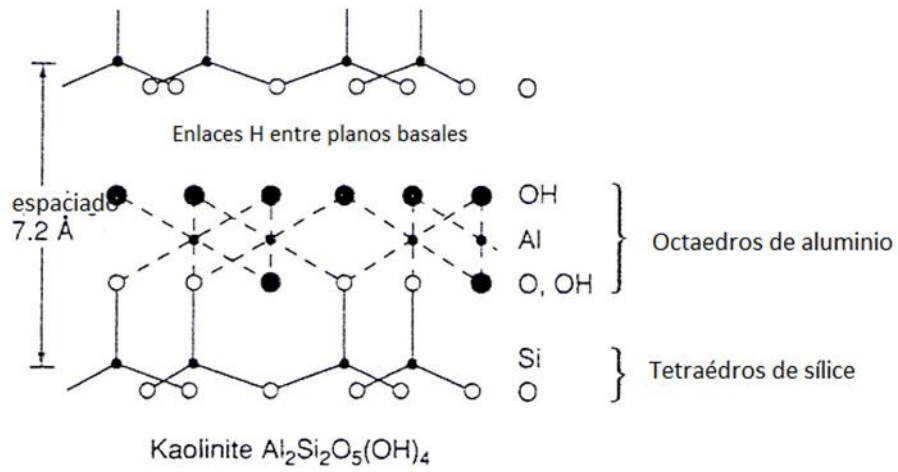


Figura 5. Conformaciones de arcilla tipo 1:1 y tipo de arcilla 2:1. [15]

La carga negativa asociada a la capa de silicatos se genera a partir de reemplazar ya sea un catión  $\text{Si}^{4+}$  o un catión  $\text{Al}^{3+}$  por otros de menor carga. Este reemplazo de cationes en los minerales se denomina sustitución isomórfica. El lugar donde se dé la sustitución (tetraédrico, octaédrico o ambos) es lo que imparte propiedades características a los minerales de arcilla. <sup>[15]</sup>

La CIC del suelo representa la cantidad total de cargas negativas disponibles para atraer cationes en la solución. Esta es una de las propiedades químicas más importantes de los suelos, y una de las que más influye en la disponibilidad de los nutrientes. Las unidades comúnmente utilizadas para la CIC son los miliequivalentes de carga negativa por 100 gramos de suelo seco (meq/100 g). El Sistema Internacional de Medidas (SI) utiliza las unidades centimoles de carga por kilogramo de peso de suelo seco (cmol/kg). La equivalencia entre ambas unidades es la siguiente: 1 meq/100 g de suelo = 1 cmol/kg.

La naturaleza y la cantidad de minerales y materia orgánica presentes en el suelo determinan los valores del CIC. Los suelos con alto porcentaje de arcilla y materia orgánica (M.O.) tienen altos valores de CIC; mientras que los suelos arenosos y con bajo porcentaje de materia orgánica presentarán bajos valores de CIC. A continuación se muestran algunos valores de CIC de diferentes tipos de suelos <sup>[15]</sup>,

Arena (color claro)	3 - 5 meq/100 g
Arena (color oscuro)	10 – 20 meq/100 g
Franco	10 - 15 meq/100 g
Franco limoso	15 - 25 meq/100 g
Arcilla y franco arcilloso	20 – 50 meq/100 g
Suelos orgánicos	50 – 100 meq/100 g

### **1.3.4.2 Cationes**

#### **1.3.4.2.1 Potasio**

La mayor parte de este elemento está unido a minerales primarios o está presente en las arcillas secundarias que conforman la fracción arcilla del suelo, por esta razón los suelos ricos en arcillas son también generalmente ricos en K, contrariamente los suelos arenosos muy meteorizados tienen con frecuencia bajos contenidos de arcilla como de K. En minerales secundarios tipo 2:1 como la mica el ión  $\text{K}^+$  ocupa espacios entre las

capas tetraédricas, la meteorización permite la difusión del ión fuera del mineral, intercambiándose por otra especie catiónica hidratada como el  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  o  $\text{Ca}^{2+}$ . Esta sustitución del  $\text{K}^+$  interlaminar no hidratado por un ión hidratado expande el mineral, resultando en un aumento de la distancia entre las capas unitarias (de 1,0 nm en las micas a 1,4 nm en la vermiculita). Altas concentraciones de  $\text{H}^+$  y bajas concentraciones de  $\text{K}^+$  en el medio favorecen la liberación neta de  $\text{K}^+$  no intercambiable ( $\text{K}^+$  interlaminar).  
 [16]

El  $\text{K}^+$  se adsorbe a las arcillas 2:1 (illitas, vermiculitas y micas) en puntos de unión que difieren en su selectividad. Un modelo de silicato expansible se muestra en la figura 6 donde se distinguen tres puntos diferentes de adsorción: posición-p, puntos en superficies planas; posición-e, puntos en los bordes de las capas; posición-i, puntos en el espacio interlaminar. La especificidad de estos tres puntos difiere considerablemente.  
 [16]

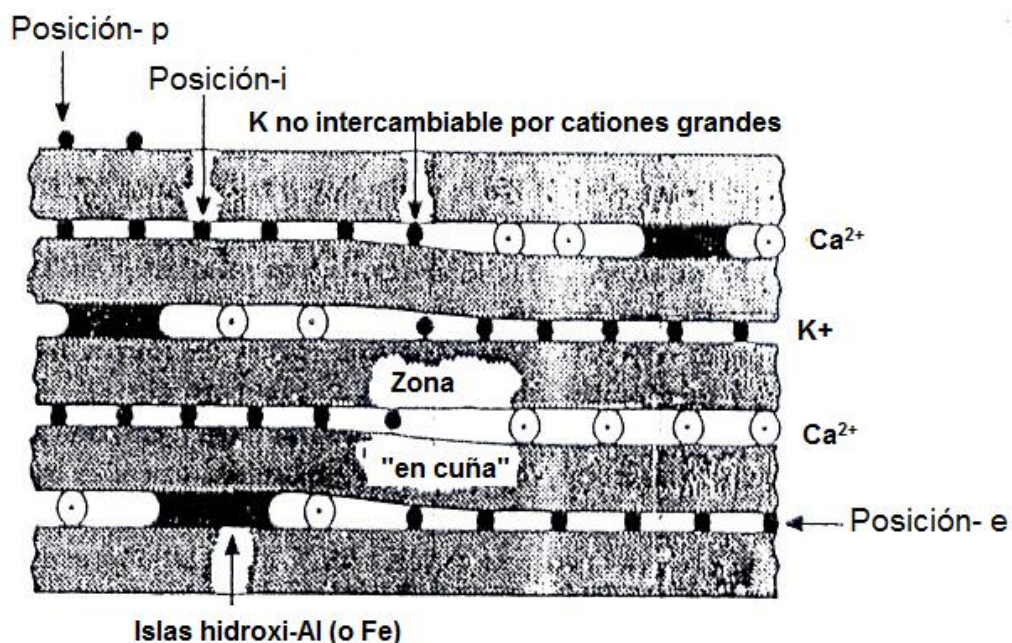


Figura 6. Modelo de un silicato expansible con intercapas mostrando posiciones p-, e-, i- del  $\text{K}^+$ .  
 [16]

Por lo expuesto anteriormente, el  $\text{K}^+$  en el suelo puede dividirse en tres fracciones: el potasio como elemento estructural de los minerales del suelo, el  $\text{K}^+$  adsorbido en forma intercambiable a los coloides del suelo (arcillas y M.O.) y el  $\text{K}^+$  presente en la solución del suelo. El mayor porcentaje de K se encuentra incorporado a las estructuras

cristalinas de los minerales y esta fracción no puede ser intercambiable por  $\text{NH}_4^+$  y puede ser determinada por extracción con  $\text{HNO}_3$  (1M).<sup>[16]</sup>

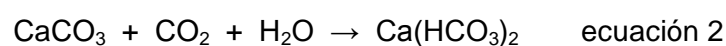
La alta permeabilidad de las membranas vegetales al  $\text{K}^+$  da como resultado la alta velocidad a la que es absorbido por los tejidos vegetales. Esta característica es de importancia para varios procesos fisiológicos influidos por el  $\text{K}^+$  como el crecimiento meristemático, estado hídrico, fotosíntesis y transporte a distancia. La dirección del transporte de  $\text{K}^+$  suele ser hacia los tejidos más jóvenes, dándose con frecuencia una redistribución desde las partes más viejas de la planta a las más jóvenes. La mayor parte del  $\text{K}^+$  se absorbe principalmente durante la etapa de crecimiento vegetativo. En los cereales esto significa que desde el ahijado hasta la emergencia de las espigas, la tasa de absorción de  $\text{K}^+$  es particularmente alta.

Hoy en día los suelos con niveles inadecuados de  $\text{K}^+$  se corrigen frecuentemente mediante el uso de fertilizantes. En sistemas de cultivo intensivos en particular, se aplican elevados niveles. Para mantener el nivel de fertilidad de un suelo, la cantidad de  $\text{K}^+$  absorbida por los cultivos (kg K/Ha) y la que se pierde por lixiviación debería equilibrarse mediante fertilización potásica.<sup>[16]</sup>

#### **1.3.4.2.2 Calcio.**

El Ca en el suelo aparece en varios minerales primarios como: aluminosilicatos que contienen Ca como feldspatos y anfíboles y fosfatos y carbonatos de Ca. Estos últimos son en particular importantes en suelos calcáreos y se presentan generalmente como calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) o dolomita ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ). En condiciones áridas, altos contenidos de Ca en las capas superiores del suelo pueden presentarse en forma de acumulaciones de yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ).<sup>[16]</sup>

La meteorización de los minerales primarios conteniendo Ca depende de la formación de  $\text{H}^+$  en el suelo. Los iones  $\text{H}^+$  y probablemente también agentes quelantes atacan el Ca de las redes cristalinas de los minerales provocando la disolución del mineral y liberando el  $\text{Ca}^{2+}$ . Esto explica las considerables cantidades de  $\text{Ca}^{2+}$  lixiviado en condiciones climáticas húmedas. La meteorización de los carbonatos depende mucho de la producción de  $\text{CO}_2$  en el suelo. La calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) es muy insoluble en agua (10-15 mg/L), pero en presencia de  $\text{CO}_2$  sin embargo se forma el  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  que es mucho más soluble.<sup>[16]</sup> Ver ecuación





El bicarbonato puede también producirse por la disociación del ácido carbónico contenido en el agua de lluvia o del ácido carbónico generado en el suelo por descomposición de M.O. Los procesos de mineralización y nitrificación generan una cantidad considerablemente mayor de iones  $H^+$  y tienen una mayor influencia en la acidificación del suelo y la lixiviación del Ca. Los iones  $H^+$  producidos pueden liberar  $Ca^{2+}$  por meteorización o por el intercambio de  $2H^+$  por 1  $Ca^{2+}$  de los coloides arcillosos.

Además de los minerales que contienen Ca en su estructura, una cantidad considerable de  $Ca^{2+}$  está adsorbido en coloides orgánicos e inorgánicos del suelo. Este  $Ca^{2+}$  intercambiable es de especial importancia en la estructura del suelo pues favorece la floculación de los coloides del suelo mejorando la estructura y la estabilidad de las partículas del suelo.

Los puntos de adsorción de los coloides orgánicos no son muy selectivos para  $Ca^{2+}$  y como la carga electrostática del  $Ca^{2+}$  es alta debido a su divalencia y a su delgada capa de hidratación, el  $Ca^{2+}$  es absorbido con una fuerza relativamente alta por los diferentes tipos de minerales de arcilla del suelo. La adsorción del  $Ca^{2+}$  a los coloides húmicos es más específica.

Los suelos calcáreos presentan pHs altos y mayor contenido de carbonatos, son más ricos en nutrientes, el nivel de metales pesados solubles es generalmente más bajo y además la actividad de las bacterias nitrificantes y fijadoras de nitrógeno es mayor.

Generalmente la concentración de  $Ca^{2+}$  de la solución suelo es cerca de 10 veces mayor que la de  $K^+$ , la tasa de absorción de  $Ca^{2+}$  sin embargo, es generalmente menor que la del  $K^+$ . Este bajo potencial de absorción de  $Ca^{2+}$  se debe a que puede ser absorbido solo por los ápices más jóvenes de la raíz. Además, la absorción del  $Ca^{2+}$  puede también verse deprimida por la presencia competitiva de cationes como  $K^+$  y  $NH_4^+$  que son rápidamente absorbidos por las raíces.<sup>[16]</sup>

El Ca es importante en la formación de las membranas de las células de las plantas, formando un pectinato de Ca. Tiene importancia también para neutralizar los ácidos orgánicos como por ejemplo el ácido oxálico como oxalato de calcio.<sup>[78]</sup> La necesidad del  $Ca^{2+}$  para el crecimiento de las plantas se demuestra fácilmente interrumpiendo el suministro de  $Ca^{2+}$  a las raíces, la tasa de crecimiento se reduce inmediatamente y después de unos días los ápices de la raíz empardecen y gradualmente mueren. El  $Ca^{2+}$  se requiere para la elongación y la división celular. Además, según últimos estudios el  $Ca^{2+}$  se absorbe a los grupos fosfato negativamente cargados de los lípidos de membrana y de esta forma restringiría la permeabilidad de las membranas a los solutos hidrofílicos.<sup>[16]</sup>

#### 1.3.4.2.3 Magnesio.

El magnesio está presente en minerales arcillosos secundarios como clorita, vermiculita, illita y montmorillonita. Algunos suelos contienen Mg como  $MgCO_3$  o dolomita ( $CaCO_3 \cdot MgCO_3$ ). Suelos de regiones áridas o semiáridas pueden contener grandes cantidades de Mg como  $MgSO_4$ .

La distribución del Mg en los suelos, puede considerarse de la misma forma que para el K: Intercambiables, no intercambiables y solubles en agua, las cuales se encuentran en equilibrio. La mayor fracción se encuentra en forma no intercambiable en los minerales primarios y secundarios de arcilla. El Mg intercambiable (disponible) es generalmente del orden del 5% del Mg total, y esta fracción junto con la soluble en agua, son las de mayor importancia en el suministro a las plantas. El Mg en la solución de suelo al igual que el  $Ca^{2+}$  se presenta en concentraciones altas. Parte del Mg se encuentra asociado a la M.O. pero esta fracción es pequeña y menor del 1% del Mg total del suelo. <sup>[16]</sup>

El Mg, al igual que el  $Ca^{2+}$  se lixivia con facilidad, en suelos arenosos las pérdidas por lixiviación son predominantes. En estos suelos el subsuelo con frecuencia contiene niveles más altos de Mg que la parte superior del perfil.

Generalmente la concentración de  $Mg^{2+}$  en la solución suelo es mayor que la del  $K^+$ , pero la tasa de absorción de  $Mg^{2+}$  por las células radiculares es mucho menor que la de  $K^+$ . En el transporte de  $Mg^{2+}$  la competencia de cationes puede jugar un papel principal y la absorción de  $Mg^{2+}$  puede verse seriamente afectada por un exceso de otras especies catiónicas, especialmente  $K^+$  y  $NH_4^+$ . Esta competencia puede conducir a una deficiencia de  $Mg^{2+}$  en las plantas.

En los tejidos vegetales una alta proporción del Mg total (>70%) es difundible y está asociado con aniones inorgánicos y aniones ácidos orgánicos como el malato y el citrato. El Mg está asociado con aniones no difundibles como el oxalato y el pectato. El papel más conocido del Mg es su presencia en el centro de la molécula de clorofila. Uno de sus papeles más importantes es actuar como cofactor de casi todas las enzimas que activan procesos de fosforilación. Una reacción clave del  $Mg^{2+}$  es la activación de la ribulosa bisfosfato carboxilasa, responsable de la asimilación de  $CO_2$ , así como la producción de azúcar y almidón. Generalmente cuando las plantas son deficientes en Mg, la proporción de N proteico disminuye y la del N no proteico aumenta, es decir, se inhibe la síntesis proteica. <sup>[16]</sup>

Las deficiencias se dan particularmente en suelos ácidos húmicos fuertemente lixiviados debido a la presencia del  $Al^{3+}$  que deprime la absorción de  $Mg^{2+}$ , y en suelos calcáreos

por el mismo efecto producido por el  $\text{Ca}^{2+}$ . En el cultivo de arroz, se presenta disminución en el rendimiento del grano ocurren cuando la hoja bandera o las espigas presentan síntomas de deficiencia. <sup>[16]</sup>

#### **1.3.4.2.4 Sodio.**

En suelos de regiones húmedas existe muy poco  $\text{Na}^+$  intercambiable y no intercambiable, mientras que es común en la mayoría de suelos de regiones áridas y semiáridas. En estos suelos el  $\text{Na}^+$  existe como  $\text{NaCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  y  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . La solución suelo contiene entre 0,5-5,0 ppm  $\text{Na}^+$  en suelos de regiones templadas. <sup>[15]</sup>

En regiones áridas y si los suelos son irrigados con aguas de alta concentración de este anión, los niveles de  $\text{Na}^+$  intercambiable excederán los niveles de  $\text{K}^+$ . Si además los suelos poseen drenaje deficiente, las sales de Na se acumularán contribuyendo a la salinidad y sodicidad del suelo. Una importante fuente de Na se encuentra en la fertilización asistida, como por ejemplo: fertilizantes de K con contenidos de  $\text{NaCl}$ ,  $\text{NaNO}_3$ , etc.

El sodio es esencial para las plantas halófilas las cuales acumulan sales en sus vacuolas para mantener el turgor y su crecimiento. El efecto benéfico del Na en el crecimiento de las plantas se observa en suelos con baja concentración de K, debido a que el  $\text{Na}^+$  puede sustituir parcialmente al  $\text{K}^+$ . <sup>[15]</sup>

#### **1.3.4.3 Aniones**

##### **1.3.4.3.1 Cloruro**

Los cloruros son sales muy solubles y con una toxicidad muy alta. El cloruro sódico es la sal más frecuente y afecta a la solubilidad de otras sales por efecto de ión común. La eflorescencia formada en la estación seca tiene un gusto salado y para su eliminación requiere el lavado en condiciones de un buen drenaje. <sup>[10]</sup>

El cloruro magnésico se presenta en suelos con alta salinidad, es muy tóxico para las plantas y se forma por presencia de aguas ricas en iones  $\text{Cl}^{-1}$  y  $\text{Na}^{+1}$  por medio de intercambio con el  $\text{Mg}^{2+}$ . La presencia de cloruro magnésico es responsable de la humedad prolongada del suelo, aun tiempo después de una lluvia, debido a que la sal es muy higroscópica. Las eflorescencias tienen un gusto amargo debido al magnesio. Es difícil remediar suelos con esta sal debido a que el  $\text{Mg}^{2+}$  suele ocupar sedes de intercambio desplazando a iones monovalentes durante el lavado. <sup>[10]</sup>

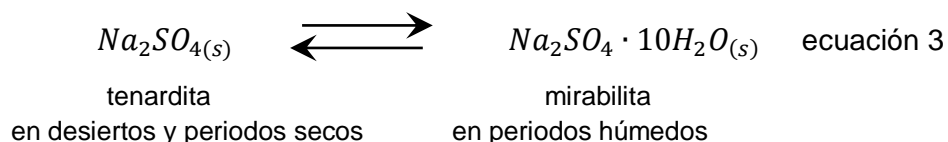
El cloruro cálcico es poco frecuente debido a la mayor estabilidad de las otras sales. El cloruro potásico es poco frecuente en suelos salinos debido a que el  $K^+$  puede formar complejos de esfera interna en la superficie de las arcillas. Además, al ser un macronutriente queda inmovilizado en la biomasa. <sup>[10]</sup>

### 1.3.4.3.2 Sulfato

El azufre es absorbido por las raíces casi exclusivamente como la forma aniónica sulfato ( $SO_4^{2-}$ ). El azufre es requerido por las plantas para la síntesis de aminoácidos; cisteína, metionina, componentes esenciales de las proteínas<sup>[15]</sup>.

El contenido de sulfatos en el suelo se ve afectado por la aplicación de fertilizantes y con aguas de irrigación provenientes de zonas cercanas a centros de actividad industrial. Al igual que el ion nitrato ( $NO_3^-$ ), los sulfatos ( $SO_4^{2-}$ ) son lixiviados de la superficie del suelo; a mayor percolación del agua, mayor movimiento a las capas más profundas de los sulfatos. <sup>[15]</sup>

El efecto de estas sales dependerá del catión asociado. El sulfato sódico es frecuente en suelos salinos, las eflorescencias tienen un sabor a sal y a jabón. De acuerdo a la humedad presente varía su composición molecular, según la ecuación. <sup>[10]</sup>



La primera especie en la reacción líneas arriba (thenardita) se presenta en desiertos y/o en periodos de sequía cálidos donde se deposita en la superficie del suelo formando eflorescencias blancas. La segunda (mirabilita) se presenta durante la estación húmeda y/o de bajas temperaturas, en la zona de enraizamiento. <sup>[10]</sup>

Sulfato magnésico es muy soluble, altamente tóxico y de difícil lavado. Está presente únicamente donde se realiza hace un mal uso de los abonos, por lo que en condiciones naturales no se presenta. <sup>[10]</sup>

La solubilidad de las diferentes sales depende mucho de la temperatura y la acidez del medio. La solubilidad de diversas sales en función de la temperatura se representa en el gráfico de la Figura 7. <sup>[10]</sup>

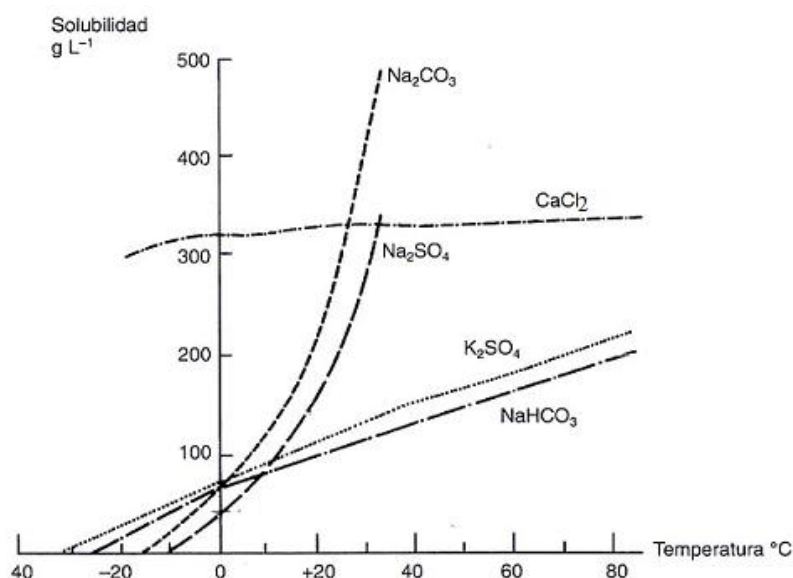


Figura 7. Solubilidad de las sales más comunes en los suelos con respecto a la temperatura.<sup>[10]</sup>

#### 1.3.4.3.3 Carbonato y bicarbonato

El carbonato de calcio es el mayor componente de los suelos calcáreos y es la cantidad y la forma en que está presente, junto con su distribución en el perfil del suelo, lo que afecta tanto a las características físicas y químicas de este. Los suelos calcáreos con 15% de carbonato de calcio muestran una más alta difusión y circulación de agua que los suelos no calcáreos de similar textura. El carbonato de calcio puede formar agregados muy estables, lo que genera problemas si el porcentaje del mismo supera el 25%, debido a que precipitaría en los conductos capilares, obstruyendo los microporos y reduciendo la percolación.<sup>[13]</sup>

En cuanto a las consecuencias químicas, la retención de P, Mn, Zn y Cu está directamente relacionada con el contenido de carbonato en el suelo. Además, la presencia de sales de carbonato así como de bicarbonato, indicarían una alcalinización del suelo (ESP >15%), con pH mayor a 9, lo cual es inadecuado para el crecimiento de casi todas las plantas, debido a que reduciría la penetración de las raíces existiendo diferentes grado de sensibilidad en las diferentes especies de cultivos.<sup>[13]</sup>

#### 1.3.4.3.4 Nitrato

El anión nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) es muy soluble en agua por lo que está sujeto a pérdidas por lixiviación en suelos de climas húmedos y en sistemas de irrigación de cultivos. La velocidad de consumo de  $\text{NO}_3^-$  es alta y favorecida en condiciones de pH bajo. La lixiviación de  $\text{NO}_3^-$  es generalmente el mecanismo de mayor pérdida de los suelos en climas húmedos y bajo un sistema de cultivo de regadío.<sup>[15]</sup>

En suelos anegados como en los cultivos de arroz, los fertilizantes conteniendo  $\text{NO}_3^-$  resultan inútiles debido a la pérdida del N por denitrificación debido a la falta de  $\text{O}_2$  necesaria para los microorganismos.

Es poco frecuente en suelos salinos, pero se ha encontrado nitrato sódico ( $\text{NaNO}_3$ ) en desiertos muy áridos como los de Chile y Perú. Se trata de una sal muy soluble y tóxica. <sup>[10]</sup>

#### **1.3.4.3.5 Fosfato**

El fósforo que se encuentra en la superficie terrestre y es absorbido por las plantas está en forma de fosfatos ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ). Desafortunadamente, la cantidad total de P en los suelos tiene muy poca o ninguna relación con la disponibilidad del fósforo para las plantas. A su vez, la concentración de fósforo absorbido es considerablemente menor que la de los otros macronutrientes N y K. La absorción de  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  y  $\text{HPO}_4^{2-}$  está asociada al valor del pH; cuando el pH es 7,2 hay aproximadamente cantidades iguales de  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  y  $\text{HPO}_4^{2-}$ ; cuando es mayor la especie predominante a este pH es  $\text{HPO}_4^{2-}$ , mientras que el consumo de  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  es mayor a valores de pH menores de 7,2. <sup>[15]</sup>

La función esencial del fósforo en las plantas es el almacenamiento de energía y la transferencia de adenosin di- y tri-fosfato (ADP y ATP), los que actúan como una "corriente de energía". Esta donación o transferencia de energía desde el ATP hacia las partes de la planta que la necesitan es llamada fosforilación. Un adecuado suministro de P está asociado con el desarrollo de la raíz y de las partes reproductivas <sup>[15]</sup>.

Al igual que la M.O., la concentración del fósforo orgánico decrece con la profundidad y su distribución depende de la naturaleza del suelo. Las formas en las que se encuentra P orgánico no han sido caracterizadas en su totalidad, pero en su mayoría son fosfatos de inositol, fosfolípidos y ácidos nucleicos. Los inositol fosfatos representan una serie de ésteres de fosfato que comprenden el 50% del fósforo orgánico total. Los ácidos nucleicos (DNA y RNA) son liberados en el suelo en mayores cantidades que los derivados del inositol, pero son degradados con mayor rapidez. Los fosfolípidos son insolubles en agua, pero son consumidos y transformados por microorganismos del suelo. <sup>[15]</sup>

Los compuestos inorgánicos del fósforo en el suelo que no absorbidos por la planta o inmovilizados por microorganismos pueden ser adsorbidos (fijados o retenidos) por superficies de los minerales (P disponible) como la arcilla o superficies de  $\text{CaCO}_3$ . También pueden precipitar como compuestos de fósforo secundarios. La fijación del

fósforo depende principalmente del pH. En suelos calcáreos y neutrales el P inorgánico precipita como minerales secundarios (Ca-P).<sup>[15]</sup>

La materia orgánica incrementa la disponibilidad del P como complejos de organofosfatos que son más fácilmente asimilables por las plantas.

#### **1.3.4.4 Materia orgánica**

La materia orgánica (M.O.) es el material en el suelo resultado de la descomposición de plantas (hojas, rastrojo, raíces y materiales maduros vegetales) y animales (gusanos, insectos, hongos y bacterias) y se encarga de mantener a la microflora y microfauna en el suelo. A través de su descomposición e interacción con otros componentes del suelo resulta determinante en la fertilidad física y química del suelo.<sup>[58]</sup> Debido a constantes aportes a lo largo del tiempo, la M.O. está constituida por un conjunto heterogéneo de sustancias en distintos estados de alteración.<sup>[10]</sup>

La M.O. de un suelo está compuesta de:

- materia orgánica fresca (M.O. no humificada): aquí se considera la biomasa vegetal, es decir la parte aérea de plantas y raíces, así como restos de animales que constituyen alimento para los microorganismos del suelo. Se considera la biomasa microbiana que se encuentra poco o nada alterada.<sup>[10]</sup>
- humus: constituido por la mezcla de compuestos orgánicos del suelo (con excepción de los organismos vivos de la biomasa), así como por restos de plantas y animales parcialmente descompuestos o de estructura no específica. El humus se puede subdividir en sustancias no húmicas y sustancias húmicas. Las sustancias no-húmicas tienen características químicas definidas: glúcidos, proteínas, péptidos, aminoácidos, grasas, ceras, poliésteres y ácido orgánicos de fácil degradación. Las sustancias húmicas son el producto de la acción microbiana y procesos abióticos (procesos de humificación) y no se puede precisar su composición química.<sup>[10]</sup>

La materia orgánica comprende materia viva y no viva; esta última se convertirá en materia orgánica disuelta, materia orgánica particulada, humus y materia orgánica inerte como carbón y restos de plantas carbonizados. La cantidad de materia orgánica del suelo y la cantidad de carbón orgánico presentes en el suelo se expresan ambas en porcentaje en peso del suelo, por lo que se deberá prestar atención si se trata del porcentaje de M.O. o de carbono orgánico.<sup>[17]</sup>

Las incidencias de la M.O. en el suelo son diversas, entre ellas se puede mencionar:<sup>[10]</sup>

- En las propiedades físicas; facilita la formación y estabilidad de los agregados, mejora la porosidad y la aireación, mejora la capacidad de retención de agua disponible para las plantas, confiere facilidad en el laboreo, previene los procesos erosivos, entre otros.
- En las propiedades químicas: interviene en los procesos de intercambio iónico debido a su elevada superficie específica y elevada CIC, tiene gran capacidad tampón frente a cambios de pH, estabiliza nutrientes en forma orgánica, etc.
- En las propiedades biológicas: constituye una reserva de energía metabólica por el C y macronutrientes y micronutrientes que contiene; estimula/inhíbe la actividad enzimática según el caso; efecto antibiótico frente a organismos patógenos, entre otros.

#### **1.3.4.5 Acidez y basicidad**

La medida de la concentración de protones en el suelo proporciona un diagnóstico rápido de los efectos perjudiciales potenciales de la acidez. La forma más usual de determinar las condiciones de acidez o de basicidad de un horizonte de un suelo se basa, debido a la rapidez y facilidad, en la medida del pH en una suspensión suelo:agua, en determinadas proporciones.<sup>[10]</sup> Los valores de las proporciones en la relación suelo: agua más utilizadas son: 1:1, 1:2,5 y 1:5.<sup>[18]</sup>

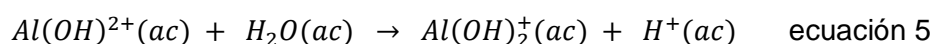
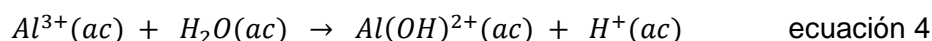
Las medidas del pH suelen darse en una suspensión suelo:agua en relación 1:1. En estudios de salinidad se mide el pH de la pasta saturada. En este caso, el valor de pH es más bajo que el de pH de la suspensión 1:2,5. Por tanto, en los resultados y en las interpretaciones debe tenerse en cuenta el método y la relación utilizada. Los valores de pH en agua en relación 1:2,5 de los sistemas naturales se hallan generalmente en el intervalo de 4,5 y 10. La Tabla 3 muestra los efectos esperables para los distintos intervalos de pH establecidos por el USDA para soluciones con la relación 1:2,5 suelo:agua (1971) <sup>[10]</sup>.

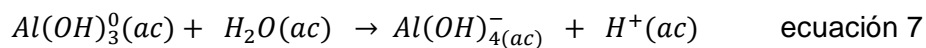
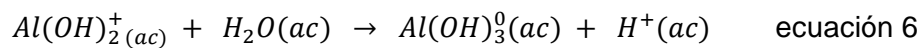


**Tabla 3.** Intervalos de pH establecidos por USDA (1971) y los efectos esperados en el suelo <sup>[10]</sup>.

pH	Evaluación	Efectos esperables en el intervalo
< 4,5	Extremadamente ácido	Condiciones muy desfavorables
4,5 - 5,0	Muy fuertemente ácido	Posible toxicidad por Al <sup>3+</sup> y Mn <sup>2+</sup>
5,1 - 5,5	Fuertemente ácido	Exceso: Co, Cu, Fe, Mn, Zn. Deficiencia: Ca, K, N, Mg, Mo, P, S. Suelos sin carbonato cálcico. El hormigón ordinario es atacado. Actividad bacteriana escasa.
5,6 - 6,0	Medianamente ácido	Adecuado para la mayoría de cultivos
6,10 - 6,50	Ligeramente ácido	Máxima disponibilidad de nutrientes.
6,60 - 7,3	Neutro	Mínimos efectos tóxicos. Por debajo de pH=7 el carbonato cálcico no es estable en el suelo
7,4 - 7,8	Medianamente básico	Suelos generalmente con CaCO <sub>3</sub>
7,9 - 8,4	Básico	Disminuye la disponibilidad de P y B Deficiencia creciente de: Co, Cu, Fe, Mn, Zn. Suelos calizos. Clorosis férrica debida al HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
8,5 - 9,0	Ligeramente alcalino	En suelos con carbonatos, estos pH altos pueden deberse al MgCO <sub>3</sub> , sino hay sodio intercambiable.  Mayores problemas de clorosis férrica (Russell, 1978)
9,1 - 10,0	Alcalino	Presencia de carbonato sódico
> 10	Fuertemente alcalino	Elevado porcentaje de sodio intercambiable (ESP > 15%). Toxicidad: Na, B. Movilidad del P como Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> . Actividad microbiana escasa. Micronutrientes poco disponibles, excepto Mo.

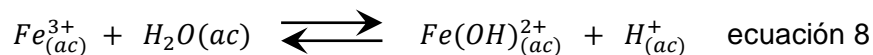
Los efectos perjudiciales de la acidez se manifiestan desde valores de pH menores a 5,5 y son debidos a la toxicidad del aluminio y a la poca disponibilidad de los elementos nutrientes. El catión Al<sup>3+</sup> desplazado por la capacidad de intercambio catiónico (CIC) es hidrolizado y se forman complejos de hidroxialuminio. La hidrólisis del catión Al<sup>3+</sup> libera H<sup>+</sup>. Cada paso de la reacción aumenta el pH. <sup>[15]</sup>





Los iones hidróxido de aluminio se combinan para formar largas cadenas poliméricas cargadas positivamente, en las cuales, los grupos hidroxilo ( $OH^{-}$ ) son compartidos por iones  $Al^{3+}$  adyacentes. La polimerización es favorecida por la presencia de superficies arcillosas. Debido a que todas las cadenas poliméricas tienen carga positiva y no son intercambiables, la CIC se ve afectada por la adsorción de dichas cadenas. A pH alto precipita el hidróxido de aluminio y la polimerización es reducida o no se da; mientras que, si el pH se reduce, se incrementa la polimerización debido al aumento de iones aluminio, y su adsorción en las superficies arcillosas provocaría la disminución de la CIC.

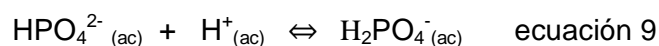
La acción del hierro es similar a la del aluminio <sup>[10]</sup>:



Aunque esta reacción es más ácida que la de la hidrólisis del aluminio, la acidez está tamponada por los productos de la reacción de hidrólisis del aluminio. La hidrólisis del hierro no tendrá mayor efecto en el suelo hasta que haya reaccionado todo el aluminio.

La toxicidad del aluminio es el factor limitante de crecimiento más importante en suelos ácidos ( $pH < 5,5$ ), disminuye el peso por planta, el área foliar y los contenidos de calcio, magnesio y fósforo en los tejidos, aumentando los contenidos de aluminio, manganeso y hierro. Generalmente a pHs bajos ( $pH < 5,5$ ) predominan los hongos en el suelo, mientras que a pHs más altos (neutros), lo hacen las bacterias beneficiosas fijadoras del nitrógeno molecular (*Nitrosomas* y *Nitrobacter*), los microorganismos libres del suelo (*Azotobacter* y *Chlostridium*) y los simbióticos (*Rhizobium* y *Actinomizes*). <sup>[15]</sup>

En el caso del fosfato, el pH regula la relación  $H_2PO_4^{-} / HPO_4^{2-}$  de la solución del suelo. Altas concentraciones de  $H^{+}$  desplazarán el equilibrio hacia la forma protonada <sup>[15]</sup>:



#### 1.3.4.6 Nitrógeno total y sus transformaciones en el suelo

Las formas en las que el nitrógeno se encuentra en el suelo son nitrógeno inorgánico y nitrógeno orgánico. Esta última forma se encuentra presente en la superficie del suelo como el 95% o más en la materia orgánica.

El nitrógeno inorgánico en el suelo comprende los compuestos amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), óxido nítrico ( $\text{NO}$ ), y nitrógeno elemental ( $\text{N}_2$ ); este último solo aprovechado por organismos fijadores de nitrógeno como *Rhizobia*. Desde el punto de vista de la nutrición de la planta, las tres primeras sustancias son de mayor importancia y son producidas por la descomposición aeróbica de la materia orgánica o por la adición de fertilizantes.<sup>[15]</sup>

El nitrógeno orgánico está presente en el suelo como proteínas, aminoácidos, aminoazúcares, y otros compuestos con complejos de nitrógeno. La oxidación biológica de los aminoácidos libres es una importante fuente de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ).

La M.O. comprende todo material orgánico en todos los estados de descomposición. El material relativamente estable por el que está compuesto es llamado humus, resistente a la degradación microbiana.

La mineralización del nitrógeno comprende dos reacciones: aminización y amonificación, realizadas por organismos heterótrofos. La aminización es la descomposición de la proteína de la M.O. por parte de bacterias en medios neutros y alcalinos; en medios ácidos los hongos son los responsables de esta transformación. Mientras, la amonificación es la conversión del nitrógeno orgánico (aminas, aminoácidos, y urea producidos por la aminización) en amonio. Los heterótrofos necesitan carbono orgánico como fuente de energía. La mineralización se incrementa con la temperatura, con buen suministro de  $\text{O}_2$  y es favorecida con una moderada humedad (50-70% de espacio de poros llenos de agua); por esta razón, la descomposición procede aun en suelos con una ligera capa de agua, aunque a una menor velocidad.<sup>[19]</sup>

La inmovilización del nitrógeno es la conversión del nitrógeno inorgánico ( $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$ ) en nitrógeno orgánico; es el proceso inverso de la mineralización. Si la descomposición de la materia orgánica contiene una cantidad menor de N que de C, los microorganismos inmovilizarán  $\text{NH}_4^+$  o  $\text{NO}_3^-$  en el suelo.<sup>[19]</sup>

Las cantidades de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) en el suelo disponibles para las plantas, dependen en gran medida de la cantidad de fertilizantes con nitrógeno utilizados, y de la mineralización del nitrógeno orgánico en el suelo.

### 1.3.4.7 Efecto de la relación C/N

La relación C/N define las cantidades relativas de estos dos elementos en los restos de los cultivos y otros materiales orgánicos frescos. Del valor de esta relación dependerá si el nitrógeno es mineralizado o inmovilizado de la materia orgánica.

Generalmente, cuando las sustancias en el suelo poseen la relación C/N mayor a 30:1; el nitrógeno es inmovilizado durante el inicio del proceso de descomposición. Para relaciones entre 30 y 20, no existirá ni inmovilización del N ni su liberación como amonio o nitrato. Por el contrario, si esta relación es 20 o menos, existirá la liberación del nitrógeno en el proceso de descomposición. El proceso de mineralización e inmovilización que sigue la materia en descomposición, gracias a los microorganismos presentes en el suelo está representado en el diagrama de la Figura 8. <sup>[15]</sup>

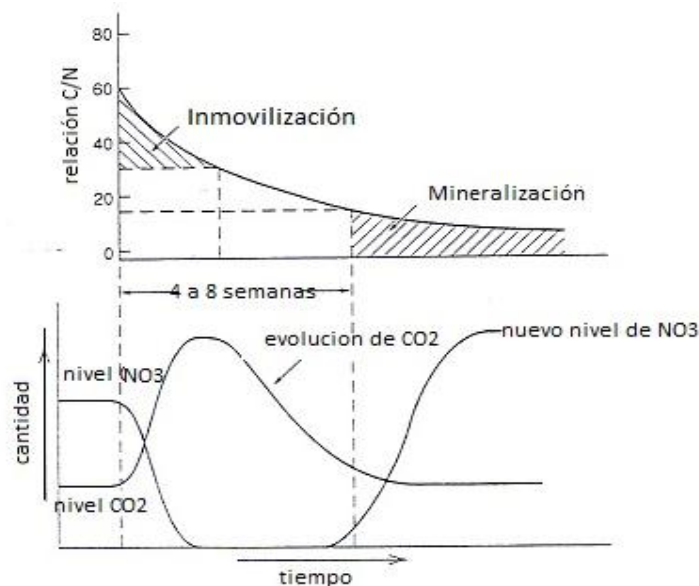


Figura 8. Cambios en los niveles de  $\text{NO}_3^-$  del suelo durante la descomposición de residuos de los cultivos con N. <sup>[15]</sup>

### 1.3.4.8 Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica (CE) medida es proporcional a la concentración y a la naturaleza de sales disueltas en la solución agua: suelo. En otras palabras, existe un factor de proporcionalidad entre la conductividad eléctrica (dS/m) y la concentración de aniones y cationes (meq/L o mg/L). Es por esta razón que la medida de CE es la más usada para medir la salinidad del suelo. La CE se mide con un conductímetro cuyo fundamento es el puente de Wheatstone. Las unidades de medida en el sistema SI son  $\text{dS m}^{-1}$  a  $25^\circ\text{C}$ . <sup>[10]</sup>

Esta medida tiene una gran dependencia con la temperatura (puede aumentar hasta 2% por grado) por lo cual se ajusta a la temperatura referencial de 25°C, luego de medir la temperatura de la solución.

La medición de la CE se lleva a cabo generalmente en la pasta saturada ( $CE_{SE}$ ); pero también se puede determinar la conductividad eléctrica en una solución agua:suelo (1:2,5), calculando a partir de este valor la  $CE_{SE}$  con los valores de textura del suelo, así como con el contenido de materia orgánica dados en la Tabla 4<sup>[20]</sup> y según la Fórmula 1,

$$CE_{SE} = \frac{250 * CE_{2,5}}{WC_{SE}} \quad \text{Fórmula 1}$$

donde:  $CE_{SE}$  = conductividad eléctrica del extracto saturado,  $CE_{2,5}$  = conductividad eléctrica de la solución suelo:agua 1:2,5,  $WC_{SE}$  = contenido de agua de extracto de saturación en g/100 g. <sup>[20]</sup>

**Tabla 4.** Dependencia del contenido de agua de extracto de saturación ( $WC_{SE}$ ) sobre la textura y el contenido de M.O. <sup>[20]</sup>

Clase textural de suelos	Contenido de agua de extracto de saturación $WC_{SE}$ en g/100 g					
	contenido de M.O.					
	< 0,5 %	0,5-1 %	1-2 %	2-4 %	4-8 %	8-15 %
grava	5	6	8	13	21	35
AM	8	9	11	16	24	38
AF	10	11	13	18	26	40
AF, FA <10% arcilla	14	15	17	22	30	45
FL <10% arcilla	17	18	20	25	34	49
L	19	20	22	27	36	51
FA 10-20% arcilla	22	23	26	31	39	55
F	25	26	29	34	42	58
FL 10-27% arcilla	28	29	32	37	46	62
FYA	32	33	36	41	50	67
FA, FYL	44	46	48	53	63	80
YA	51	53	55	60	70	88
YL, Y 40-60% arcilla	63	65	68	73	83	102
Y >60% arcilla	105	107	110	116	126	147

Las abreviaturas de las clases texturales son: AM: arena media, AF: areno francoso, FA: franco arenoso, FL: franco limoso, L: limoso, F: franco, FYA: franco arcillo-arenoso, FYL: franco arcillo-limoso, YA: arcillo-arenoso, YL: arcillo-limoso y Y: arcilloso.

#### 1.3.4.9 Salinidad y sodificación

En regiones áridas y semiáridas como la costa norte peruana los pequeños depósitos de agua debido a las escorrentías sufren la evaporación, con la consiguiente acumulación de las sales en el suelo. Este fenómeno aunado a la baja o casi nula

precipitación que no permite la lixiviación de las sales formadas genera la presencia de suelos salinos, sódicos o salino-sódicos. Este tipo de suelos prevalecen particularmente en áreas irrigadas de manera incorrecta y con un drenaje deficiente. El rápido aumento de irrigación de tierras para la agricultura durante las últimas cinco décadas ha incrementado la salinización de estos suelos. Este caso se agudiza cuando se trata de los cultivos de arroz que utilizan la irrigación por inundación.<sup>[15]</sup>

Las sales acumuladas están compuestas principalmente por los cationes  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  y los aniones  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , y  $\text{CO}_3^{2-}$ . Estos pueden provenir del desgaste realizado por factores climáticos que se acumulan por la pobre precipitación. El sodio es particularmente dañino debido a los efectos tóxicos que producen en la mayoría de plantas y en la estructura del suelo. Cuando un alto porcentaje del CIC es ocupado por el ión  $\text{Na}^+$  el agregado suelo se dispersa; el suelo se vuelve impermeable al agua, desarrolla una costra dura, seca y blanquecina en la superficie.<sup>[15]</sup>

#### 1.3.4.9.1 Relación de adsorción de sodio

Es utilizado como indicador del riesgo de sodificación de los suelos asociado a la calidad de agua de riego. La relación de adsorción de sodio (SAR) se define como la razón de la concentración del ión sodio ( $\text{Na}^{+1}$ ) soluble, sobre la raíz cuadrada de la suma de las concentraciones de los iones calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e iones magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) también solubles en el extracto saturado.<sup>[10]</sup>

Si las concentraciones de los iones se expresan en miliequivalentes por litro (meq/L), el valor del SAR se calcula con la razón de la concentración del ión sodio ( $\text{Na}^{+1}$ ) en el extracto de pasta saturada sobre la raíz cuadrada de la mitad de la suma de las concentraciones de los iones calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e iones magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) en el extracto de pasta saturada, según la fórmula 2; <sup>[10]</sup>

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}^{+1}}{\sqrt{(\text{Mg}^{2+} + \text{Ca}^{2+})/2}} \quad \text{Fórmula 2}$$

El valor obtenido del SAR es únicamente de uso práctico debido a que el análisis teórico en que se basa presenta limitaciones; como no considerar la formación de pares iónicos, lo que afectaría la relación entre monovalentes a divalentes en el suelo.

Los problemas que se presentan en los suelos de regadío no pueden evaluarse en base a solo un factor; en cambio, se deben tener en cuenta las interacciones agua-suelo, las características fisicoquímicas del suelo a regar, el cultivo, el clima, los métodos de riego,

etc. Se utilizan como indicadores el SAR y la CE en los criterios de interpretación de la calidad del agua de riego para evaluar la gravedad del problema (ver Tabla 5).<sup>[10]</sup>

**Tabla 5.** Calidad del agua de riego con valores del SAR y CE<sup>[10]</sup>.

SAR	CE (dS.m <sup>-1</sup> ) a 25 °C		
	sin problema	ligero a moderado	grave
0 - 3	> 0,9	0,9 - 0,20	< 0,20
3 - 6	> 1,3	1,3 - 0,25	< 0,25
6 - 12	> 2,0	2,0 - 0,35	< 0,35
12 - 20	> 3,1	3,1 - 0,90	< 0,90
> 20	> 5,6	5,6 - 1,80	< 1,80

Las aguas para el regado cuya clasificación alcanza la denominación de grave elevan los niveles de sodio en el suelo, lo que tendría un efecto adverso sobre la velocidad de percolación y filtración debido a la dispersión del suelo. Adicionalmente, conlleva al encostramiento del suelo, al limitado emergimiento de las plántulas y a la pobre aireación del suelo.<sup>[10]</sup>

#### 1.3.4.9.2 Relación de sodio intercambiable

Debido al equilibrio presente en el suelo entre los cationes intercambiables, en particular del Na<sup>+1</sup> con respecto a los cationes Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup>, la relación ESR se calcula con la fórmula 3<sup>[15]</sup>.

$$ESR = \frac{\text{sodio intercambiable (Na}^{+1}\text{)}}{\text{iones intercambiables (Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}\text{)}} \quad \text{Fórmula 3}$$

donde las unidades de las concentraciones se dan en meq/100 g de suelo.

Este parámetro se relaciona con el porcentaje de sodio intercambiable (ESP), generalmente utilizado para la identificación de suelos afectados por sodio, como lo muestra la Tabla 6 con los valores de los parámetros en la clasificación de suelos afectados por salinidad.<sup>[15]</sup>



**Tabla 6.** Clasificación de suelos afectados por sales<sup>[15]</sup>.

Clasificación	Conductividad (μS/cm)	pH	porcentaje sodio intercambiable (ESP)	Condiciones físicas del suelo
salino	> 4.0	< 8.5	< 15	normal
sódico	< 4.0	> 8.5	> 15	pobre
salino-sódico	> 4.0	< 8.5	> 15	normal

#### 1.3.4.9.3 Porcentaje de sodio intercambiable

Es el índice de sodicidad más utilizado para evaluar la estabilidad del suelo y para su clasificación porque evalúa el nivel de sodio intercambiable con respecto a los iones intercambiables hallados en el CIC. Se halla con la fórmula 4; <sup>[10]</sup>

$$ESP = \frac{\text{sodio intercambiable (Na}^{+1}) * 100}{CIC} \quad \text{Fórmula 4}$$

donde la concentración del catión sodio está en meq/100 g o cmol(+)/kg.

#### 1.3.4.10 Suelos salinos, sódicos y salino-sódicos

Los suelos que contienen sales solubles o sodio intercambiable o con un pH tan alto que mengua su productividad, pueden clasificarse en tres grupos de acuerdo a la naturaleza y proporción de las sales presentes. <sup>[12]</sup>

- Suelos salinos: estos suelos tienen una concentración relativamente alta de sales solubles, por lo cual tienen CE para extracto saturado ( $CE_{se}$ ) > 4 dS m<sup>-1</sup>, pH < 8,5, y ESP = 15%. Los suelos salinos presentan formación superficial blanca, llamada álcali blanco, debido a los depósitos de sales, en su mayoría de Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup> con los aniones Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> y CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> como consecuencia de la evaporación. Dependiendo de la concentración de las sales afectarán el crecimiento de las plantas, aunque la tolerancia a la salinidad varía con las especies. <sup>[15]</sup>
- Suelos sódicos: estos suelos se dan cuando (ESP) > 15%,  $CE_{se}$  < 4 dS m<sup>-1</sup>. La formación del llamado álcali negro ocurre debido a la materia orgánica disuelta depositada sobre la superficie junto con las sales. <sup>[15]</sup>

- Suelos salino-sódicos: en estos tipos de suelo la conductividad de la pasta saturada  $CE_{se} > 4 \text{ dS m}^{-1}$ , y además, tienen un alto porcentaje de sodio intercambiable (ESP) (>15%); es decir, son sódicos; sin embargo, su pH es menor que 8,5. A diferencia de los suelos salinos, cuando las sales son lixiviadas, el sodio intercambiable hidroliza y el pH se incrementa, dando como resultado suelos sódicos.<sup>[15]</sup>  
La figura 7 muestra un gráfico que relaciona los valores de la  $CE_{se}$  y el porcentaje de Na intercambiable (ESR) para la denominación de suelos salinos, salino-sódicos y sódicos.<sup>[15]</sup>

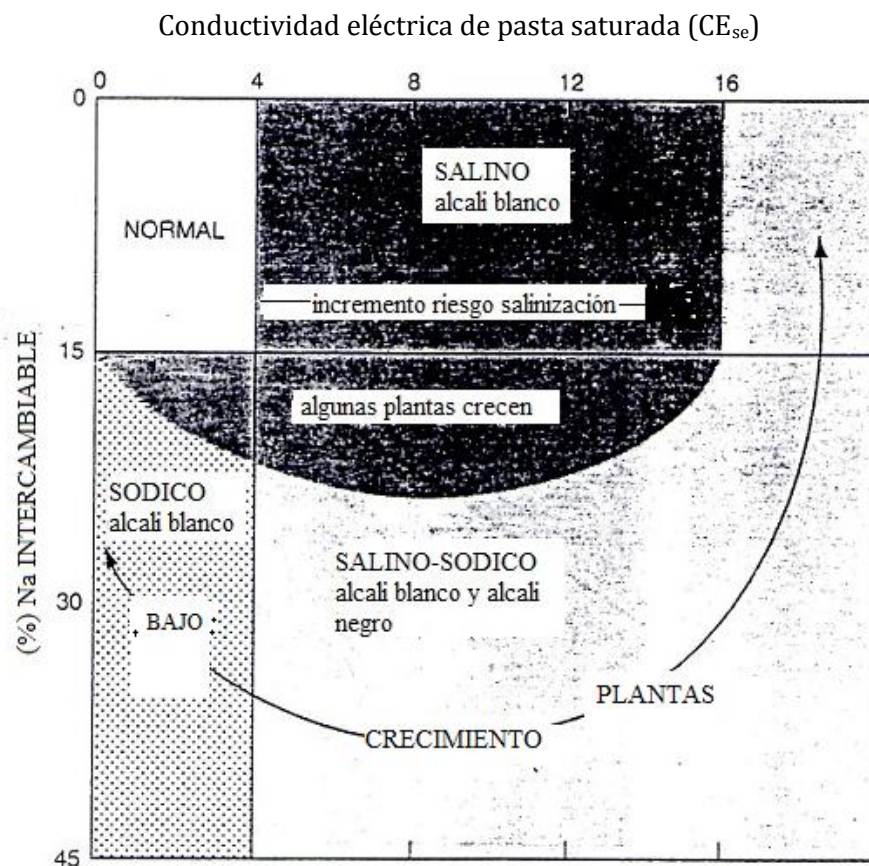


Figura 9. Esquema de clasificación para suelos salinos, sódicos y salino-sódicos. Principales tipos de sales en suelos y aguas.

El agua y los suelos salinos de zonas semiáridas y áridas contienen electrolitos en solución, como cloruros, sulfatos, carbonatos y bicarbonatos de metales alcalinos y alcalino-térreos. Las concentraciones de las sales en los suelos para que estos sean considerados salinos inicialmente era de 1 parte por mil; y para considerar a un suelo sódico, la concentración debía ser de 2 partes por mil de la sal debido a los efectos perjudiciales en los cultivos.<sup>[12]</sup>

### **1.3.5 Evaluación de la fertilidad del suelo**

La óptima productividad de un sistema de cultivo depende de la fertilidad del suelo. La fertilidad es la capacidad que posee el suelo de un adecuado suministro de nutrientes para la planta para asegurar su desarrollo en forma equilibrada.<sup>[15]</sup> Existen algunas características para evaluar la fertilidad de los suelos:

- El suelo debe de poseer ciertas características físicas y químicas que permitan el desarrollo óptimo de las raíces.
- Los nutrientes deben de estar en la forma y cantidad que requiere el cultivo.
- Deben existir factores ambientales adecuados para el tipo de cultivo como: el agua, la temperatura y la energía solar.<sup>[15]</sup>

Cada tipo de cultivo requerirá de una demanda de nutrientes particular; más aún si no hay rotación de los cultivos, pues la remoción continua de nutrientes con poca o ninguna reposición incrementará el potencial de un estrés relativo a la falta de nutrientes, así como el bajo rendimiento. Una evaluación de la fertilidad requerirá de un análisis de los nutrientes disponibles del suelo para la planta. En el presente trabajo se realiza la evaluación del factor suelo a través de sus características fisicoquímicas para un cultivo en particular: el arroz, en una determinada región: la cuenca baja del río Jequetepeque.<sup>[15]</sup>

## **1.4 Cultivo de arroz en la cuenca**

### **1.4.1 Agricultura intensiva de arroz**

El arroz es el cultivo intensivo por excelencia; requiere mucho cuidado y esfuerzo, como la necesidad de un sistema de riego y la preparación del suelo con fertilizantes.

La agricultura intensiva es el sistema de producción agrícola que hace un uso intensivo de los medios de producción: mano de obra, insumos y capitalización. Las características de la agricultura intensiva son alta productividad de la tierra; se cultiva un único tipo de semillas; realización de emplazamientos en llanuras con suelos ricos en nutrientes; se utiliza mucha mano de obra; uso de plaguicidas y fitosanitarios contra insectos u hongos perjudiciales, práctica que va en disminución por la contaminación que produce a los recursos naturales; y, se emplean grandes cantidades de energía (combustible) en el uso de maquinaria para la labranza de la tierra.

La principal ventaja de la agricultura intensiva es la de permitir el incremento de la productividad agrícola desarrollando una producción más acelerada de los alimentos en

un menor espacio, asegurando una relativamente fuente estable de alimentos. Este tipo de agricultura tiene enormes consecuencias en el medio ambiente, sobre todo con la flora y fauna autóctona, debido a los usos de pesticidas y fungicidas.

En la zona baja de la cuenca del Jequetepeque, la cédula de cultivo ha mantenido, hasta el año 2013, la predominancia del cultivo de arroz, y, en segundo lugar, del maíz de grano grueso, monocultivos que han venido progresivamente, depredando y salinizando los suelos de la cuenca baja. El monocultivo se refiere a las plantaciones de gran extensión con el cultivo de una sola especie (como en el caso del arroz), con los mismos patrones resultando en una similitud genética, utilizando los mismos métodos de cultivo para toda la plantación (control de plagas, fertilización y alta estandarización de la producción), lo que hace más eficiente la producción a gran escala. Sin embargo, al no existir diversidad vegetal, disminuirá también la diversidad animal. Los insectos y animales que antes se alimentaban de otras especies vegetales desaparecerán y, por ende sus depredadores. Para controlar las plagas que afectan al monocultivo, se rocían pesticidas para su control, contaminando así el aire, el agua y el suelo.<sup>[21]</sup>

El daño a los suelos es considerable, sobre todo si no hay rotación en el monocultivo. Se pierde fertilidad pues se empobrece la tierra al absorber la misma especie siempre los mismos nutrientes, creando la necesidad de enriquecerla artificialmente con fertilizantes sintéticos, proceso que requerirá ir en aumento a medida que la tierra se empobrece más.

#### **1.4.2 Siembra de arroz en los valles costeros del Perú**

La siembra del arroz en el norte del Perú, específicamente en la cuenca baja del Jequetepeque, está supeditada a las condiciones climáticas favorables al cultivo de arroz. Las siembras se inician de noviembre a mayo (campaña grande), donde hay una mayor superficie cultivada, y de agosto a enero (campaña chica). Se espera que la floración se dé en los meses de mayor radiación, es decir, entre marzo y abril, evitándose las temperaturas más bajas que se dan en agosto (15,9°C), lo que ocasiona esterilidad de las espiguillas. La disponibilidad del agua se incrementa desde el mes de septiembre hasta mayo (39 a 49 mm/día), y las precipitaciones más bajas en los meses de junio, julio y agosto (24 a 25 mm/día)<sup>[22]</sup>.

La mayoría de los suelos se prepara en inundación, luego del pase del arado. En otras áreas de la siembra conforme se llenan las pozas (20 cm), se deja uno o más días,

luego de los cuales entra el tractor con ruedas batidoras y el tablón de cuchillas. La labor consiste en formar un barro, movilizandando las tierras más superficiales hacia lo profundo de terreno, realizando una nivelación bajo agua. De esta manera, se minimizan las pérdidas de agua en forma vertical y lateral aumentando la capacidad de retención de agua del suelo.

### 1.4.3 Tipo de arroz empleado en la cuenca del río Jequetepeque

El nombre científico del arroz es *Oryza sativa* y es una monocotiledónea perteneciente a la familia *Poaceae*. Las raíces son delgadas, fibrosas y fasciculadas. Posee dos tipos de raíces: seminales de naturaleza temporal y adventicias secundarias que tienen una libre ramificación y se forman a partir de los nudos inferiores del tallo joven. Estas últimas sustituyen a las raíces seminales.<sup>[22]</sup>

El tallo se forma de nudos y entrenudos alternados; es cilíndrico, nudoso de 60 a 120 cm de longitud. Las hojas son alternas, envainadoras, con limbo lineal, largo y plano. Las flores son de color verde blanquecino dispuestas en espiguillas cuyo conjunto constituye una panoja grande, terminal, estrecha y colgante después de la floración. La Inflorescencia es una panícula determinada que se localiza sobre el vástago terminal, siendo una espiguilla la unidad de la panícula (ver Figura 8).<sup>[23]</sup>

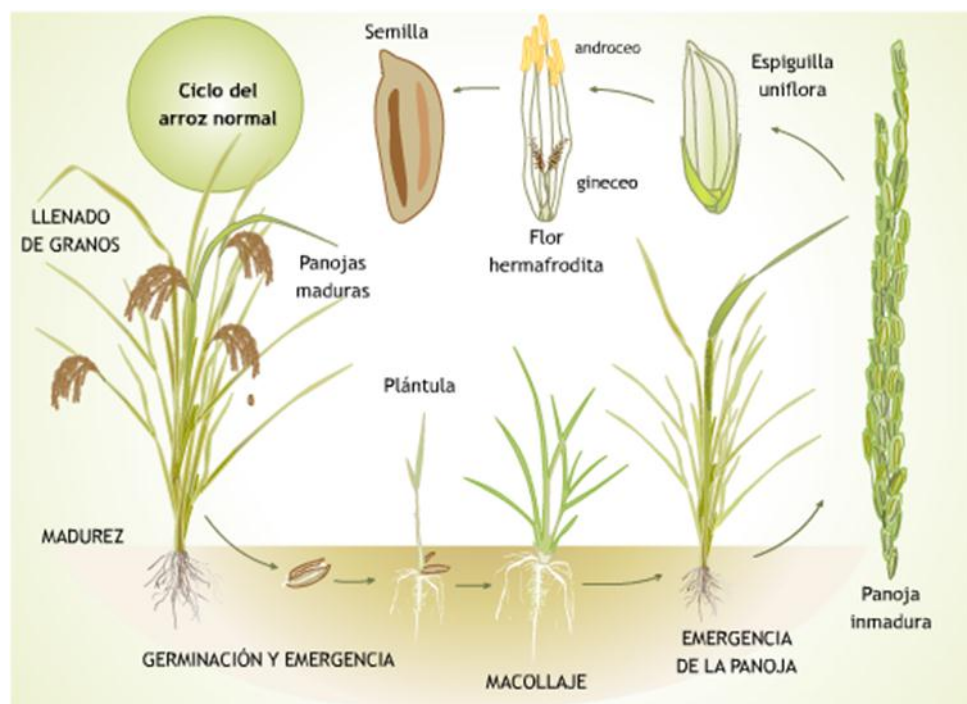


Figura 10. Planta de arroz <sup>[25]</sup>.

El grano del arroz es el ovario maduro. El grano descascarado de arroz (cariópside) con el pericarpio parduzco se conoce como arroz café; el grano de arroz sin cáscara con pericarpio rojo es llamado arroz rojo.<sup>[23]</sup>

#### **1.4.4 Fases del desarrollo de la planta de arroz**

La especie del arroz sembrada en el país tiene un ciclo entre 125 y 130 días dependiendo principalmente de dos factores climáticos como son la luminosidad y la temperatura presentes en el ciclo del desarrollo y del crecimiento de la planta. Se distinguen las siguientes fases:<sup>[24]</sup>

Fase vegetativa.- Se considera desde la germinación de la semilla, hasta el inicio de la formación de la panícula, que va de 60 a 65 días aproximadamente.

Fase reproductiva.- Se da entre la iniciación de la panícula por encima de la vaina de la hoja de bandera, y dura hasta cuando emerge el 100% de las espigas. El tiempo de esta fase es aproximadamente de 35 días.

Fase de maduración.- Comprende desde la floración o apertura de las espiguillas, hasta la completa maduración del grano. La duración de este periodo es de 30 días aproximadamente.

#### **1.4.5 Requerimientos edafoclimáticos del arroz**

La mayor producción a nivel mundial se concentra en los climas húmedos tropicales, también se puede cultivar en las regiones húmedas subtropicales y en climas templados. El cultivo se extiende desde los 49-50° latitud norte a 35° latitud sur. El arroz se cultiva desde el nivel del mar hasta los 2500 m s. n. m. Las precipitaciones condicionan el sistema y las técnicas de cultivo.<sup>[22]</sup>

##### **1.4.5.1 Temperatura**

Para germinar el arroz se necesita una temperatura mínima promedio de 10 a 13 °C, siendo la óptima entre 30° y 35°C. Por encima de 40°C no se produce la germinación. Para el crecimiento del tallo, hojas y raíces, la temperatura óptima se considera 23°C; con temperaturas mayores, las plantas crecen más rápidamente, pero los tejidos se vuelven más blandos y más susceptibles a los ataques de enfermedades.<sup>[22]</sup>

La panícula comienza a formarse 30 días antes del espigado. A 15 días antes del espigado se desarrolla rápidamente y es este periodo en el que es más sensible a las condiciones ambientales adversas.<sup>[22]</sup>

La floración tiene lugar el mismo día del espigado o al día siguiente durante las últimas horas de la mañana (9:00 – 12:00 horas). Las flores abren sus glumillas durante una o

dos horas si el tiempo es soleado y las temperaturas altas. Un tiempo lluvioso y con bajas temperaturas perjudica la polinización. La temperatura óptima es 30°C, pero por debajo de 18°C o por encima de 35°C no se produce floración.<sup>[22]</sup>

#### **1.4.5.2 Radiación solar**

La radiación solar es la fuente de energía para el proceso fotosintético y la evapotranspiración. La fase del cultivo que demanda mayor radiación solar es la que va desde el inicio de primordio hasta la floración, esta fase ocurre aproximadamente 35-100 días después de la siembra. El pico más alto de radiación solar para la época seca se presenta generalmente durante los meses de febrero y marzo. Esto indica que el período óptimo de siembra está entre noviembre y enero dependiendo del ciclo de la variedad. De esta forma la planta recibirá la cantidad óptima de radiación solar durante su fase crítica de demanda de luz y podrá expresar su mayor potencial de rendimiento. Para la estación lluviosa, la fecha de siembra está comprendida entre el 15 de julio y el 15 de agosto. En esta época la oferta de luz es más baja debido a la nubosidad y los rendimientos potenciales se reducen, por lo que es conveniente reducir los costos de producción para mejorar la rentabilidad.<sup>[22]</sup>

El Perú, al ser un país dentro de la zona del trópico (latitudes 0°-18° Sur), es privilegiado en relación a la disponibilidad de la energía solar. La radiación promedio mensual de la energía solar incidente sobre la superficie horizontal es mayor de 5 kW/m<sup>2</sup> por día (SENAMHI-MEM, 2003). En particular, la costa norte del Perú es, luego de la costa sur, la que tiene uno de los índices más altos de radiación (más horas de luz) y poca nubosidad. Para maximizar el rendimiento bajo un régimen de manejo óptimo, la época de siembra debe ser seleccionada de modo que el cultivo reciba altos niveles de radiación solar en las etapas reproductivas y de maduración. La baja radiación solar en la fase vegetativa no afecta de manera significativa en el rendimiento final; sin embargo, en la fase reproductiva tiene un papel determinante, disminuyendo el número de granos por panícula o el “porcentaje de granos llenos”.<sup>[22]</sup>

#### **1.4.5.3 Suelo**

El cultivo se da en una amplia gama de textura de suelos, de arenosa a arcillosa; sin embargo, los suelos de textura fina son los más fértiles al tener mayor contenido de arcilla, materia orgánica y suministrar más nutrientes, aun cuando son más difíciles de trabajar. Los suelos de las llanuras inundadas y los deltas de los ríos poseen una textura fina y media, propia del proceso de sedimentación. Los cultivos arroz se ven favorecidos en suelos de drenaje moderado y alta capacidad de retención de agua.<sup>[22]</sup>

#### **1.4.5.4 pH**

El pH óptimo para el arroz es 6,6 pues con este valor la liberación microbiana de nitrógeno y fósforo de la materia orgánica se favorece, y la disponibilidad del último nutriente es alta. Además, a estos valores de pH, las concentraciones de las sustancias que interfieren en la absorción de nutrientes, tales como aluminio, manganeso, hierro, dióxido de carbono y ácidos orgánicos están por debajo del nivel tóxico<sup>[22]</sup>.

#### **1.4.5.5 Agua**

Los requerimientos de agua en el cultivo de arroz deben compensar las pérdidas por transpiración, evaporación desde el suelo y, especialmente, por la infiltración o percolación. El cultivo de arroz bajo condiciones de riego por inundación como el realizado en la zona de estudio, demanda la mayor parte del recurso de la cuenca (98,8% del total). Los requerimientos anuales de agua para el riego son aproximadamente de 647,47 y 538,54 MMC<sup>[31]</sup> en años normales y años irregulares respectivamente. El insuficiente abastecimiento de agua es una de las mayores dificultades en la producción del arroz en esta región. Las lluvias son escasas y la descarga de los ríos en la costa es irregular; la construcción de reservorios, como el de Gallito Ciego en La Libertad, ha contribuido a regular el agua y a superar las frecuentes sequías que retrasan el inicio de la campaña arroceras o que afectan su rendimiento.<sup>[22]</sup>

#### **1.4.5.6 Abonado**

La planta de arroz solo absorbe el nitrógeno del suelo en forma inorgánica. En un suelo anaeróbico, la falta de oxígeno hace que la mineralización del nitrógeno se detenga en la forma amónica, la más estable en el suelo en estas condiciones. Esta forma de nitrógeno se encuentra de dos maneras: disuelta en el suelo y absorbida por el complejo arcillo- húmico.

El nitrógeno se considera como el elemento nutritivo que repercute más directamente sobre la producción, pues aumenta el porcentaje de espiguillas rellenas, incrementa la superficie foliar y contribuye al aumento de la calidad del grano. La planta de arroz necesita de este nutriente en dos momentos críticos de su cultivo:

- En la fase de macollamiento o ahijamiento medio (35 a 45 días después de la siembra), cuando se produce la ramificación del tallo en los cereales.
- En el alargamiento del entrenudo superior hasta los 1,5 a 2,0 cm. <sup>[22]</sup>

El nitrógeno se debe aportar en dos fases: la primera, utilizando fertilizantes amónicos enterrado a unos diez cm antes de la inundación, como abonado de fondo; y la



segunda, como nitrato amónico al comienzo del ciclo reproductivo en la iniciación de la panícula.

El arroz necesita fósforo para la estimulación del desarrollo radicular, para favorecer el ahijamiento, la uniformidad y precocidad de la floración y maduración del grano. El aporte es necesario en las primeras fases de desarrollo de la planta como abonado de fondo; de 50 a 80 kg de  $P_2O_5$  por Ha según se trate de terrenos arcillosos o terrenos sueltos y ligeros.<sup>[22]</sup>

El potasio aumenta la resistencia al encamado, a las enfermedades y a las condiciones climáticas desfavorables. Las dosis varían de 80 a 150 kg de  $K_2O$  por ha. Dosis altas de potasio se utilizan cuando se utilizan dosis semejantes de nitrógeno.<sup>[23]</sup>

La Tabla 7 muestra el programa de fertilización balanceada en base a las diferentes etapas de crecimiento y desarrollo del cultivo de arroz.

Los suelos de la costa son aluviales fértiles de textura variable entre franco-arenosos y franco-arcillosos; de pH alcalino (7,8 – 8,8), bajos en materia orgánica, deficientes en nitrógeno, moderados en fósforo y altos en potasio<sup>[22]</sup>.

Según el informe del MINAGRI, más del 30% de los suelos de las partes medias y bajas de los valles de la costa norte están afectados por salinización, debido al mal manejo del agua y la falta de drenaje, los pocos existentes son destruidos periódicamente con la ocurrencia del Fenómeno del Niño<sup>[22]</sup>.

#### **1.4.6 Fertilizantes más utilizados en el cultivo de arroz**

Para tener una mayor productividad en los cultivos se requiere un análisis periódico de los suelos y una adecuada fertilización, donde se entiende como tal, a la disponibilidad de los nutrientes necesarios para que la planta pueda desarrollar sus funciones vitales y los productores puedan obtener excelentes rendimientos a menores costos de producción. En muchos suelos, el crecimiento de las plantas o la producción de un cultivo son limitados por la falta de algún nutriente, lo cual ocasiona su deficiencia en la planta. Para corregir estos problemas nutricionales es esencial primero diagnosticar correctamente cuál elemento se encuentra en forma deficiente o tóxica. Este análisis se puede hacer con base en observaciones visuales, análisis de suelos o del tejido vegetal.

El tipo y la cantidad de fertilizante dependerá de diversos factores como: el estado del suelo, la variedad de arroz utilizado en el cultivo, densidad de la siembra, fecha de la siembra, entre otros. En el Manual de Manejo Técnico del Cultivo de Arroz de la Junta de Usuarios del valle de Chancay – Lambayeque<sup>[24]</sup>, se propone cuatro etapas de

fertilización según el desarrollo del cultivo y con productos fertilizantes específicos debido al contenido de nutrientes en la Tabla 7.

**Tabla 7.** Resumen de la fertilización inorgánica en las diferentes etapas de crecimiento y desarrollo del arroz. <sup>[23]</sup>

Fertilización	Momento de la aplicación	Fertilizante Kg/Ha	N (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)	S (%)	Mg (%)	Zn (%)
1ra Fertilización	Antes de trasplantar, con lámina delgada de agua.	100	12	40		10		1
		100	33			11		
		50			50	18		
2da Fertilización	15 días después del trasplante, sobre lámina delgada de agua, al inicio del macollamiento.	200	33			11		
		50			22	22	18	
3ra Fertilización	15 días después de la fertilización anterior, en lámina delgada de agua.	300	33			11		
		100	21			24		
4ta Fertilización	En el punto de algodón; entre los 75 a 80 días.	200	33			11		
		100	21			24		
		50				18		

Con respecto a la relación entre nutrientes desde el punto de vista de absorción, los estudios indican que para la relación N : K la óptima es de 1,0 : 1,0; para NPK es de 1,0 : 0,1 : 1,0; para la relación K : Ca : Mg es de 1,0 : 0,3 : 0,2; la relación Ca : Mg los valores de la relación óptimos son 1,7:1,0 y para la relación SiO<sub>2</sub>:N es de 6,0:1,0 <sup>[24]</sup>.

Es importante mencionar que existen otros factores que influyen en tener una planta bien nutrida. Se considera la influencia que tiene el suelo y el clima sobre la absorción y

disponibilidad de los nutrientes para las plantas cultivadas. Por ejemplo, los niveles de nitrógeno son variables de acuerdo a la fertilidad de los suelos, disponibilidad de agua, presencia de lluvias, y hasta la temperatura del aire. Los niveles fluctúan entre 180 – 240 kg de N por Ha, aplicados de forma fraccionada durante los diferentes etapas de crecimiento de la planta de arroz; 25% a los 15 días del trasplante, 25% al momento del macollamiento y 50% inmediatamente después de la floración.<sup>[23]</sup>

Por otro lado, según la Organización Panamericana de la Salud, el uso indiscriminado de agroquímicos (fertilizantes y plaguicidas) en la producción de arroz está provocando la contaminación de los recursos naturales que intervienen en su proceso productivo: suelo, aire y agua (superficial y subterránea). Esto, a su vez, provoca el deterioro de la salud, en primera instancia, de los habitantes de las comunidades rurales, manifestándose en enfermedades gástricas, hepáticas y renales.<sup>[51]</sup> Por tanto, se hace necesario orientar el uso adecuado de los insumos químicos utilizados en la fertilización del suelo, conjuntamente con la adopción de una serie de alternativas tecnológicas y ecológicas orientadas al mantenimiento de las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo, a fin de lograr su sostenibilidad y fertilidad.

## **1.5 Área de estudio**

### **1.5.1 Ubicación**

La cuenca del río Jequetepeque está ubicada en la costa norte del Perú, entre los paralelos 7°6' y 7°30' latitud sur y los meridianos 78°30' y 79°40' longitud oeste del meridiano de Greenwich, ubicación correspondiente a la vertiente occidental de la cordillera de los Andes. Tiene una extensión total de 6982 km<sup>2</sup><sup>[28]</sup>, distribuida entre las regiones de La Libertad (provincias de Pacasmayo y Chepén) y Cajamarca (provincias de Cajamarca, Contumazá, San Pablo y San Miguel), abarcando un total de 6 provincias y 30 distritos, con una población de 389 859 habitantes en el año 2005. Los niveles altitudinales varían entre 0 y 4188 m s. n. m., con una accidentada topografía y con rangos de precipitación anual desde los 15 mm en la estación Talla hasta 1 217mm en la estación Granja Porcón a 3 000 m s.n.m. observándose que la margen derecha de la cuenca es más húmeda que la margen izquierda.<sup>[29]</sup>

La zona de la cuenca en estudio, la cuenca baja, está comprendida entre el nivel del mar y el reservorio de Gallito Ciego (400 m s. n. m.) y tiene un área de 3417,2 km<sup>2</sup><sup>[28]</sup>.

Los ríos que dan origen al Jequetepeque son el río Pallac, con una cuenca de 250 km<sup>2</sup>, San Miguel o Puclush con una cuenca de 1065 km<sup>2</sup> y Magdalena con 1500 km<sup>2</sup>. El

sistema hidrográfico incluye una red de drenaje de más de 30 ríos secundarios así como un número elevado de riachuelos y quebradas menores<sup>[29]</sup>.

Cabe agregar que el río Jequetepeque divide al valle en dos márgenes: la margen derecha donde se ubican los distritos de Pacanga, Pueblo Nuevo, Chepén y Guadalupe y en la margen izquierda los distritos de San José, Jequetepeque, Pacasmayo y San Pedro de Lloc.<sup>[30]</sup>

### **1.5.2 Relieve**

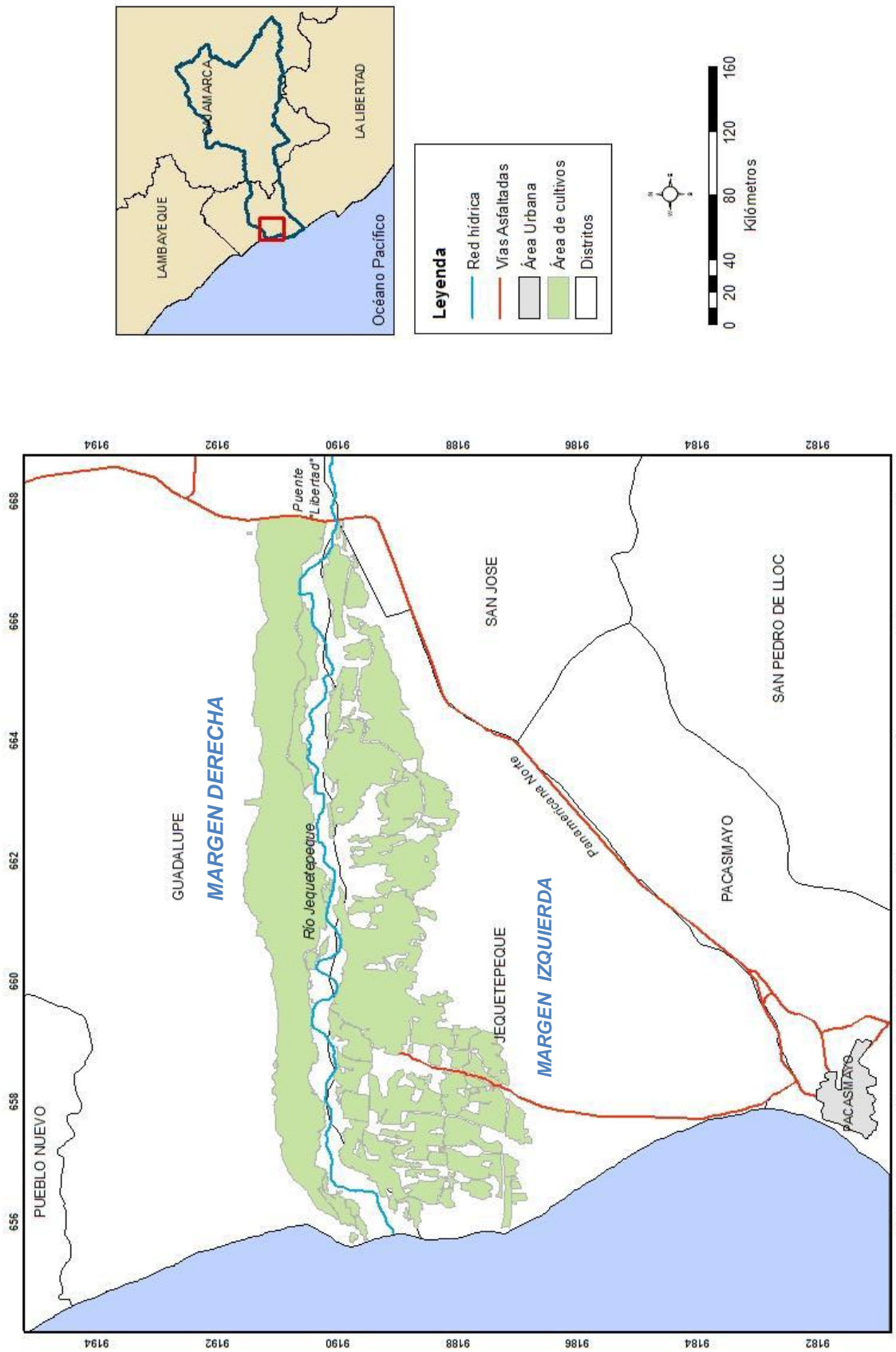
La cuenca en estudio se ubica entre dos regiones geográficas: la costa y la sierra. En la costa se presentan formaciones montañosas aisladas de baja altitud que no sobrepasan los 500 m s. n. m., y excepcionalmente, se elevan sobre los 1000 m s. n. m. La sierra, presenta un relieve entre los 500 y 4000 m s. n. m, ofreciendo suaves pendientes en sus numerosas quebradas. Presenta igualmente numerosos valles estrechos y en forma de V<sup>[29]</sup>.

### **1.5.3 Usos del suelo en la cuenca baja**

Los suelos en esta parte de la cuenca son de origen aluvial o eólico. Muestran profundos perfiles uniformes, en los antiguos depósitos se encuentra una estratificación débil. Esta parte de la cuenca tiene según el Informe del Análisis Preliminar de Riesgos para la Cuenca del Jequetepeque 2006; la mayor capacidad de uso de los suelos 29 788,85 Ha<sup>[29]</sup>. La distribución de esta área se da a continuación;

- Cultivos transitorios, los cuales ocupan una área de 28 705,85 Ha (96,36% del área total), donde destaca el cultivo de arroz; le siguen en importancia el cultivo de maíz, sorgo granífero, menestras, espárragos, hortalizas, etc.
- Cultivos permanentes, que constituyen 964 Ha (3,23% del área total), aquí se encuentran cultivos que tienen un periodo vegetativo mayor de un año como la caña de azúcar y los árboles frutales.
- Cultivo de pastos, los cuales constituyen 119 Ha (0,40% del área total), y se refieren específicamente a las áreas cultivadas con alfalfa y a las praderas permanentes mejoradas.<sup>[29]</sup>

**Figura 11.** Mapa de la cuenca baja del río Jequetepeque [26]



#### 1.5.4 Descargas y drenaje del río Jequetepeque

En los valles de grandes proyectos hidráulicos como el valle del río Jequetepeque, existe un importante incremento de agua superficial para el cual no se cuenta con un sistema de drenaje suficiente para el transporte el agua excedente de los cultivos de arroz. Si a esto se añade la falta de mantenimiento del drenaje y de las obras de riego, así como la existencia de freáticos superficiales, se presentan los problemas de salinización y empantanamiento de los suelos. La cuenca del valle del río Jequetepeque tiene una torrencialidad moderada, favorecida por terrenos áridos, con permeabilidades moderadas a bajas y pendiente a ambos márgenes del río mínima. Durante años ambos márgenes del río eran inundadas periódicamente contribuyendo a la sedimentación y formación de suelos de alto valor agrológico, principalmente la margen derecha por la presencia del río Chamán o río Loco, que presenta igualmente inundaciones esporádicas, ya sea por lluvias o por el fenómeno climático El Niño<sup>[27]</sup>.

El registro de descargas del río Jequetepeque, controladas en la estación Yonán, cubre el periodo 1975-1999, con registros completados en los meses de interrupción de toma de información, utilizando el sistema de Información Hidrológica del INRENA y el programa HEC-4. La descarga media del río Jequetepeque para el periodo mencionado es de 26,181 m<sup>3</sup>/s que equivale a un volumen promedio anual de 825,64 MMC<sup>[28]</sup>. La Tabla 7 presenta las descargas medias mensuales en el periodo 1975-1999 para el río Jequetepeque. La descarga máxima media mensual se presentó el año hidrológico 1997-1998 alcanzando 321,449 m<sup>3</sup>/s en marzo, y la mínima descarga media mensual el año 1979-1980 alcanzando 0,168 m<sup>3</sup>/s en agosto<sup>[28]</sup>.

Durante el último fenómeno del Niño 1997-98 los sedimentos originados por erosión hídrica y transportados a embalse de la represa de Gallito Ciego han reducido el volumen de almacenamiento de la presa.

En cuanto al sistema de drenaje de la cuenca, el valle cuenta con una red de colectores de drenaje conformado por dos sistemas: uno en la parte noroeste en la margen derecha y está conformado por un colector principal I-I y cuatro colectores secundarios: dren lateral II-II, dren lateral III-III, dren lateral IV-IV y el dren V-V. En la margen izquierda en la parte suroeste del valle se encuentra un sistema de drenaje conformado por la red de colectores de tres sectores: Santa Elena- San Demetrio donde está el colector principal Santa Elena, El Milagro donde se encuentra el colector y subcolector El Milagro, y Jequetepeque con el colector principal y subcolector Jequetepeque<sup>[26]</sup>.

Los drenes colectores los cuales realizan la evacuación del exceso de agua de las zonas de cultivo y las lleva al dren principal, estos están revestidos de concreto para

protegerse de la erosión. Por último, el canal colector secundario, este canal evacua las aguas de otras zonas de cultivo llevándolas al canal principal. Las aguas que trae son sucias, turbias y producen mal olor producto de los pesticidas y productos químicos que usan para la agricultura.

Las autoridades encargadas del mantenimiento y funcionamiento de este canal principal deben realizar la limpieza periódicamente retirando el exceso de vegetación.

**Tabla 8.** Descargas medias (m<sup>3</sup>/s) mensuales y anuales del río Jequetepeque en los años hidrológicos 1975 – 1999<sup>[28]</sup>

Año hidrológico	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Prom
75 - 76	31,49	16,37	5,41	32,62	60,52	81,40	49,88	22,31	11,59	5,01	3,50	2,07	26,85
76 - 77	1,76	2,23	3,12	26,15	120,41	72,76	58,44	23,89	11,57	5,42	2,72	2,12	27,55
77 - 78	3,02	6,65	11,64	5,70	7,86	10,78	19,48	21,60	7,86	3,55	1,95	1,95	8,50
78 - 79	1,56	3,96	6,60	13,01	27,71	120,57	31,84	14,82	6,91	3,32	2,67	4,47	19,79
79 - 80	2,01	1,27	1,19	2,98	5,89	9,72	10,49	3,27	2,00	0,86	0,17	0,19	3,34
80 - 81	8,17	17,04	33,55	13,10	108,56	100,01	26,74	12,44	6,73	3,71	1,73	1,76	27,79
81 - 82	7,04	17,80	23,20	11,25	23,01	20,27	34,13	17,75	10,40	4,04	1,30	1,46	14,30
82 - 83	13,64	18,72	55,78	82,57	55,87	183,53	187,51	78,26	38,09	14,55	5,40	6,16	61,67
83 - 84	7,97	6,51	28,06	17,54	189,74	170,92	68,48	65,15	21,59	13,21	5,71	4,96	49,99
84 - 85	17,22	10,36	18,66	11,67	17,69	22,56	13,44	8,61	4,88	2,58	1,61	1,64	10,91
85 - 86	2,98	1,71	10,99	22,79	25,31	19,54	78,16	20,49	7,07	2,91	1,87	1,56	16,28
86 - 87	2,30	8,13	9,47	54,24	66,09	29,08	20,72	19,86	5,29	2,30	2,86	1,67	18,50
87 - 88	4,33	6,30	8,82	25,99	51,38	29,10	39,11	18,45	8,03	2,42	0,67	0,68	16,27
88 - 89	4,07	14,16	9,32	36,65	109,70	101,28	87,58	23,92	9,06	4,81	2,23	3,56	33,86
89 - 90	20,93	13,49	4,14	5,97	18,36	15,54	14,36	10,46	5,26	2,21	0,38	1,11	9,35
90 - 91	10,31	16,97	17,34	5,67	9,70	50,50	28,37	19,37	4,99	1,71	0,40	0,36	13,81
91 - 92	1,07	2,20	5,05	14,63	7,18	20,55	42,32	16,91	7,63	1,64	0,40	1,17	10,06
92 - 93	5,32	6,42	3,89	3,83	50,40	166,54	113,00	33,70	11,88	4,80	2,02	2,68	33,71
93 - 94	16,70	35,51	28,13	69,88	83,91	119,75	115,94	35,81	16,34	15,57	2,39	2,32	45,19
94 - 95	3,72	6,59	11,01	9,10	47,41	43,74	41,49	14,43	5,83	3,23	1,49	1,33	15,78
95 - 96	2,50	13,53	18,25	39,14	71,09	116,47	66,51	19,00	8,90	3,48	1,39	1,72	30,17
96 - 97	6,36	5,94	2,68	3,42	27,25	19,30	15,48	11,28	4,24	1,46	0,37	0,45	8,18
97 - 98	2,69	16,43	72,66	115,34	230,23	321,45	173,63	63,34	21,65	10,25	5,77	4,36	86,48
98 - 99	7,39	11,97	4,93	15,36	164,75	109,54	63,46	49,78	23,34	14,56	4,14	11,04	40,02
<b>Promedio</b>	<b>7,69</b>	<b>10,87</b>	<b>16,41</b>	<b>26,61</b>	<b>65,83</b>	<b>81,45</b>	<b>58,36</b>	<b>26,04</b>	<b>10,88</b>	<b>5,32</b>	<b>2,21</b>	<b>2,53</b>	<b>26,18</b>
<b>D.S.</b>	<b>7,45</b>	<b>7,75</b>	<b>17,39</b>	<b>28,25</b>	<b>60,68</b>	<b>75,20</b>	<b>47,96</b>	<b>19,24</b>	<b>8,14</b>	<b>4,59</b>	<b>1,67</b>	<b>2,36</b>	<b>19,54</b>
<b>Máximo</b>	<b>31,49</b>	<b>35,51</b>	<b>72,66</b>	<b>115,34</b>	<b>230,23</b>	<b>321,45</b>	<b>187,51</b>	<b>78,26</b>	<b>38,09</b>	<b>15,57</b>	<b>5,77</b>	<b>11,04</b>	<b>86,48</b>
<b>Mínimo</b>	<b>1,07</b>	<b>1,27</b>	<b>1,19</b>	<b>2,98</b>	<b>5,89</b>	<b>9,72</b>	<b>10,49</b>	<b>3,26</b>	<b>2,00</b>	<b>0,86</b>	<b>0,17</b>	<b>0,19</b>	<b>3,34</b>

Fuente: Actualización del Diagnóstico Ambiental PEJEZA - INRENA 2005



### 1.5.5 Clima

La cuenca baja del río Jequetepeque se encuentra influenciada principalmente por la incidencia climática del Pacífico con la corriente marina de Humboldt de aguas frías procedentes del Pacífico Sur que determina la escasez de lluvias en la zona costera y en ciertos períodos, las corrientes cálidas procedentes de la Zona Ecuatorial, ligadas al Fenómeno El Niño.<sup>[30]</sup>

Las características topográficas y la ubicación geográfica de esta parte de la cuenca promueven características climáticas definidas como la temperatura, precipitación, humedad relativa, evaporación y vientos.

En la Tabla 8 se presenta información de las estaciones cercanas o en la zona de estudio. La estación Tembladera se encuentra paralizada, por lo cual los datos de las precipitaciones no son mostrados.

**Tabla 8.** Precipitación y temperatura en las estaciones de control meteorológico del SENAMHI<sup>[30]</sup>

Estación	Coordenadas		Altitud m s. n. m.	Temperatura media anual (°C)	Precipitación total multianual (mm/año)
	latitud	longitud			
Chilete	07°13' S	78°51' W	850	20,5	200,5
Tembladera	07°15' S	79°08' W	450	---	---
Monte Grande	07°12' S	79°19' W	420	21,4	77,8
San José*	07°12' S	79°27' W	96	---	23,9
Talla	07°16' S	79°25' W	90	22,1	29,6

#### 1.5.5.1 Temperatura

La temperatura y la humedad en la cuenca baja muestran marcadas variaciones. La temperatura máxima media anual en la estación Talla (90 m s. n. m.) es de 27,4°C y la temperatura media es de 22,1°C. Las temperaturas máximas ocurren en la zona del Embalse Gallito Ciego llegando a valores mayores a 30°C y con temperaturas promedio de 25,4°C.<sup>[30]</sup>

### **1.5.5.2 Precipitaciones**

En la cuenca baja del río Jequetepeque hasta la altitud de 500 metros la precipitación promedio es menor a 100 mm por año, considerada como normal sin fenómeno El Niño. La información procede de las estaciones de Talla (29,6 mm), Monte Grande (77,8mm) y Tembladera (58,0 mm) esta última paralizada.<sup>[30]</sup>

Las precipitaciones comienzan a incrementarse a partir del mes de enero alcanzando la mayor cantidad de precipitación pluvial en el mes de marzo y disminuyendo paulatinamente hasta abril donde llega a 15 mm mensuales en la estación de Talla.<sup>[30]</sup>

### **1.5.5.3 Humedad relativa**

La mayor o menor humedad del aire tiene importancia en las actividades humanas, pues cuanto más alta es la humedad relativa media del aire en una localidad, mayor es la probabilidad de que se produzcan rocíos, causando el descenso nocturno de la temperatura del follaje y además; es posible que el rocío perdure más tiempo en el curso del día ocasionando que en los lugares con elevada humedad relativa media del aire proliferen diversas enfermedades en los cultivos.<sup>[28]</sup>

La humedad relativa promedio anual registrada en la estación meteorológica Talla es de 78,6% por lo que puede decirse que posee una atmósfera seca. Los mayores registros de humedad relativa durante el año se presentan en los meses de estiaje es decir en junio, julio y agosto con un valor de 81,9%; mientras que los menores valores se observan durante la época de lluvia en los meses de enero, febrero y marzo registrándose hasta 75,2%.<sup>[28]</sup>

### **1.5.5.4 Evaporación**

La información sobre evaporación para la cuenca baja se registra sólo en la estación de Talla en donde la evaporación total media anual es de 1926 mm. Se observa que la evaporación sigue un patrón similar durante el año registrando mayores valores mensuales entre octubre y enero (6,3 mm/día en el mes de diciembre) y menores valores entre los meses de junio y agosto (4 mm/día en el mes de julio). En la cuenca baja el promedio de evaporación mensual fluctúa alrededor de 170 mm mensuales en la estación Talla.<sup>[30]</sup>

**Tabla 10.** Estaciones climatológicas de la cuenca del río Jequetepeque y los promedios mensuales de las precipitaciones<sup>[29]</sup>.

**PRECIPITACIÓN MENSUAL PROMEDIO  
CUENCA JEQUETEPEQUE - CHAMÁN**

N°	Estación Climatológica	MESES												TOTAL ANUAL	PERIODO	ALTITUD m s.n.m.
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC			
3	Qda. Honda	100,8	90,6	116,5	97,4	45,6	19,7	15,9	15,5	35,8	93,0	85,7	78,3	794,80	1964 - 1997	3500
1	Quilcate	70,90	78,90	97,00	81,4	37,9	25,6	19,0	22,6	36,5	75,7	64,4	63,4	673,30	1965 - 1998	3100
2	Granja Porcón	148,3	165,2	184,3	146,5	77,2	21,7	13,9	23,3	58,7	125,1	123,6	129,6	1217,40	1966 - 1998	3000
10	Huacraruco	146,7	203,4	247,5	134,0	32,4	15,3	8,1	11,2	26,9	96,3	65,6	97,2	1084,60	1958 - 1981	2800
4	Lilapa	119,9	150,2	180,1	120,0	43,9	20,2	9,5	17,5	42,7	93,8	66,2	87,7	951,70	1963 - 1998	2798
6	Contumazá	104,7	148,2	246,0	104,4	18,6	5,0	3,7	8,4	19,7	50,7	38,9	46,3	794,60	1963 - 1998	2330
9	San Juan	125,3	172,1	186,7	103,6	22,2	10,7	5,4	6,4	22,3	64,0	52,6	88,1	859,40	1964 - 1998	2224
11	Asunción	83,8	99,0	131,2	73,0	17,7	13,3	6,2	9,6	18,5	65,8	34,9	46,5	599,50	1963 - 1981	2085
5	Lives	76,4	118,4	132,5	60,3	14,37	7,657	2,523	4,829	12,05	31,58	22,79	40,36	523,79	1964 - 1998	2000
7	Magdalena	45,6	80,8	86,4	48,2	13,1	2,7	0,9	2,0	9,7	22,7	18,0	32,3	362,40	1963 - 1998	1300
8	Chilte	31,9	45,2	56,9	27,4	4,8	1,7	1,0	1,4	3,8	10,4	8,7	13,5	206,70	1963 - 1998	850
13	Montegrande	15,71	53,45	57,82	13,17	3,79	0,00	0,00	0,00	1,12	0,52	1,81	15,43	162,82	1991 - 2000	420
12	Talla	4,80	13,30	14,00	6,20	1,20	0,40	0,00	0,20	0,40	1,10	1,40	3,40	46,40	1970 - 2000	90

FUENTE : Diagnóstico sobre el uso y aprovechamiento de los recursos agua y suelos dentro del área de influencia de las obras de la II y III etapa del Proyecto Jequetepeque - Zaña. Recursos Hídricos. Informe Final. Ing° E. González-O. Octubre 1999. Información meteorológica de las estaciones Talla, Gallito Ciego y Montegrande Proporcionados por la DOM del P.E.J.Z.

### **1.5.5.5 Vientos**

Los vientos predominantes en el valle son de dirección suroeste con velocidades promedio que varían 4,66 m/s en febrero a 6,48 m/s en octubre, con máximas de 8,8 m/s en noviembre, los cuales se pueden tipificar como vientos moderados (23,33 km/h) a fuertes. Estos vientos en las áreas desérticas del valle son los causantes de formación y movimiento de dunas <sup>[29]</sup>.

### **1.5.6 Aporte hídrico**

El aporte hídrico promedio anual del río Jequetepeque asciende a 816,50 MMC, considerando el período de 1943-1944 hasta 1998-1999. El máximo alcanzado fue de 2701,10 MMC en los años 1997-1998 durante el Fenómeno del Niño y el mínimo de 87,10 MMC en el periodo 1979-1989<sup>[29]</sup>. Ver tabla 10.

La escorrentía promedio anual de la temporada húmeda del año asciende a 673,80 MMC, y varía entre 2346,50 MMC como máximo en el periodo 1997-1998 cuando se produjo el Fenómeno del Niño, y de 74,80 MMC como mínimo en el periodo 1979-1980. En la época de estiaje, la escorrentía promedio anual es 142,70 MMC, con máxima de 361,20 MMC en el periodo 1982-1983 y mínima registrada de 13,10 MMC en el periodo 1979-1980<sup>[29]</sup>. Lo recientemente expuesto demuestra lo irregular del régimen del río Jequetepeque. Aunado a esto se encuentra la demanda de la población local de apoyo en la irrigación de los cultivos, fuente de ingresos y alimentos. Para atender estas necesidades a partir del año 1988 entró en operación el Reservorio Gallito Ciego, ubicado en el lecho del río Jequetepeque, en las áreas comprendidas desde la parte baja de Tembladera hasta el lugar denominado Gallito Ciego, a fin de permitir la regulación de las descargas del río.

Durante el periodo de estudio, entre los meses de enero a marzo 2012 las lluvias de mediana y mayor intensidad en el primer trimestre en la sierra norte repercutieron directamente en los caudales de los principales ríos de las cuencas hidrográficas que abastecen a los embalses como el de Gallito Ciego, el cual tuvo un ascenso sistemático en sus volúmenes de agua con un valor máximo de 371,63 MMC (94,80% del volumen útil- 392 MMC-)<sup>[32]</sup>.

Como consecuencia de este aumento hídrico en el embalse Gallito Ciego para marzo de 2012, la superficie sembrada de arroz (cáscara) en la región La Libertad en los meses de noviembre 2011 en marzo de 2012 (29 016 Ha) es superior a la de la campaña de noviembre 2010 en marzo del 2011 (28 599 Ha), con proyección al aumento<sup>[32]</sup>. Sin embargo, durante el periodo del inicio del año hidrológico y la época de

avenidas correspondiente a los meses del año hidrológico septiembre 2012 – abril 2013<sup>[34]</sup>, el comportamiento de los caudales en la región hidrográfica Pacífico se caracterizó por presentar anomalías negativas en la zona norte debido al escaso aporte de precipitaciones que se suscitaron en las partes medias y altas de la región. Los informes de evaluación hidrológica estacional a nivel nacional de los períodos septiembre 2012- abril 2013<sup>[34]</sup> y de mayo 2013 - agosto 2013 <sup>[35]</sup>; muestran los caudales promedio (m<sup>3</sup>/s) de los ríos Tumbes, Chira, Calvas y Chilete por debajo de sus promedios históricos y el porcentaje de anomalía de los ríos en la costa norte (ver Tabla 11).

**Tabla 11.** Caudales promedio de los ríos de zona norte del período septiembre 2012-abril 2013<sup>[34]</sup> y mayo- agosto 2013<sup>[35]</sup>.

CUENCAS	ESTACIÓN HIDROMÉTRICA	CAUDALES (m <sup>3</sup> /s)		ANOMALÍA (% y m)*	CAUDALES (m <sup>3</sup> /s)		ANOMALÍA (% y m)*
		Promedio semestral septiembre 2012-abril 2013	Promedio histórico septiembre 2012-abril 2013		Prom. semestral mayo- agosto 2013	Prom. histórico mayo- agosto 2013	
Tumbes	El Tigre	97,3	130,5	-25	46,2	62,3	-26
Chira	Ciruelo	74,6	117,7	-37	47,7	86,8	-45
Calvas	Pte Internacional	36,3	44,4	-18	22,7	33,2	-32
Chancay- Lambayeque	Racarumi	47,7	36,6	30	33,8	19,8	71
Chilete	Pte Chilete	0,88 m	1,15 m	-0,27 m	0,53 m	0,80 m	-0,27 m

\*En las estaciones de aforo se registra generalmente el nivel del agua en metros (m) y su evolución en el tiempo, dato con el que a través del tarado se establece la equivalencia nivel-caudal obteniéndose el caudal y como consecuencia la aportación.

Para finales de agosto del 2013 los ríos de la zona presentaron caudales y niveles de agua descendientes en los meses de junio, julio y agosto. La disminución en los caudales repercutió directamente en las represas de la región norte del Perú, entre ellas la de Gallito Ciego que registró un volumen de 313,7 MMC (82% con respecto a su capacidad útil de almacenamiento)<sup>[35]</sup>.

En octubre del 2013 los niveles y caudales medio mensuales de los ríos continúan presentando descensos en los caudales diarios, registrándose anomalías negativas con respecto a su promedio histórico. El reservorio de Gallito Ciego se encuentra con un volumen de agua de 258,0 MMC (al 18 de octubre del 2013) lo que representa el 66% de su capacidad útil de almacenamiento<sup>[36]</sup>.

Para inicios de febrero del 2014 existe un déficit hidrológico medio a moderado en los ríos Tumbes, Chancay - Lambayeque y Jequetepeque, determinado por el indicador de sequía de caudales. Los primeros días de febrero el volumen de almacenamiento disminuyó considerablemente por lo que las Autoridades Administrativas del Agua, en coordinación con las organizaciones de usuarios, desarrollaron planes de contingencia a fin de reducir los impactos, algunos consideraron: no autorizar los volúmenes programados para el cultivo de arroz, reducir el área de cultivos, promover la instalación de cultivos de menor consumo de agua entre otros. A pesar del ligero incremento del caudal de ingreso del embalse Gallito Ciego observado a partir del 21 de febrero del 2014, el comportamiento pluviométrico en la costa norte fue variable con tendencia a disminuir, lo mismo que los caudales de los ríos de la zona<sup>[37]</sup>.

Según el boletín de sequías a nivel nacional del SENAMHI para el periodo de abril a septiembre del 2014, en el plazo de un mes los índices de IPN (índice de precipitación normal) y PCI (índice de condición de precipitación), necesarios para generar los mapas de precipitación, muestran condiciones de sequía extrema en las regiones localizadas en la costa peruana (de Tumbes a Tacna); mientras las regiones con mayores tasas de humedad están localizadas en los Andes del centro al Sur del Perú (de Huánuco a Puno). Las demás regiones muestran condiciones de normal a sequía leve. Se utilizaron para el monitoreo datos de lluvias en 352 estaciones y de caudales en 20 estaciones así como datos de sensoramiento remoto <sup>[38], [39], [40]</sup>.

## **2. PARTE EXPERIMENTAL**

### **2.1 Criterios de muestreo**

Previo a un análisis físico químico del suelo es necesario un preciso proceso de muestreo para poder tener muestras representativas del área en estudio.<sup>[47]</sup>

La colección de una muestra de suelo representativa del campo de cultivo en estudio es el aspecto más importante en el análisis de suelos, debido a que deberá de reflejar las propiedades del suelo en estudio.<sup>[13]</sup>

#### **2.1.1 Zona de muestreo**

Los suelos muestreados pertenecían a zonas de cultivo de arroz, favorecidas con las aguas de riego provenientes de la reserva hidráulica de Gallito Ciego, a lo largo de la cuenca baja del río Jequetepeque.

#### **2.1.2 Fecha de muestreo**

Los suelos muestreados deberán de representar el estado menos alterado del suelo, es decir, previo a la labranza porque con esta se altera la estructura del suelo y previo a la aplicación de fertilizantes.<sup>[47]</sup> En la zona de estudio esta fecha es en los meses de julio y agosto en que esperan ser preparados para el trasplante.

Para el presente trabajo de campo se muestreó en dos fechas: febrero de 2012 durante la primera campaña cuando los campos se hallaban inundados, y agosto 2013 con los campos antes de su labranza. En la primera fecha de muestreo se tomaron 8 muestras de suelo y en la segunda fecha 8 muestras de suelo y dos de agua.

#### **2.1.3 Tipo de muestreo**

El tipo de muestreo aplicado en la primera salida de campo fue aleatorio simple debido a que se tenía poca información sobre su composición. En la segunda salida a campo el tipo de muestreo fue sistemático con transectos perpendiculares al cauce del río Jequetepeque.

#### **2.1.4 Cantidad de muestra**

El traslado de las muestras del lugar de muestreo al laboratorio considera un cuidado y presupuesto adicional, debido a que se realiza mediante transporte público, muchas veces con limitación de espacio y de condiciones óptimas en el traslado de muestras (temperatura, manipulación, tiempo). Esto determinó la cantidad de muestra en la recolección de 3 kg por punto, la mínima cantidad para realizar los análisis.

## **2.2 Selección de zonas de muestreo**

En la primera salida a campo, febrero del 2012, la mayor cantidad de muestras se ubicaron en la margen izquierda del río. Se realizó un muestreo aleatorio y uno tipo conglomerado por zonas.

En la segunda visita a la cuenca, agosto del 2013, los terrenos se hallaban esperando a ser preparados para el cultivo y el acceso fue favorable en todos los casos. El tipo de muestreo seguido fue sistemático (de rejilla), en ambas márgenes del río. Ver Figura 10.

En el presente estudio, en la primera salida la toma de muestras de suelos se realizó en ocho ubicaciones o estaciones: siete con cultivos de arroz (presencia de plántulas de arroz en campos inundados) y una en situación de descanso. En la segunda visita, se realizó la toma de ocho muestras de suelos ubicadas a ambos lados del río Jequetepeque en la parte baja de la cuenca, además de dos muestras de agua: en la bocatoma, para analizar la calidad del agua utilizada en el riego de los cultivos; y en la desembocadura del río, para el análisis de compuestos provenientes de los cultivos disueltos y arrastrados por el agua de riego.

## **2.3 Estaciones de muestreo**

El primer muestreo en suelos destinados al cultivo de arroz ubicados en la cuenca baja del río Jequetepeque se realizó el 12 de febrero del 2012, cuando casi la totalidad de los terrenos de cultivos se hallaban inundados y con plántulas de arroz. Las muestras se guardaron en bolsas plásticas con cierre hermético, rotulada con nombre, fecha, hora y ubicación georeferenciada.

El segundo muestreo se realizó en agosto del 2013; los suelos estaban a la espera del laboreo para la instalación de los almácigos.

Como primer paso, se retiró la parte superficial donde se encontraban plantas secas, seguidamente con una pala metálica se cavó a una profundidad de 20 a 25 cm aproximadamente, y con una espátula de metal se tomó una muestra de suelo de aproximadamente 2,5 kilogramos. Las muestras se guardaron en una bolsa plástica con cierre hermético, rotulada con nombre, fecha, hora y ubicación georeferenciada.

### **2.3.1 Ubicación de estaciones de muestreo**

Las coordenadas UTM y geográficas de los puntos de muestreo de suelos del primer y segundo muestreo se presentan en la Tabla 12. Se realizaron dos tomas de muestras



de agua en el periodo agosto 2013: la primera en la bocatoma (A01) y la segunda en la desembocadura (A02) del río Jequetepeque. Ver Tabla 13.

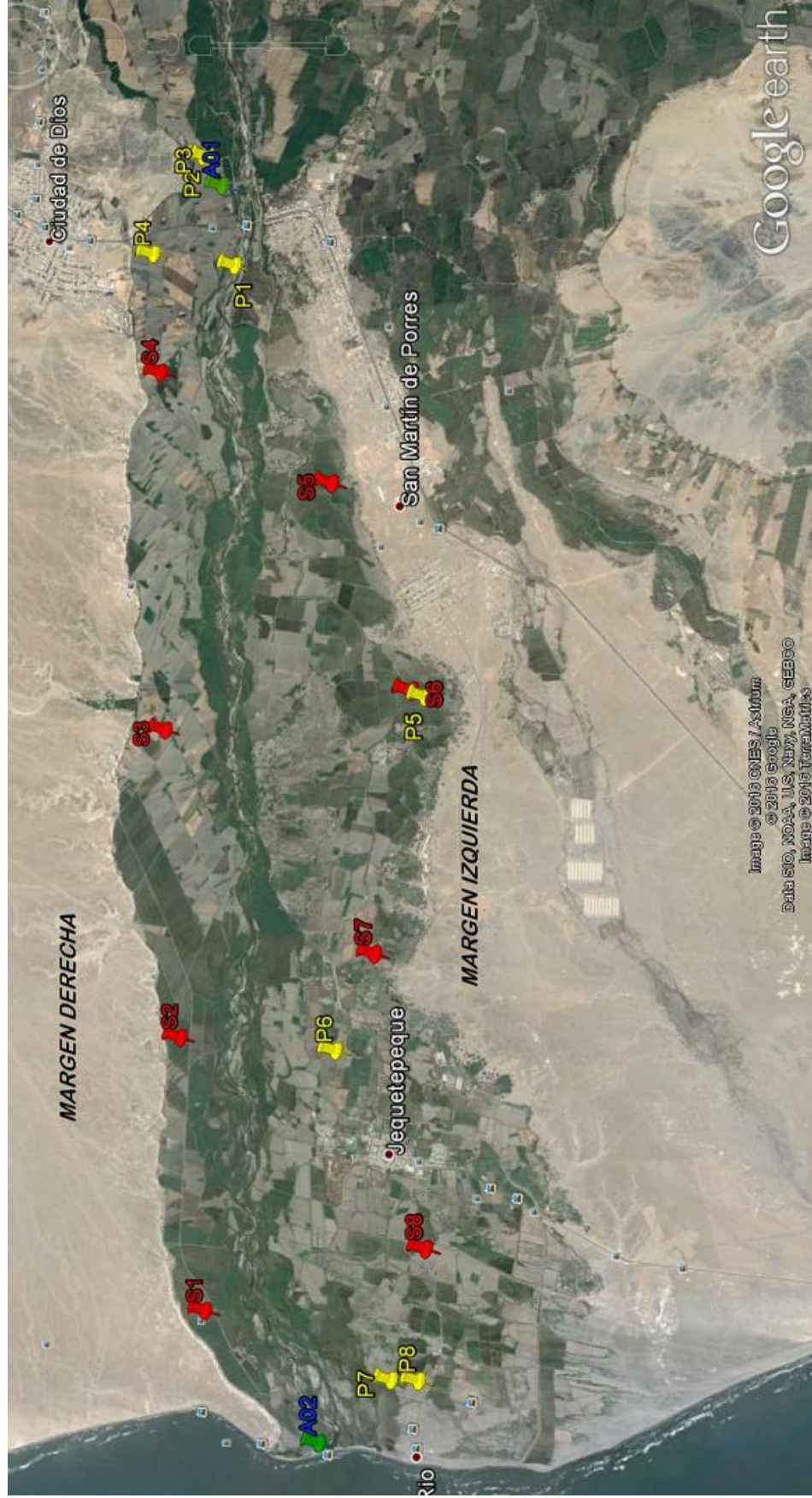
**Tabla 12.** Coordenadas UTM y geográficas de las muestras colectadas en febrero 2012 (estaciones P) y agosto 2013 (estaciones S).

Estación de muestreo de suelos	Coordenadas UTM zona 17	Coordenadas Geográficas	Estación de muestreo de suelos	Coordenadas UTM zona 17	Coordenadas Geográficas
P1	9190056N	7°19'29,52"S	S1	9190441N	7°19'18,09"S
	0667237E	79°29' 5,90"O		656861E	79°34'44,26"O
P2	9190397N	7°19'18,36"S	S2	9190694N	7°19'9,57"S
	0668362E	79°28'29,26"O		659578E	79°33'15,69"O
P3	9190340N	7°19'20,15"S	S3	9190838N	7°19'4,56"S
	0668349E	79°28'29,67"O		0662662E	79°31'35,15"O
P4	9190939N	7°19'0,75"S	S4	9190867N	7°19'3,23"S
	0667453S	79°28'58,95"O		0666255E	79°29'38,01"O
P5	9188140N	7°20'32,36"S	S5	9189059N	7°20'2,22"S
	0662941E	79°31'25,77"O		0665019E	79°30'18,11"O
P6	9189053N	7°20'3,00"S	S6	9188275N	7°20'27,96"S
	0659536E	79°33'16,89"O		0663001E	79°31'23,82"O
P7	9188269N	7°20'20,85"S	S7	9188653N	7°20'15,92"S
	0656407E	79°34'58,84"O		0660487E	79°32'45,84"O
P8	9188242N	7°20'29,72"S	S8	9188167N	7°20'32,04"S
	0656435E	79°34'57,92"O		0657699E	79°34'16,70"O

**Tabla 13.** Coordenadas UTM y geográficas de los puntos de muestreo de aguas tomadas en el periodo agosto 2013.

Muestra	Coordenadas UTM	Coordenadas geográficas	Lugar
A1	0668042E	79°28'39,67" O	Bocatoma
	9190189N	7°19'25,10" S	
A2	0655700E	79°35'21,99" O	Desembocadura
	9189249N	7°19'57,02" S	

**Figura 12.** Ubicación de los puntos de muestreo de suelos en la primera salida a campo (en amarillo); y de suelos y agua en la segunda salida a campo (en rojo para las muestras de suelos y en verde para las muestras de agua)



### **2.3.2 Descripción de estaciones de muestreo**

**Estación P1.** Se realizó el muestreo de suelos anegados destinados al cultivo de arroz al oeste del puente La Libertad, las plántulas estaban recién plantadas. La muestra seca fue difícil de moler, presentaba algunos caracoles pequeños y levantaba mucho polvo.

**Estación P2.** Se realizó la toma de muestra a una parcela en descanso. No había presencia del cultivo anterior, es decir se encontraba sin restos de plantas de arroz. La muestra seca se disgregaba con mayor facilidad que la muestra de la primera estación y presentó pequeños fragmentos sólidos.

**Estación P3.** Suelos muy oscuros, anegados y con plántulas de arroz. Se encontraba al lado de la zona en descanso.

**Estación P4.** La muestra se tomó al este del puente La Libertad, de un cultivo cercano a la vivienda del agricultor. Se encontraba anegado, oscuro y con plántulas de arroz.

**Estación P5.** El suelo se encontraba inundado, con presencia de cultivo de arroz.

**Estación P6.** Los suelos inundados y con plántulas de arroz, cerca de poblado en Jequetepeque. En terrenos vecinos se encontraba zona donde ordeñaban vacas.

**Estación P7.** Zona cerca a la desembocadura del río, se hallaba con plántulas de arroz e inundado; además, había sido fumigado por presencia de gusanos rojos. La muestra seca presentaba arena y algunos caracoles.

**Estación P8.** No tenía cultivos, tampoco había sido fumigada, a pesar que se hallaba contigua a la séptima estación. El dueño indicó que tuvo plaga de gusanos rojos y que el suelo era salitroso.



**Estación S1.** Terreno sin preparar, suelo cuarteado con tono blanquecino en su superficie, con presencia de restos de plantas de arroz. La muestra estaba compuesta por grupos compactos difíciles de eliminar, restos de plantas (fibras) y caracoles. Ver Figura 11.



**Figura 13.** Estación de muestreo S1 (izq), detalle de la presencia de restos de plantas secas y suelo con afloramiento blanquecino (der.).

**Estación S2.** Terreno sin preparar, cuarteado, duro, de difícil penetración con la pala, presentaba restos quemados de plantas de arroz. La muestra se encontraba húmeda y con textura como plastilina, presencia de abundantes raicillas, semillas de arroz y algunos caracoles. Aledaño al terreno se encontraban cultivos de cebolla y ajo.



**Figura 14.** Estación de muestreo S2; vista del campo con restos de plantas quemadas (izq.), y detalle del suelo cuarteado y con restos carbonizados de plantas de arroz.

**Estación S3.** Terreno con presencia de plantas secas del cultivo de arroz. El color de la muestra del suelo era muy oscuro mayor que el color presentado por las muestras de las estaciones 1 y 2. Presentaba mayor humedad pero fuerte resistencia a la penetración de la pala.



**Figura 15.** Estación de muestreo S3 con restos de plantas secas de arroz (izq.) y acercamiento al suelo húmedo y de color oscuro (der.).

**Estación S4.** Al igual que en las anteriores estaciones se trataba de un suelo sin preparar, compacto, con presencia de restos de plantas de arroz secos (las puntas de las plantas conservaban algo de verdor). La muestra estaba húmeda con formación de grumos y presencia de pequeños fragmentos sólidos de alrededor de 1 a 5 cm de diámetro.



**Figura 16.** Estación de muestreo S4, presenta restos de plantas de arroz con cierto verdor. Suelo muy compacto.

**Estación S5.** Suelo sin preparar, muy compacto, duro y seco. El terreno se encontraba más seco que en las anteriores estaciones, los restos de plantas de arroz estaban también totalmente secos (amarillos). La muestra presentaba restos de plantas, raicillas y pequeños fragmentos sólidos con diámetros de 1 a 3 cm. Los grumos presentes se deshacían con facilidad. Se puede notar la presencia de arena en poca proporción en la muestra.





**Figura 17.** Estación de muestreo S5 (izq.). Se aprecian los restos de plantas secas de arroz y la superficie blanquecina del suelo seco y compacto (der.).

**Estación S6.** Suelo sin preparar, capa superficial seca, a mayor profundidad se encontraba húmeda. Presencia de restos de plantas de arroz secas acompañadas de una planta que crece al ras del suelo, espinosa y que se encontraba en grandes extensiones alrededor del cultivo. Particularmente de interés la formación de una sal blanca cubriendo la superficie. Al lado del cultivo se hallaban reses pastando.



**Figura 18.** Estación de muestreo S6, presencia de reses (izq.), y detalle de afloramiento salino en la superficie con presencia de plantas halófilas (der.).

**Estación S7.** El suelo se encontraba sin preparar, con restos de plantas secas de arroz; presentaba gran humedad bajo la superficie, además con presencia de gran cantidad de arena y de plantas de flores amarillas dispersas en todo el terreno. Los grumos se deshacían con facilidad.



**Figura 19.** Estación de muestreo S7, con presencia de plantas con flores amarillas (izq.) y detalle del suelo húmedo y arenoso cubierto por plantas secas (der.).

**Estación S8.** Se encuentra muy cerca a la desembocadura del río. Se trata de un suelo húmedo, con presencia de abundantes raicillas y algunos caracoles.



**Figura 20.** Estación de muestreo S8, de suelo arenoso cubierto por restos de plantas de arroz secas (izq.) Detalle de la toma de suelo para determinación de densidad aparente (der.).



## 2.4 Reactivos empleados en los análisis químicos

En la Tabla 14 se detallan los reactivos empleados en los análisis físicos y químicos realizados a las muestras de suelo y de agua.

**Tabla 14.** Reactivos empleados en los análisis fisicoquímicos de laboratorio.

Nombre	Fórmula química	Marca	Grado de pureza
Alcohol etílico	$C_2H_5OH$	J.T. Baker	99,6
Ácido acético	$CH_3COOH$	Merck	97-99
Ácido sulfúrico	$H_2SO_4$	Merck	p.a.
Ácido clorhídrico	HCl	Merck	p.a.
Ácido nítrico	$HNO_3$	J.T. Baker	p.a.
Ácido ascórbico	$C_6H_8O_6$	J.T. Baker	99,0
Acetato de amonio tri hidratado	$CH_3COONH_4 \cdot 3H_2O$	Merck	p.a.
Carbonato de sodio	$Na_2CO_3$	Merck	p.a.
Carbonato de calcio	$CaCO_3$	Merck	p.a.
Cloruro de bario	$BaCl_2$	Scharlau	p.a.
Cloruro de sodio	NaCl	J.T. Baker	p.a.
Cloruro de amonio	$NH_4Cl$	J.T. Baker	p.a.
Cromato de potasio	$K_2CrO_4$	J.T. Baker	p.a.
Fosfato ácido de potasio dihidratado	$KH_2PO_4 \cdot 2H_2O$	Merck	p.a.
Hexametáfosfato de sodio	$(Na(PO_3))_6$	Scharlau	p.a.
Hidróxido de sodio	NaOH	Merck	p.a.
Indicador rojo de metilo	$C_{15}H_{15}N_3O_2$	Merck	---
Indicador anaranjado de metilo	$C_{14}H_{14}N_3NaO_3S$	Merck	---
Indicador verde de bromocresol	$C_{21}H_{14}Br_4O_5S$	Merck	---
Molibdato de amonio	$(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$	Merck	p.a.
Óxido de mercurio	HgO	Merck	p.a.
Peróxido de hidrógeno	$H_2O_2$	Merck	p.a.
Nitrato de plata	$AgNO_3$	J.T. Baker	p.a.
Solución estándar de Ca 1000 ppm	$Ca(NO_3)_2$	Merck	AA

Solución estándar de Mg 1000 ppm	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Merck	AA
Solución estándar de Na 1000 ppm	NaCl	Merck	AA
Solución estándar de K 1000 ppm	KNO <sub>3</sub>	Merck	AA
Sulfato de potasio	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	J.T. Backer	p.a.
Sulfato de sodio	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	J.T.Baker	p.a.
Sulfuro de potasio	KS	J.T.Baker	p.a.
Tartrato de antimonio y potasio	K(SbO)C <sub>4</sub> H <sub>4</sub> O <sub>6</sub> .1/2H <sub>2</sub> O	Merck	p.a.
Tiosulfato de sodio pentahidratado	Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .5H <sub>2</sub> O	Merck	p.a.

## 2.5 Tratamiento de muestras

LA mayoría de las muestras de la primera salida a campo (febrero 2012), se tomaron de los campos inundados de arroz en la fase vegetativa del desarrollo. Previo a su análisis fue necesario el secado de las muestras.

### 2.5.1 Secado

El secado a 60°C garantiza no solo eliminar agua higroscópica de las muestras; sino que las especies volátiles nitrogenadas, sulfuradas o fosforadas no se desprendan del suelo <sup>[48]</sup>. Este es el procedimiento que se siguió previo a los análisis químicos a todas las muestras de suelo.

Se colocaron las muestras en placas Petri para secarlas en la estufa a 60°C por 12 horas, luego de las cuales se las trasladó a los desecadores del laboratorio.

Para realizar los análisis físicos las muestras secas a 60°C, se molieron, tamizaron y se llevaron nuevamente a secar a 105°C por 12 horas en la estufa para eliminar la humedad y obtener la muestra seca.

### 2.5.2 Molienda y tamizado

Una vez frías y cuando el peso fue constante, se procedió a disgregarlas haciendo uso del mortero y se tamizaron las muestras con malla N°10 de 2 mm retirando las partículas vegetales, los caracoles o las pequeñas partículas sólidas presentes. Las muestras molidas y tamizadas se guardan en frascos de vidrio oscuro en desecadores protegidos de la luz del sol.

## **2.6. Análisis físicos**

### **2.6.1 Textura**

El método más utilizado para determinación de la distribución del tamaño de las partículas de los suelos es el de Bouyoucos o del hidrómetro<sup>[58]</sup> debido la ventaja de evitar tener que retirar con pipeta, secar y pesar pequeñas cantidades de alícuotas coloidales. Dadas las características tan variadas de los suelos muestreados (desde el tipo más arcilloso hasta el más arenoso), el método escogido para el análisis de textura fue el método de la pipeta.<sup>[49]</sup>

La mayor ventaja en este método es poder determinar fracciones dentro de las principales texturas (arena, limo, arcilla) como valores para arena fina, limo grueso, medio y fino.

Se pesaron 80,0 gramos de la muestra secada en estufa a 105°C en frascos de vidrio de 250 mL con tapa, se añadió 125 mL de la solución del dispersante hexametáfosfato de sodio (40 g/L con agua), se tapó y se agitó de forma manual vigorosamente por 5 minutos. Se agitó con un magneto durante 30 minutos, luego del cual se dejó en reposo.

Al día siguiente, las muestras se agitaron durante 20 minutos.

La mezcla se pasó a través de una malla de 0,063 mm, reteniendo la arena que se lavó con agua desionizada de una piceta y el filtrado se vertió en la probeta de vidrio de 1L con ayuda de un embudo de plástico. Finalmente, se lleva a la marca de 1L con agua desionizada.

El material retenido en la malla (arena) se transfirió a un vaso de 500 mL previamente pesado, para evaporar el agua del lavado de la malla en una plancha y posteriormente secarlo en la estufa a 105 °C durante 24 horas.

La solución en la probeta se agitó manualmente de lado a lado luego de tapanla con Parafilm® hasta que no presentó asentamiento de material en la base. Se colocó la probeta sobre la mesa de trabajo (superficie firme, libre de movimientos), y se inició el conteo del tiempo con cronómetro.

Se tomaron alícuotas con una pipeta de 20 mL a diferentes tiempos. La primera alícuota se realizó a 20 cm de la superficie de la solución y las siguientes a 10 cm de la superficie. Ver Tabla 15.

**Tabla 15.** Distribución de tiempos y tamaños de partícula según US EPA (2003), para el método de la pipeta.<sup>[49]</sup>

$\phi$	Tamaño ( $\mu\text{m}$ )	T	Tiempo	Alícuota	Profundidad (cm)
4 $\phi$	62,50	21°C	20 s	20 mL	20
5 $\phi$	31,20		1 m 51 s		10
6 $\phi$	15,60		7 m 25 s		10
7 $\phi$	7,80		29 m 41 s		10
8 $\phi$	3,90		1 h 59 m		10
9 $\phi$	1,95		7 h 56 m		10
10 $\phi$	0,98		31 h 40 m		10

Las alícuotas se colocaron en vasos de precipitado de 50mL y 100mL previamente pesados y luego se los secó en plancha de calentamiento, a aproximadamente 100 °C.

La fracción retenida en la malla de 0,063 mm y las alícuotas de 20 mL, secadas en la plancha, se llevaron a estufa a 105°C por 24 horas. Luego de ese tiempo se las colocó en el desecador y se pesaron para determinar los diferentes tamaños de partículas contenidos en cada alícuota, y de esta manera hallar las fracciones de textura en la muestra

### 2.6.2 Humedad

La medición del porcentaje de humedad en las muestras se realizó conforme al método de análisis estándar ASTM D 2974-87 (1995) Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock Mass.<sup>[50]</sup> Método de análisis A. El análisis se realizó sobre las muestras secas en estufa a 60°C, cada una de las cuales fue molida y pasada por malla N°10 (2 mm). Se pesó por triplicado aprox. 5 gramos (peso A) de la muestra en placas Petri de 5 cm de diámetro previamente pesadas. Se llevaron a la estufa a 105°C durante 24 horas. Luego de este tiempo se retiraron de la estufa, se las cubrió, y se colocaron en el desecador hasta su enfriamiento para luego ser pesadas (peso B).

El cálculo del contenido de humedad se obtuvo mediante la fórmula

$$\text{Contenido de Humedad (\%)} = ((A-B) * 100) / B \quad \text{Fórmula 5}$$

donde

A = masa de la muestra del desecador (g).

B= masa de la muestra sacada en la estufa (g).

### 2.6.3 Densidad aparente

La determinación de la densidad aparente se realizó en base a la Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo de la USDA. <sup>[52]</sup>

Se tomó la muestra en el suelo tal como se lo encontró, es decir, sin humedecerlo. Se excavó eliminando la capa superficial de suelo con una profundidad aproximada de 20 cm. Se trató que la superficie quedara plana, lo más perpendicular al nivel del suelo.

Se colocó el cilindro metálico (de aluminio) de 12,6 cm de radio y de altura 5,7 cm presionando suavemente sobre la superficie vertical del suelo nivelada. Se introdujo el cilindro en el suelo con ligeros golpes de la espátula, tratando de no compactarlo. Se escarbaron los alrededores del cilindro para no alterar ni perder muestra. El suelo contenido dentro del cilindro se colocó en una bolsa Ziploc® rotulada. Se realizó el análisis para una salida a campo y solo una lectura.

El valor de la densidad aparente (D.A.) se calculó con la fórmula;

$$D.A. (g/cm^3) = \frac{\text{masa seca de suelo (g)}}{\text{Volumen del cilindro (cm}^3\text{)}} \quad \text{Fórmula 6}$$

## 2.7 Análisis químicos

Los análisis químicos se realizaron en base a normas ASTM, EPA y APHA. Los criterios de selección de las metodologías utilizadas contemplan: confianza analítica, límite de detección, repetitividad del resultado, rapidez y simpleza; además del uso limitado de reactivos químicos tóxicos y de bajo costo.

### 2.7.1. Ceniza

La medición del porcentaje de ceniza en las muestras se realizó conforme al método de análisis estándar ASTM D 2974-87 (1995) *Standard Test Methods for Moisture Ash, and Organic Matter of Peat and other Organic Soils.*<sup>[50]</sup> Método de análisis C. Se trabajó con la muestra secada en estufa a 105°C. Se pesaron por triplicado, 5 gramos aprox. de la muestra seca a 105°C (Wm) en crisoles de porcelana previamente pesados (Wp) y

perfectamente identificados. Se los colocó en la mufla y se programó para llevar la temperatura a 440°C por 4 horas. Luego de dos horas de enfriamiento en la mufla, los crisoles con la ceniza (Wc) se colocaron en un desecador para enfriarlos completamente y proceder a pesarlos.

El contenido de ceniza se calcula con la siguiente fórmula;

$$\text{Contenido de ceniza (\%)} = ((Wc - Wp) * 100) / Wm \quad \text{Fórmula 7}$$

donde: Wm, Wp y Wc están en gramos.

### 2.7.2 Materia orgánica

El procedimiento del ensayo fue el de la norma ASTM D2974-87 *Standard Test Methods for Moisture, Ash, and Organic Matter of Peat and other Organic Soils.*<sup>[50]</sup> El procedimiento continúa al de la determinación de ceniza.

El porcentaje de materia orgánica se calculó mediante la fórmula;

$$\text{Materia Orgánica (\%)} = 100,0 - D \quad \text{Fórmula 8}$$

donde D = porcentaje de ceniza (%)

### 2.7.3 pH

El ensayo se realizó según ASTM D1293-12. 2013. *Standard Test Methods of pH of Water.*<sup>[54]</sup> Se preparó la solución de relación suelo: agua (1:2,5), se pesó 40 gramos de suelo y se le añadió 100 gramos de agua destilada. Se aplicó agitación magnética por una hora y se le dejó reposar por espacio de 30 minutos, luego de los cuales se filtra con papel Whatman N° 42. Se introdujo el electrodo previamente calibrado al filtrado teniendo cuidado que el bulbo se encontrara en el punto medio de la solución. Se esperó que el valor se estabilizara y por último se leyó el valor del pH.

### 2.7.4 Conductividad eléctrica

Se sigue la norma ASTM D1125-14 *Standard Test Methods for Electrical Conductivity and Resistivity of Water.*<sup>[56]</sup> Se preparó la solución suelo: agua 1:2,5 se aplicó agitación magnética por una hora y se dejó reposando media hora. Luego, se filtró dos veces al vacío con papel Whatman N°42. Previamente se calibró el equipo multiparámetro con una solución de KCl 0,3M. Se colocó el electrodo en cada uno de los extractos de las muestras y se esperó que el valor obtenido se mantuviera por tres minutos aproximadamente. Se repitió la operación tres veces para cada extracto.

### **2.7.5 Cationes solubles**

El ensayo de cationes solubles así como el de cationes de intercambio y el del valor de capacidad de intercambio iónico (CIC) se realizaron según la norma ASTM D7503-10.<sup>[57]</sup> Se preparó el extracto del suelo añadiendo 100 mL de agua destilada a una muestra de suelo de aproximadamente 40 g previamente seca a 60°C, se obtuvo una mezcla en relación 1:2,5. Se agitó con una barra magnética por espacio de una hora, luego de la cual se dejó reposar media hora. Seguidamente, se filtró la mezcla por medio de una bomba de vacío conectada a un matraz de filtrado (Kitasato), sobre el cual se hallaba el embudo de filtrado con papel Whatman N°42. El extracto se transfirió a una fiola de 100 mL y se preservó con ácido nítrico concentrado hasta obtener pH igual a 2, para posteriormente analizar los cationes por espectroscopía de absorción atómica (AAS).

### **2.7.6 Cationes de intercambio**

En un frasco de 100 mL con tapa se colocaron 25 gramos de suelo secado en desecador (*air dry*) o a 60°C; se añadieron 40 mL de solución de NH<sub>4</sub>OAc 1M, se aplicó agitación magnética por 15 minutos y se dejó reposar 24 horas. Luego de este tiempo se agitaron nuevamente las muestras por 15 minutos antes de ser filtradas en vacío a través de papel Whatman N°42. Se lava el suelo con cuatro porciones de 30mL de NH<sub>4</sub>OAc 1M. Las porciones de lavado se agregan lentamente y se deja drenar un lavado antes de echar el segundo; pero se debe evitar que el suelo se seque entre un lavado y otro. El filtrado se recogió en una fiola de 250 mL y se acidificó a pH 2 con ácido nítrico concentrado; posteriormente se llevó a nivel con solución de acetato de amonio 1M. La concentración de cationes en mg/L (ppm), se analizó con el equipo de absorbancia atómica (AAS).<sup>[57], [58], [59]</sup>

El suelo se reservó para la determinación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC).

### **2.7.7 Capacidad de intercambio catiónico**

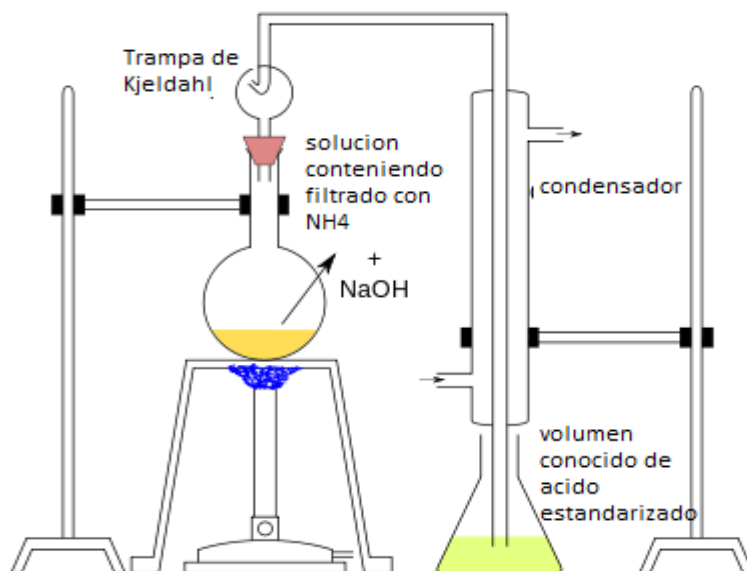
El suelo obtenido en la determinación de cationes de Intercambio se lavó con alcohol isopropílico. Se utilizan 3 porciones de 40 mL cada una y el filtrado resultante se desecha. El matraz de filtrado se enjuagó tres veces con agua destilada.

Se dispuso nuevamente del equipo de filtración y el suelo tratado con alcohol, se lavó con cuatro porciones de 50 mL de una solución de KCl 1M. El extracto obtenido se transfirió a una fiola de 250 mL y se llevó al volumen con agua destilada. Se analizó el extracto de KCl 1M para determinar la concentración de amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) presente.<sup>[57],[60]</sup>

[62]

El análisis se realizó por triplicado.

Para el análisis del amonio se procedió a la destilación de la solución que contiene el amonio desplazado por el KCl y se lo recibió en una solución de ácido bórico. El equipo de destilación fue armado según la Figura 21. Antes de ser usado el equipo se lo limpió de impurezas que puedan alterar los resultados colocando en el balón una mezcla agua:solución de hidróxido tiosulfato de sodio 2:1, y se calentó hasta destilar al menos un 50% de la solución.



**Figura 21.** Esquema del equipo de destilación para determinación de N como  $\text{NH}_4^+$

La solución a analizar se colocó en el balón de 500 mL, se alcalinizó a pH 9,5 adicionando unas gotas de solución de hidróxido-tiosulfato de sodio e inmediatamente se ensambló en el aparato de destilación. La punta del condensador se colocó dentro de 50 mL (medidos con pipeta) de una solución de ácido bórico 2%, contenido en el Erlenmeyer. Cuando la cantidad en el Erlenmeyer llegó a 200 mL, se detuvo el calentamiento del balón y con él la destilación. La solución se trasladó a una fiola de 200 mL y se aforó. Se tomó una alícuota (con una pipeta volumétrica) de 50 mL y se tituló con ácido sulfúrico 0,02 N previamente valorado. <sup>[51] [62]</sup>

Se realizó el análisis por triplicado.

### 2.7.8 Sulfatos

El análisis se realiza según la norma APHA 4500-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> para análisis de sulfatos<sup>[52]</sup>. Se tomaron en consideración indicaciones del artículo: *Determination of available nitrate*,



*phosphate and sulfate in soil samples.*<sup>[63]</sup> Se prepararon mezclas de cada una de las muestras de suelo en relación suelo:agua (1:2,5). Se filtraron al vacío con papel Whatman N° 42 y luego a través de un filtro de acetato de celulosa (0,45 µm) eliminando cualquier partícula sólida o coloide. Se trató a cada extracto con peróxido de hidrógeno al 30 %, se las dejó reposar por 24 horas, y luego se evaporó el volumen en exceso en plancha hasta obtener el volumen inicial de cada extracto. Se tomó 20 mL de la solución resultante para la preparación de la muestra a analizar.

Se preparó el reactivo condicionante y la solución stock del estándar de sulfato. Seguidamente, se prepararon los estándares de sulfato y cada una de las muestras a analizar.

El análisis se realizó por triplicado y se analizaron tres blancos.

#### A. Preparación del reactivo condicionante

Se midió 25 mL de glicerol y se los coloca en un vaso de precipitado. Se añadió 15 mL de ácido clorhídrico concentrado al vaso de precipitado. Luego se añadió 50 mL de alcohol isopropílico 95% y se lo mezcló bien.

Se pesó 37,5 gramos de cloruro de sodio y se los disolvió en 100 mL de agua destilada con agitación constante. Finalmente, se mezclaron ambas soluciones en una fiola de 250 mL, y se llevó al volumen con agua destilada.

#### B. Preparación de la solución estándar de sulfato

Se secó a 110°C el sulfato de sodio anhidro durante toda la noche. Al día siguiente se lo coloca en desecador para enfriar. Se pesó con exactitud 1,7824 g de sulfato anhidro de sodio en un vaso de 100 mL y se disolvió con agua destilada. Se trasvasó a una fiola de 1000 mL y se enjuagó el vaso de precipitado varias veces, llevando al nivel. Se obtuvo una solución donde 1 mL de solución contenía 4,82217 mg de sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ).

#### C. Preparación del blanco, estándares y la muestra para el análisis

Se tomaron 10 fiolas de 100 mL: dos para los blancos, cinco para los estándares, y tres para la muestra. Se prepararon soluciones del blanco, estándar y muestra según la Tabla 15, se aforó a 100 mL cada una de las fiolas.

#### D. Medición de $\text{SO}_4^{2-}$ mediante espectrometría UV-Vis

La longitud de onda para el análisis fue fijada en 420 nm. Con cada una de las soluciones a analizar: los tres blancos de muestra, los estándares y las muestras, se siguió el siguiente procedimiento. Se vertió el contenido de la fiola en un vaso de precipitado y se añadió aproximadamente 0,3 g de cloruro de bario. Inmediatamente después, se aplicó agitación magnética, a los dos minutos se hace una primera

medición y a los cinco minutos exactamente se realizó la segunda medición. Los valores obtenidos son interpolados en la curva concentración-sulfato vs. absorbancia de los estándares para hallar los valores de sulfato en las muestras.

**Tabla 16.** Cantidades de reactivos para blanco, estándares y muestra en determinación de sulfatos.<sup>[63]</sup>

	blanco	Std 1	Std 2	Std 3	Std 4	Std 5	muestra
Cantidad STD (mL)	0	0.2	0.5	1.0	1.5	2.0	0
Cantidad Reactivo. condicionante (mL)	5	5	5	5	5	5	5
Cantidad muestra (mL)	-	-	-	-	-	-	20
Cantidad $\text{SO}_4^{2-}$ (ppm)	0	9.6444	24.111	48.222	72.333	96.444	

### 2.7.9 Cloruros

La determinación de cloruros en las muestras se realizaron siguiendo la norma ASTM D512-12 Standard Test Methods for Chloride Ion in Water. Test Method B- Silver Nitrate Titration.<sup>[64]</sup> La determinación se realizó en el extracto de la solución suelo:agua en relación 1:2,5. La mezcla se agitó por una hora y se dejó en reposo por media hora, luego de lo cual se filtró a través de papel Whatman N° 42.

Se tomó 20 mL de la solución extraída con pipeta volumétrica y se ajustó a un pH de 8,3 con una solución diluida de hidróxido de sodio (NaOH). Se agregaron cinco gotas del indicador cromato de potasio y se tituló con nitrato de plata 0,025N hasta la persistencia del color rojo ladrillo del cromato.

El análisis se realizó por triplicado.

### 2.7.10 Carbonatos

La determinación de carbonato total se realizó por acidimetría descrita en el libro *Handbook of Soil Analysis. Mineralogical, Organic and Inorganic Methods*.<sup>[48]</sup> Se pesaron 5 gramos de la muestra seca en un Erlenmeyer de 250 mL, se añadió 100 mL de ácido clorhídrico (HCl) 1N y se aplicó agitación lineal por una hora. Se dejó reposar 24 horas, luego de lo cual se agitó nuevamente por 2 horas, se centrifugó y se tomaron 10 mL del filtrado con pipeta volumétrica y se los colocó en un matraz. Se agregaron 4 gotas del indicador fenolftaleína, y se tituló el ácido remanente con una solución de hidróxido de sodio (NaOH) 0,5N previamente valorado.<sup>[48]</sup>

El análisis se realizó por triplicado.

El porcentaje de carbonatos totales se halló con la siguiente fórmula:

$$\text{CaCO}_3 (\%) = 50 \cdot N \cdot (V_{\text{NaOH blanco}} - V_{\text{NaOH muestra}}) / W_{\text{muestra seca}} \quad \text{Fórmula}$$

donde:

N: normalidad exacta de la solución NaOH 0,5N (N)

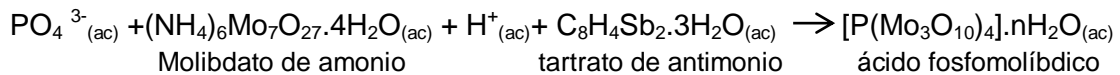
$V_{\text{NaOH blanco}}$ : Gasto de solución NaOH 0,5N utilizada en el blanco (mL)

$V_{\text{NaOH muestra}}$ : Gasto de solución de NaOH 0,5 N utilizada en la muestra (mL)

$W_{\text{muestra seca}}$ : Peso de la muestra analizada (g).

### 2.7.11 Fosfatos.

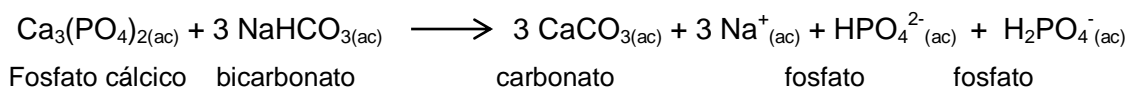
Para la determinación de fósforo como fosfato se utilizó el método del ácido ascórbico (4500-P E.) de la norma APHA *Standard Methods for the examination of water and wastewater*.<sup>[62]</sup> En este método el molibdato de amonio y el tartrato de antimonio potasio reaccionaron en medio ácido con el ortofosfato para formar el ácido fosfomolibdico, que es reducido por el ácido ascórbico, a un intenso color azul; y será medido por su absorbancia a 880 nm en el espectrofotómetro UV/Vis. La ecuación muestra los principales compuestos formados sin balance estequiométrico:



Ecuación 10

Se cree que los heteropolicomplejos se forman mediante la coordinación de grupos molibdato, actuando el fósforo como átomo central del complejo, reemplazando los grupos molibdatos a los átomos de oxígeno del grupo  $\text{PO}_4^{3-}$ .<sup>[65]</sup>

La acidez o alcalinidad del suelo a analizar determinó el tipo de tratamiento para la conversión de las diferentes formas de fósforo en ortofosfato soluble. Como los suelos se clasificaron, según el pH medido, en suelos medianamente básicos y básicos (Tabla 9); se utilizó como extractante el bicarbonato de sodio ( $\text{NaHCO}_3$ ) siguiendo el método de Olsen.<sup>[48]</sup> La reacción se presenta en la ecuación:



Ecuación 11

- Se pesaron 10 g de suelo de las diferentes muestras en vasos de precipitado de 100 mL y se agregaron 25 mL de solución de extracción  $\text{NaHCO}_3$  (pH 8,5) a cada una.

- Se agitó cada mezcla durante 15 minutos y se las dejó reposar por 30 minutos. Seguidamente se filtraron las mezclas con papel Whatman N°42.
- El filtrado presentó una coloración rojiza que se eliminó tratando con aprox. 0,2 g de carbón activado, el cual se dejó por 24 horas. Seguidamente se centrifugó se decantó y finalmente se filtró nuevamente con filtros Millipore® de 0,45 µm.

Los reactivos necesarios para la determinación de  $P-PO_4^{3-}$  se prepararon de la siguiente manera:

Solución para la extracción:

A. Bicarbonato de sodio ( $NaHCO_3$ ) 0,5N, pH 8,5.- Se disolvieron 42 gr de bicarbonato de sodio en 950 mL de agua desionizada. Se llevó a pH 8,5 con una solución de NaOH 2N y por último, se trasvasó a fiola de 1L y se aforó con agua desionizada.

Soluciones para el desarrollo del color:

B. Solución de molibdato de amonio.- Se disolvieron 20 g  $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$  en agua desionizada, calentando a 60°C y revolviendo suavemente hasta completa disolución. Una vez disuelto se esperó a que enfriara hasta temperatura ambiente y finalmente se llevó a fiola de 500 mL de volumen y se aforó.

C. Ácido sulfúrico (5N).- Se disolvieron 70 mL de ácido sulfúrico concentrado en fiola de 500 mL y se aforó con agua desionizada.

D. Solución de tartrato de antimonio y potasio.- Se disolvió 1,3715 g de  $K(SbO)C_4H_4O_6 \cdot \frac{1}{2}H_2O$  en 400 mL de agua desionizada y se llevó a fiola de 500 mL para aforar.

E. Solución de ácido ascórbico 0,1N.- Se disolvió 0,176 g de ácido ascórbico en 100 mL de agua desionizada. La solución es estable por una semana a 4°C y protegida de la luz.

F. Reactivo combinado.- Se mezclaron las soluciones anteriores en las siguientes proporciones para 100 mL de reactivo: 50 mL de ácido sulfúrico 5N, 5 mL de solución de tartrato de antimonio y potasio, 15 mL de solución de molibdato de amonio y por último 30 mL de solución de ácido ascórbico. Luego de cada adición se mezcló bien cada reactivo y se dejó que la solución adquiriera temperatura ambiente. El reactivo combinado es estable por 4 horas.

G. Solución stock estándar de fosfato.- Se disolvieron 219,5 mg de fosfato hidrogenado de potasio ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) anhidro en 1 litro de agua desionizada ( $1 \text{ mL} > 50,0 \mu\text{g P como } \text{PO}_4^{3-}$ ).

H. Solución patrón de fosfato (2,5 ppm).- Se tomó una alícuota de 25 mL de la solución stock estándar de fosfato y se llevó a fiola de 500 mL para obtener una solución de  $2,5 \mu\text{g P- } \text{PO}_4^{3-}$ .

- En cada fiola de 50 mL se agregó: una alícuota de la solución estándar, una alícuota del extracto y una alícuota del reactivo de color según la Tabla 17.
- Las soluciones del blanco de muestra contendrán sólo el reactivo de color.

**Tabla 17.** Cantidades para preparar soluciones con estándar interno en el análisis de fósforo como fosfato.

Estándar	Vol. de Sol. estándar (2,5 ppm)(mL)	Volumen de extracto (mL)	Volumen de Reactivo de color (mL)	Conc. P- $\text{PO}_4^{3-}$ (ppm)
Blanco	0,00	0,00	10,0	0,00
ST1	1,00	10,0	10,0	0,05
ST2	2,00	10,0	10,0	0,10
ST3	3,00	10,0	10,0	0,15
ST4	4,00	10,0	10,0	0,2
ST5	6,00	10,0	10,0	0,3
ST6	8,00	10,0	10,0	0,4
ST7	10,0	10,0	10,0	0,5
ST8	20,0	10,0	10,0	1,0

### 2.7.12 Nitrógeno total Kjeldahl

Para la determinación de la suma de compuestos de nitrógeno de las muestras se siguió la norma ASTM D 2973-10 *Standard test Method for Total Nitrogen in Peat Materials*,<sup>[61]</sup> así como algunas consideraciones de la norma ASTM D 3590-89 *Standard Test Method for Total Kjeldahl Nitrogen in water*.<sup>[60]</sup>

El análisis de las muestras se realizó por triplicado.

El equipo de destilación se limpió destilando 50 ml de una solución agua:tiosulfato-hidróxido de sodio (2:1).

- A. Solución stock de amonio: Se disolvió 0,955 g de cloruro de amonio ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) en agua y se diluyó en fiola de 250 ml con agua desionizada.
- B. Solución estándar de amonio: Se diluyó 5 ml de la solución stock de amonio en fiola de 500 ml con agua desionizada.
- C. Solución de ácido bórico (2%): Se disolvió 20 g de ácido bórico ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) en agua y se lo llevó a fiola de 1L. Se aforó con agua desionizada.
- D. Solución indicadora: Se disolvió 200 mg de rojo de metilo en 100 ml de alcohol etílico. Aparte, se disolvió 200 mg de azul de metileno en 100 ml de alcohol metílico. Finalmente se mezcló 1 parte de solución rojo de metilo con dos partes de azul de metileno.
- E. Solución de hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ ): Se disolvió 450 g de hidróxido de sodio en agua desionizada y se aforó en fiola de 1L.
- F. Solución de tiosulfato de sodio- hidróxido de sodio: Se disolvió 250 g de  $\text{NaOH}$  y 12,5 g de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  en agua desionizada y se llevó a fiola de 500 ml para aforar.
- G. Solución estándar de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 0,2N: Se disolvió 3,0 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  en agua desionizada y se llevó a fiola de 1L. Se estandarizó con  $\text{Na}_2\text{CO}_3$

Luego se pesó 5 gramos de muestra, se la colocó en el balón de digestión bajo la campana, se agregó 0,7 g de  $\text{HgO}$ ; 15 g de  $\text{K}_2\text{SO}_4$  y 35 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado. Se lo coloca inclinado y se calienta suavemente, cuando empieza a cambiar de color se aumenta el calentamiento por 30 minutos o hasta que los vapores emitidos disminuyan. Se enfrió, se añadió 300 mL de agua y 25 mL de  $\text{K}_2\text{S}$  para precipitar el Hg. El contenido se trasvasó a un balón de destilación y se le añadió fragmentos de vidrio, la solución de  $\text{NaOH}$ -  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  hasta obtener un pH 11,0. Inmediatamente se conectó al equipo de destilación. Se inició el calentamiento del balón de destilación y la punta del condensador dentro de la solución de  $\text{H}_3\text{BO}_3$  previamente medida con pipeta (50 mL). Se continuó el calentamiento hasta que destiló aprox 150 mL. Seguidamente, se llevó la solución del matraz a fiola de 200 mL. Por último se tomó una alícuota de esta solución, se añadió la solución indicadora y se tituló con la solución estandarizada  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (0,2N).

El porcentaje de N se calcula según

$$\text{Nitrógeno (\%)} = A * B * 0,14 \quad \text{Fórmula 9}$$

donde:

A: mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (0,2 N) gastado en la titulación

B: normalidad de  $\text{H}_2\text{SO}_4$

### 2.7.13 Porcentaje de C y N con equipo TruMac LECO©

Se pesaron cinco muestras por cada suelo en estudio, cada una de 0,5 g en un crisol de porcelana especial. Se prepararon cinco muestras más de EDTA como estándar. Se colocan en el autosampler del analizador C/N modelo Trumac marca Leco©: cinco crisoles vacíos, cinco crisoles con el estándar y crisoles con todas las muestras por quintuplicado. El resultado obtenido fueron los porcentajes de carbono (%C) y de nitrógeno (%N) en la muestra.<sup>[66]</sup> Para la obtención del valor de materia orgánica a partir del %C se multiplica por el factor 1,72.<sup>[17]</sup>

### 2.8 Lavado de material

El lavado de material de vidrio sigue determinadas etapas según el análisis químico a realizarse. Primero, se lavó el material con agua corriente para eliminar sólidos: restos de suelos, restos de reactivos. Luego, se remojó en una solución de lavado de Extran® neutro por 12 horas. Seguidamente se enjuagó con agua corriente hasta que no hubiera espuma, y por último se dejó remojando en un balde con una solución de lavado. El tipo de solución fue según el análisis que se realizaría con el material:

- Una solución de HCl al 1% (aprox. 0,12 mol/L); para y para la determinación de fosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ). Luego de 12 horas, se enjuagó con agua desionizada 4 veces.
- Una solución de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  al 1% (aprox. 0,2 mol/L); para la determinación de amonio o nitrato. El remojo se realizó solo por dos horas, antes de enjuagarlo con agua desionizada 4 veces.
- Una solución de  $\text{HNO}_3$  al 1% (aprox. 0,16 mol/L); para la determinación de sulfatos y la determinación de metales ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ). Luego de 12 horas, el material se enjuagó con agua corriente y luego con agua desionizada 4 veces.

## **2.9 Manejo de residuos**

Los residuos líquidos y sólidos generados durante el análisis de las muestras de suelos y aguas en el laboratorio fueron dispuestos según su grado de peligrosidad en diferentes envases;

- Los residuos acuosos que contenían ácidos o bases (ácido nítrico, sulfúrico, soluciones alcalinas, etc.), se depositaron separadamente en bidones cerrados herméticamente y debidamente rotulados.
- Los residuos sólidos no peligrosos (guantes, papel toalla, restos de suelos, papeles de filtro sucios) se dispusieron de manera separada en tachos rotulados con bolsas plásticas negras.
- El material de vidrio roto generado durante los análisis realizados se dispuso en uno de los dos contenedores para vidrio roto: uno para vidrio contaminado y otro para vidrio no contaminado.

Los materiales fueron entregados a los responsables del almacén de la Sección Química para el tratamiento y la disposición de los residuos peligrosos.



### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Textura. Capacidad de intercambio catiónico.

Los resultados para la textura y CIC expresada en cmol de carga catiónica/kg de muestra (cmol<sup>+</sup>/kg) muestra se reportan en la Tabla 17.

**Tabla 17.** Textura y valores de CIC (cmol<sup>+</sup>/kg) de suelos muestreados en el primer y segundo muestreo (n=3).

Muestra	Textura del suelo	%arcilla	% limo	% arena	CIC (cmol <sup>+</sup> /kg)
P1	franco arenoso	19,21±0,50	41,89±0,50	38,92±0,00	10,08±0,80
P2	franco arcillo limoso	32,16±0,50	55,56±0,80	13,24±0,07	14,25±0,12
P3	franco limoso	21,29±0,00	62,69±0,80	16,02±0,00	13,53±0,20
P4	franco arcillo limoso	31,17±0,40	49,91±0,50	18,92±0,05	14,05±0,50
P5	franco arcillo arenoso	22,08±0,40	24,81±1,00	53,55±0,08	7,44±0,70
P6	franco arcillo arenoso	20,75±0,20	22,86±0,50	56,49±0,00	7,05±0,70
P7	franco arenoso	9,26±0,00	12,31±0,00	78,53±0,05	4,63±0,00
P8	franco arenoso	18,43±0,00	21,85±0,00	59,72±0,05	5,67±0,20
S1	franco arcilloso	30,47±0,40	45,74±0,50	26,79±0,08	16,47±0,70
S2	franco arcillo limoso	32,04±0,08	47,58±0,70	19,38±0,07	14,15±0,50
S3	franco limoso	24,71±0,40	52,29±0,80	23,00±0,05	10,09±0,20
S4	franco arcilloso	33,28±0,00	44,26±0,30	21,00±0,00	14,22±0,50
S5	franco arcillo arenoso	33,65±0,80	18,35±0,80	48,00±0,03	6,70±0,50
S6	franco arcillo arenoso	29,63±0,40	16,38±0,00	54,00±0,00	7,26±0,20
S7	arenoso	7,91±0,00	1,96±0,00	90,13±0,00	4,82±0,00
S8	franco arcillo arenoso	25,89±0,20	19,11±0,00	55,63±0,00	6,11±0,40

### 3.2 Densidad aparente

La densidad aparente fue determinada únicamente en las muestras de la segunda salida de campo. Varias de las muestras presentan material de procedencia marina (caracoles), así como restos de plantas de arroz.

La Tabla 19 presenta los valores de la densidad aparente de las muestras, el porcentaje de porosidad y el porcentaje de poros llenos de agua, así como observaciones de la muestra. Los recuadros con líneas punteadas indican que no se realizó el ensayo en esos puntos por el alto grado de compactación del suelo.

**Tabla 19.** Valores de la densidad aparente ( $\text{g/cm}^3$ ), porcentaje de poros totales y porcentaje de poros llenos de agua del suelo; además de características observadas en los suelos al momento de muestrear.

Muestra	D.A. ( $\text{g/cm}^3$ )	Porosidad (%)	Porcentaje de poros llenos de agua (%)	Observaciones
S1	1,30	51,02	12,62	Muestra húmeda con grumos. Presencia de algunos caracoles.
S2	1,21	54,34	13,89	Muestra muy húmeda con algunos caracoles.
S3	1,46	44,74	56,33	Muestra muy húmeda con abundantes caracoles
S4	---	---	---	Conglomerados duros.
S5	---	---	---	Muestra más seca. Presencia de partículas grandes y finas, además de fibra vegetal.
S6	1,24	53,21	26,90	Presencia de algunos caracoles y abundantes raíces.
S7	1,27	52,14	26,47	Muestra arenosa. Presencia de raíces y granos de arroz.
S8	1,30	50,98	23,21	Muestra arenosa. Presencia de abundantes caracoles

### 3.3 Materia orgánica.

Los resultados obtenidos en la determinación por calcinamiento de materia orgánica se presentan en la Tabla 20

**Tabla 20.** Valores porcentuales de materia orgánica a 440°C y 750°C para ambos muestreos (n=3).

Muestra	FEBRERO 2012		Muestra	AGOSTO 2013	
	440°C	750°C		440°C	750°C
P1	2,97 ± 0,11	11,91 ± 0,04	S1	3,97 ± 0,02	11,40 ± 0,17
P2	3,06 ± 0,01	10,93 ± 0,07	S2	3,92 ± 0,01	11,33 ± 0,23
P3	2,98 ± 0,02	11,06 ± 0,01	S3	4,64 ± 0,03	11,45 ± 0,00
P4	3,77 ± 0,09	11,66 ± 0,01	S4	3,41 ± 0,04	9,86 ± 0,01
P5	2,22 ± 0,04	10,89 ± 0,08	S5	4,17 ± 0,03	7,09 ± 0,06
P6	2,20 ± 0,04	9,65 ± 0,09	S6	4,78 ± 0,05	9,94 ± 0,17
P7	1,98 ± 0,03	4,00 ± 0,12	S7	1,66 ± 0,01	3,29 ± 0,02
P8	2,77 ± 0,15	5,77 ± 0,13	S8	3,65 ± 0,12	7,22 ± 0,41

### 3.4 Nitrógeno total (%N), porcentaje de carbono (%C) y relación C/N

En la Tabla 21 se presentan los resultados de porcentajes de carbono y nitrógeno, y la relación C/N a partir de los datos proporcionados por el equipo LECO. En la Tabla 22 se presentan valores de M.O. hallada por calcinamiento a 440°C, y a partir del %C multiplicado por el factor de conversión. La Tabla presenta también las respectivas clasificaciones del suelo según el valor de la M.O.

**Tabla 21.** Valores de los porcentajes de nitrógeno (%N) y carbono (%C) para el primer y segundo muestreo medidos con el equipo LECO® (n=5) y los valores del porcentaje de nitrógeno total determinados con método Kjeldahl (n=3).

	% N	% N <sub>Kjeldahl</sub>	%C	C/N
P1	0,22 ± 0,00	0,17 ± 0,02	2,66 ± 0,01	12,07 ± 0,34
P2	0,10 ± 0,01	0,06 ± 0,01	2,72 ± 0,02	26,22 ± 0,59
P3	0,20 ± 0,00	0,17 ± 0,01	2,61 ± 0,06	13,03 ± 1,42
P4	0,24 ± 0,01	0,20 ± 0,02	3,44 ± 0,03	14,35 ± 0,56
P5	0,16 ± 0,00	0,10 ± 0,01	1,82 ± 0,04	11,40 ± 2,09
P6	0,18 ± 0,01	0,15 ± 0,03	1,80 ± 0,08	9,98 ± 3,22
P7	0,20 ± 0,02	0,17 ± 0,01	1,67 ± 0,09	8,36 ± 2,98
P8	0,08 ± 0,01	N.D.	2,36 ± 0,03	29,47 ± 3,77
S1	0,11 ± 0,00	0,08 ± 0,01	3,36 ± 0,03	31,06 ± 0,60
S2	0,10 ± 0,01	0,07 ± 0,01	3,44 ± 0,02	33,89 ± 1,41
S3	0,09 ± 0,00	0,06 ± 0,01	3,19 ± 0,02	36,30 ± 1,40
S4	0,10 ± 0,00	0,08 ± 0,02	3,13 ± 0,03	30,22 ± 0,82
S5	0,09 ± 0,01	0,06 ± 0,01	1,79 ± 0,02	21,05 ± 1,40
S6	0,17 ± 0,01	0,10 ± 0,02	3,22 ± 0,04	19,10 ± 0,52
S7	0,06 ± 0,01	N.D.	1,39 ± 0,06	24,94 ± 3,88
S8	0,08 ± 0,01	0,06 ± 0,01	3,05 ± 0,09	40,48 ± 2,13

N.D. = Por debajo del límite de detección.

**Tabla 22.** Valores de M.O. hallada por calcinamiento a 440°C, y a partir del %C con la respectiva clasificación del suelo.

	% M.O. (440°C)	Clasificación de suelos <sup>[57]</sup>	%C (método Dumas)	% M.O.*	Clasificación de suelos <sup>[17]</sup>
P1	2,97 ± 0,11	medio	2,66 ± 0,01	4,58	alto
P2	3,06 ± 0,01	medio	2,72 ± 0,02	4,68	alto
P3	2,98 ± 0,02	medio	2,61 ± 0,06	4,49	alto
P4	3,77 ± 0,09	medio	3,44 ± 0,03	5,92	alto
P5	2,22 ± 0,04	medio	1,82 ± 0,04	3,13	moderado
P6	2,20 ± 0,04	medio	1,80 ± 0,08	3,10	moderado
P7	1,98 ± 0,03	bajo	1,67 ± 0,09	2,87	moderado
P8	2,77 ± 0,15	medio	2,36 ± 0,03	4,06	moderado
S1	3,97 ± 0,02	medio	3,36 ± 0,03	5,78	alto
S2	3,92 ± 0,01	medio	3,44 ± 0,02	5,92	Muy alto
S3	4,64 ± 0,03	alto	3,19 ± 0,02	5,49	alto
S4	3,41 ± 0,04	medio	3,13 ± 0,03	5,38	alto
S5	4,17 ± 0,03	medio	1,79 ± 0,02	3,08	moderado
S6	4,78 ± 0,05	Alto	3,22 ± 0,04	5,54	alto
S7	1,66 ± 0,01	bajo	1,39 ± 0,06	2,39	moderado
S8	3,65 ± 0,12	medio	3,05 ± 0,09	5,25	moderado

\*valor hallado a partir del %C hallado por el método Dumas en el equipo TruMac LECO©

### 3.5 pH y conductividad eléctrica

Los resultados para el pH en ambas salidas al campo se mantienen en valores dentro del rango 7,5 y 8,34. Los valores de conductividad medidos en los extractos suelo:agua 1:2,5; fueron convertidos a valores de conductividad eléctrica con la fórmula 1 para el extracto de pasta saturada con factores de conversión según la textura y la cantidad de materia orgánica de cada suelo (Tabla 4)<sup>[47]</sup>. La Tabla 23 presenta los resultados obtenidos.

**Tabla 23.** Valores de pH (n=3) y CE(1:2,5) (n=3) para el primer muestreo y segundo muestreo de suelos a 25°C.

Muestra	pH	CE (1:2,5) ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	CE <sub>se</sub> (dS/m)	Clasificación del suelo según FAO
P1	7,49 $\pm$ 0,11	207,87 $\pm$ 19,89	0,98	ligeramente salino
P2	7,92 $\pm$ 0,05	2110,00 $\pm$ 0,02	12,85	muy fuertemente salino
P3	7,88 $\pm$ 0,04	1550,67 $\pm$ 28,00	12,51	muy fuertemente salino
P4	8,34 $\pm$ 0,05	458,00 $\pm$ 7,35	3,09	moderadamente salino
P5	7,74 $\pm$ 0,05	574,67 $\pm$ 0,94	3,50	moderadamente salino
P6	8,05 $\pm$ 0,05	207,00 $\pm$ 3,74	1,26	ligeramente salino
P7	7,68 $\pm$ 0,03	535,67 $\pm$ 10,08	6,09	fuertemente salino
P8	7,95 $\pm$ 0,03	523,33 $\pm$ 5,91	4,22	fuertemente salino
S1	7,86 $\pm$ 0,06	512,01 $\pm$ 0,81	2,41	moderadamente salino
S2	7,93 $\pm$ 0,05	871,00 $\pm$ 15,12	4,11	moderadamente salino
S3	7,49 $\pm$ 0,10	851,33 $\pm$ 2,49	4,63	fuertemente salino
S4	7,73 $\pm$ 0,05	297,33 $\pm$ 7,58	1,40	ligeramente salino
S5	7,71 $\pm$ 0,06	338,33 $\pm$ 1,70	1,69	ligeramente salino
S6	7,66 $\pm$ 0,02	547,33 $\pm$ 17,94	2,74	moderadamente salino
S7	8,05 $\pm$ 0,08	408,00 $\pm$ 2,16	4,64	fuertemente salino
S8	7,77 $\pm$ 0,03	432,33 $\pm$ 0,94	2,64	moderadamente salino

### 3.6 Cationes solubles

La Tabla 24 muestra los valores para los cationes solubles en agua en el extracto suelo:agua (1:2,5); medidos por espectroscopía de absorción atómica. Las cantidades están expresadas en mg de catión por kilogramo de muestra seca. Las Figuras 22, 23, 24 y 25 muestran las curvas de calibración para los cationes solubles.

El análisis se realizó con adición de estándar.

**Tabla 24.** Concentración de cationes Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> solubles (mg/ kg muestra) para las muestras tomadas en el primer y segundo muestreo (n=3).

Muestra	mg Na <sup>+</sup> / kg muestra	mg K <sup>+</sup> / kg muestra	mg Ca <sup>2+</sup> / kg muestra	mg Mg <sup>2+</sup> / kg muestra
P1	38,33 ± 0,92	5,87 ± 0,01	102,81 ± 0,54	9,16 ± 0,06
P2	68,28 ± 1,40	1,14 ± 0,09	97,28 ± 0,34	9,53 ± 0,33
P3	57,03 ± 1,82	11,91 ± 0,01	75,53 ± 0,16	9,48 ± 0,09
P4	35,17 ± 0,93	7,05 ± 0,01	89,00 ± 1,19	9,00 ± 0,19
P5	98,29 ± 0,55	2,14 ± 0,01	100,01 ± 0,84	23,87 ± 0,33
P6	87,31 ± 0,62	6,53 ± 0,01	69,00 ± 0,34	9,79 ± 0,54
P7	51,89 ± 0,88	N.D.	59,33 ± 0,40	18,67 ± 0,10
P8	63,44 ± 0,97	N.D.	63,10 ± 0,63	19,34 ± 0,35
S1	88,19 ± 2,27	0,63 ± 0,01	172,87 ± 0,38	16,82 ± 0,14
S2	181,99 ± 1,73	N.D.	133,73 ± 0,01	31,04 ± 0,17
S3	176,44 ± 1,73	N.D.	209,08 ± 1,36	42,60 ± 0,09
S4	62,45 ± 0,65	N.D.	90,74 ± 0,33	9,30 ± 0,09
S5	26,08 ± 0,59	N.D.	119,62 ± 0,10	10,03 ± 0,04
S6	107,92 ± 1,13	0,63 ± 0,01	99,39 ± 0,75	26,92 ± 0,20
S7	37,50 ± 0,93	N.D.	71,43 ± 0,38	10,26 ± 0,14
S8	41,08 ± 0,59	N.D.	134,27 ± 0,65	28,14 ± 0,08

N.D. = Por debajo del límite de detección.

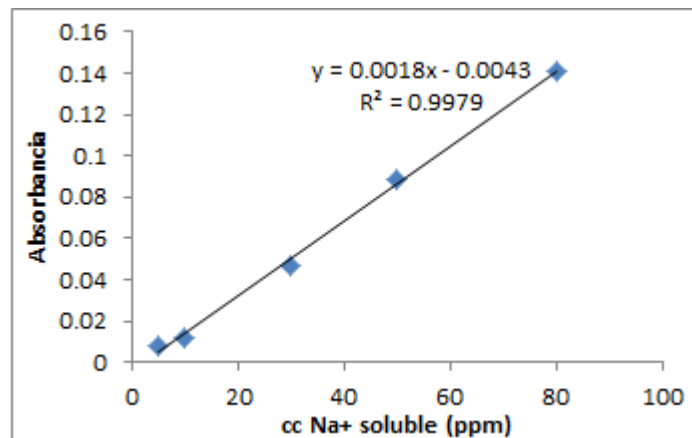


Figura 22. Curva de calibración para Na<sup>+</sup>.

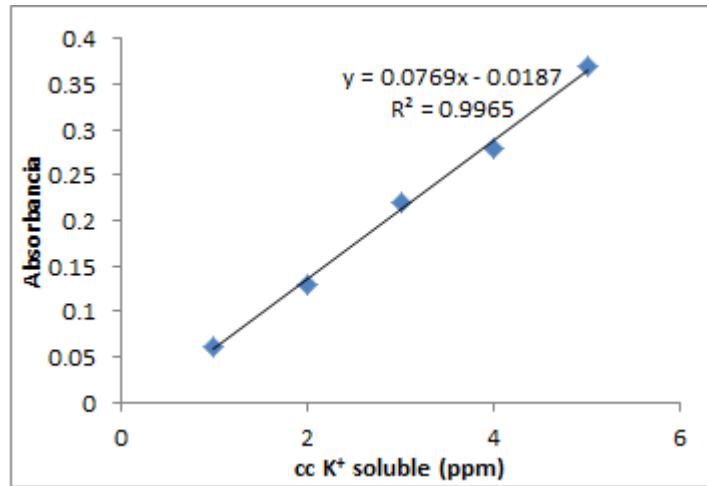


Figura 23. Curva de calibración para K<sup>+</sup>.

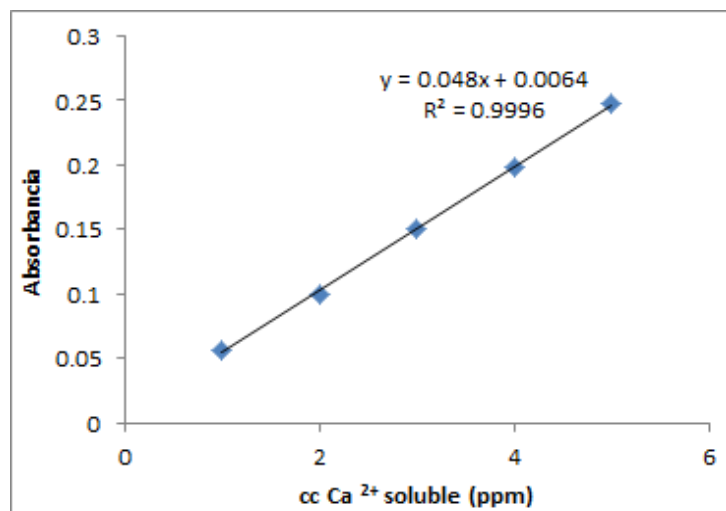


Figura 24. Curva de calibración para Ca<sup>2+</sup>.

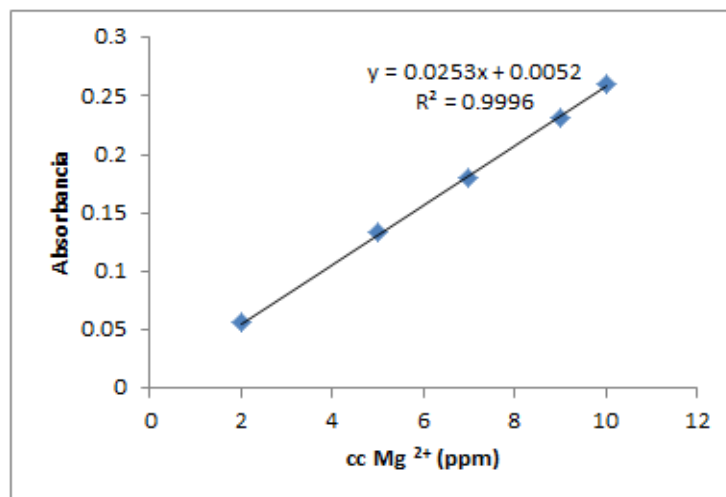


Figura 25. Curva de calibración para Mg<sup>2+</sup>.



### 3.7 Cationes de intercambio

Se presenta la Tabla 25 con las concentraciones (mg/kg muestra) de los cationes ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) de intercambio de una solución extracto en la relación suelo:solución acetato de amonio 1:2,5. Se presenta el valor del CIC ( $\text{cmol}^+$ /kg). Además, la última columna presenta el valor del porcentaje de sodio intercambiable (ESP).

**Tabla 25.** Concentración de cationes  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  de intercambio para los extractos (suelo:sol  $\text{NH}_4\text{Ac}$  1:2,5) de muestras (n=3).

Muestra	mg $\text{Na}^+$ / kg muestra	mg $\text{K}^+$ / kg muestra	mg $\text{Ca}^{2+}$ / kg muestra	mg $\text{Mg}^{2+}$ / kg muestra	CIC ( $\text{cmol}^+$ /kg)	ESP (%)
P1	173,56 ± 3,56	78,56± 0,56	1103,84 ± 20,36	286,35 ± 3,56	10,08±0,80	8,75
P2	168,2 ± 7,25	71,89 ± 1,25	1212,33 ± 18,66	301,84 ± 5,37	14,25±0,12	7,89
P3	99,25 ± 5,65	92,36 ± 2,00	1283,96 ± 21,57	224,53 ± 7,23	13,53±0,20	4,96
P4	136,94 ± 2,55	80,65 ± 0,88	1065,28 ± 22,45	298,36 ± 9,33	14,05±0,50	7,11
P5	56,29 ± 11,88	88,54 ± 0,77	1377,54 ± 19,67	658,65 ± 7,47	7,44±0,70	1,95
P6	71,33 ± 3,26	90,89± 1,37	1049,29 ± 11,67	703,48 ± 5,45	7,05±0,70	2,73
P7	55,20 ± 4,00	32,90 ± 0,33	589,41 ± 6,34	126,70 ± 6,26	4,63±0,00	5,68
P8	166,36 ± 5,67	49,69 ± 1,01	895,26 ± 14,60	664,23 ± 11,87	5,67±0,20	6,78
S1	280,83 ± 21,19	182,64 ± 0,84	1463,36 ± 24,71	493,49 ± 5,33	16,47±0,70	9,70
S2	173,92 ± 2,72	124,58 ± 0,80	1384,30 ± 56,36	682,89 ± 6,06	14,15±0,50	5,70
S3	239,97± 7,02	70,01 ± 1,10	1544,16 ± 38,57	622,28 ± 5,65	10,09±0,20	7,52
S4	167,86 ± 3,04	81,49 ± 0,00	1207,42 ± 24,51	388,99 ± 8,25	14,22±0,50	7,33
S5	9,92 ± 2,46	47,90 ± 0,33	1375,57 ± 43,57	256,59 ± 5,65	6,70±0,50	0,48
S6	389,83 ± 26,08	91,17 ± 1,23	1203,05 ± 22,27	760,32 ± 8,70	7,26±0,20	12,14
S7	16,25 ± 4,08	25,63 ± 1,17	654,92 ± 32,68	159,37 ± 8,52	4,82±0,00	1,52
S8	46,37 ± 4,17	56,03 ± 0,95	1048,00± 21,62	678,49 ± 7,22	6,11±0,40	1,83

### 3.8 Aniones

Los aniones analizados a las muestras fueron cloruros (Cl<sup>-</sup>), carbonatos (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) por métodos volumétricos, y los sulfatos (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), fosfatos (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) por métodos espectrométricos (UV-Vis). Los resultados se presentan en la Tabla 26. La Tabla 27 presenta la clasificación de los suelos en base a los valores de porcentaje de carbonatos, así como la reacción observada con el HCl (10%).

Las curvas de calibración para sulfatos y fosfatos se presentan en las Figuras 26 y 27.

**Tabla 26.** Concentraciones de cloruros (Cl<sup>-</sup>) (mg/kg muestra) (n=3), carbonato total (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) (%) (n=3), sulfatos (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) (mg/kg muestra) (n=3), y fosfatos (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) (mg/kg muestra) (n=2) para primer y segundo muestreo.

Muestras	Cloruros (Cl <sup>-</sup> ) (mg/kg muestra)	Carbonato Total (CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> ) (%)	Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) (mg/kg muestra)	Fosfatos (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ) (mg/kg muestra)
P1	65,67 ± 0,00	10,35 ± 0,14	40,49 ± 0,03	1,43 ± 0,11
P2	54,73 ± 0,00	12,58 ± 0,07	38,91 ± 0,04	1,55 ± 0,17
P3	32,84 ± 0,00	11,63 ± 0,08	36,21 ± 0,02	1,73 ± 0,08
P4	43,79 ± 0,00	12,62 ± 0,13	34,42 ± 0,10	1,40 ± 0,16
P5	54,73 ± 0,00	9,39 ± 0,13	20,73 ± 0,05	1,22 ± 0,21
P6	65,68 ± 0,00	16,41 ± 0,09	31,82 ± 0,09	2,05 ± 0,12
P7	54,73 ± 0,00	5,73 ± 0,15	52,55 ± 0,08	0,89 ± 0,14
P8	98,52 ± 0,00	8,52 ± 0,0982	35,51 ± 0,12	0,98 ± 0,09
S1	54,73 ± 0,00	9,61 ± 0,25	35,21 ± 0,08	1,19 ± 0,02
S2	76,62 ± 0,00	14,31 ± 0,25	51,92 ± 0,13	1,76 ± 0,10
S3	87,57 ± 0,00	11,04 ± 0,20	87,72 ± 0,105	1,37 ± 0,04
S4	43,78 ± 0,00	10,82 ± 0,23	32,15 ± 0,01	0,84 ± 0,01
S5	32,84 ± 0,00	8,44 ± 0,25	22,29 ± 0,01	1,41 ± 0,16
S6	54,73 ± 0,00	9,62 ± 0,26	27,45 ± 0,08	1,01 ± 0,03
S7	54,73 ± 0,00	3,26 ± 0,12	36,18 ± 0,09	0,95 ± 0,01
S8	32,84 ± 0,00	14,96 ± 0,19	31,03 ± 0,01	1,91 ± 0,07

**Tabla 27.** Clasificación de los suelos en base al porcentaje de carbonato total y su reacción con HCl (10%) (n=3).

	% CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Clasificación	Reacción con HCl
P1	10,35 ± 0,14	Moderadamente calcáreo	Efervescencia visible
P2	12,58 ± 0,07	Fuertemente calcáreo	Efervescencia fuertemente visible. Las burbujas forman poca espuma.
P3	11,63 ± 0,08	Fuertemente calcáreo	Efervescencia fuertemente visible. Las burbujas forman poca espuma.
P4	12,62 ± 0,13	Fuertemente calcáreo	Efervescencia fuertemente visible. Las burbujas forman poca espuma.
P5	9,39 ± 0,13	Moderadamente calcáreo	Efervescencia visible
P6	16,41 ± 0,09	Fuertemente calcáreo	Efervescencia fuertemente visible. Las burbujas forman poca espuma.
P7	5,73 ± 0,15	Moderadamente calcáreo	Efervescencia visible
P8	8,52 ± 0,10	Moderadamente calcáreo	Efervescencia visible
S1	9,61 ± 0,25	Moderadamente calcáreo	Efervescencia visible
S2	14,31 ± 0,25	Fuertemente calcáreo	Efervescencia fuertemente visible. Las burbujas forman poca espuma.
S3	11,04 ± 0,20	Fuertemente calcáreo	Efervescencia fuertemente visible. Las burbujas forman poca espuma.
S4	10,82 ± 0,23	Moderadamente calcáreo	Efervescencia visible
S5	8,44 ± 0,25	Moderadamente calcáreo	Efervescencia visible
S6	9,62 ± 0,26	Moderadamente calcáreo	Efervescencia visible
S7	3,26 ± 0,12	Moderadamente calcáreo	Efervescencia visible
S8	14,96 ± 0,19	Fuertemente calcáreo	Efervescencia fuertemente visible. Las burbujas forman poca espuma.

A continuación se presenta las gráficas de calibración para los estándares de sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) (Figura 26) y fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) (Figura 27).

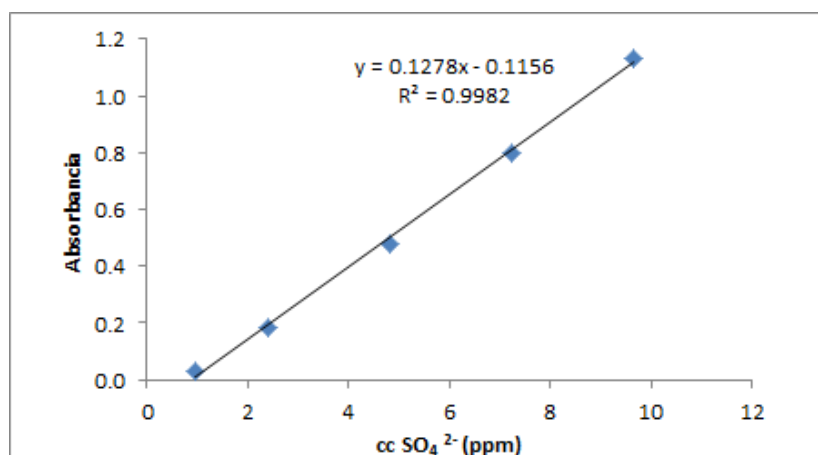


Figura 26. Curva de calibración para  $\text{SO}_4^{2-}$ .

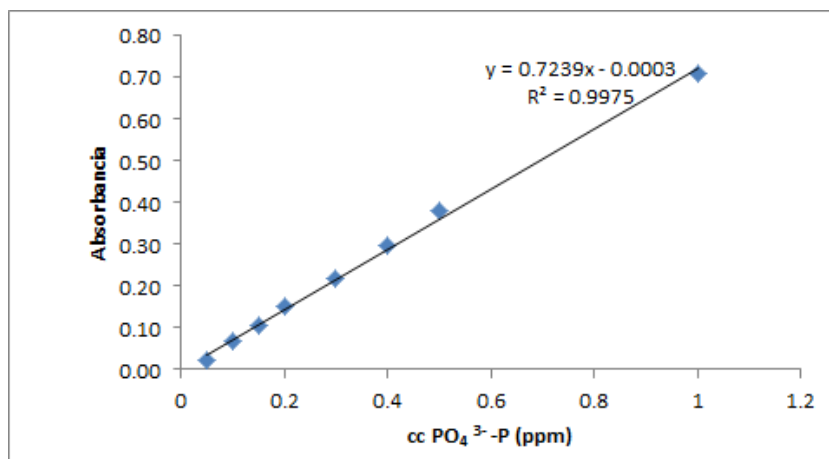


Figura 27. Curva de calibración para P- $\text{PO}_4^{3-}$ .

### 3.9 Análisis químicos en muestras de agua

En la Tabla 28 se presentan los valores de los parámetros medidos in situ y en laboratorio a las muestras de agua de la Bocatoma y de la desembocadura del río Jequetepeque. Los análisis se hicieron por triplicado (n=3).

**Tabla 28.** Análisis químicos medidos a las muestras de agua; A01: bocatoma y A02: desembocadura

Parámetros	Unidades	Muestras de agua	
		A01 Bocatoma	A02 Desembocadura
<b>in situ</b>			
pH	----	7,57 ± 1,00	7,91 ± 0,11
Conductividad	dS/m	0,71 ± 0,01	0,81 ± 0,03
<b>en laboratorio</b>			
pH	----	8,15 ± 0,02	7,59 ± 0,03
Conductividad	dS/m	0,70 ± 0,01	0,78 ± 0,02
cationes solubles			
Na <sup>+</sup>	mg/L	14,53 ± 0,00	73,47 ± 0,00
K <sup>+</sup>	mg/L	0,00	0,00
Ca <sup>2+</sup>	mg/L	59,60 ± 0,52	51,27 ± 0,10
Mg <sup>2+</sup>	mg/L	9,30 ± 0,02	17,36 ± 0,06
SAR	----	0,462	2,261
Aniones			
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	mg/L	0	0
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/L	139,94 ± 0,01	49,66 ± 0,01
Cl <sup>-</sup>	mg/L	26,27	126,97

### **3.10 Correlación entre parámetros de suelo**

El coeficiente de correlación de Pearson es un índice que mide el grado de covariación entre distintas variables relacionadas linealmente; es de fácil ejecución e interpretación. La magnitud de la relación viene especificada por el valor numérico del coeficiente, reflejando el signo la dirección de tal valor, es decir, tan fuerte es una relación de +1 (perfectamente positiva) como de -1 (perfectamente negativa).

Se determinan los diferentes coeficientes de Pearson para los parámetros analizados. La Tabla 29 presenta los valores.

**Tabla 29.** Tabla de correlación entre los parámetros analizados en los suelos de la cuenca baja del río Jequetepeque

	pH	CE <sub>SE</sub>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	CIC	%C	%N	Cl <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	M.O.	%arcilla	%limo	%arena	
pH	1.000																					
CE <sub>SE</sub>	0.144	1.000																				
Na <sup>+</sup>	-0.227	0.005	1.000																			
K <sup>+</sup>	0.299	0.290	-0.240	1.000																		
Ca <sup>2+</sup>	-0.406	-0.180	0.571	-0.321	1.000																	
Mg <sup>2+</sup>	-0.424	-0.110	<b>0.771</b>	0.103	<b>0.644</b>	1.000																
Na <sup>+</sup>	-0.244	-0.061	0.499	-0.124	0.401	0.423	1.000															
K <sup>+</sup>	0.065	-0.104	0.441	0.163	0.458	0.103	0.555	1.000														
Ca <sup>2+</sup>	-0.284	-0.022	0.546	0.050	<b>0.729</b>	0.346	0.412	0.647	1.000													
Mg <sup>2+</sup>	-0.103	-0.359	<b>0.621</b>	-0.236	0.342	<b>0.643</b>	0.423	0.361	0.395	1.000												
CIC	0.079	0.107	0.216	0.434	0.278	-0.225	0.264	<b>0.700</b>	<b>0.595</b>	-0.022	1.000											
%C	-0.010	-0.044	0.409	0.010	0.550	0.348	<b>0.708</b>	<b>0.590</b>	0.531	0.347	0.465	1.000										
%N	0.089	0.019	-0.200	<b>0.727</b>	-0.359	-0.308	0.062	0.119	-0.123	-0.220	0.323	0.029	1.000									
Cl <sup>-</sup>	-0.107	-0.107	<b>0.578</b>	-0.271	0.155	0.453	0.354	0.037	-0.002	0.437	-0.156	0.059	-0.199	1.000								
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	0.178	-0.019	0.302	0.346	0.225	0.129	0.123	0.407	0.438	0.511	0.502	0.509	0.158	-0.031	1.000							
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	-0.317	0.182	<b>0.598</b>	-0.155	0.520	<b>0.586</b>	0.245	-0.042	0.131	0.014	-0.014	0.263	-0.113	0.544	0.018	1.000						
P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0.193	0.135	0.150	0.463	0.179	0.041	-0.229	0.220	0.309	0.267	0.350	0.144	0.121	-0.143	0.014	1.000						
M.O.	-0.267	-0.184	0.402	-0.185	<b>0.700</b>	0.459	0.647	0.395	<b>0.683</b>	0.365	0.175	<b>0.767</b>	-0.134	-0.023	0.323	0.225	0.099	1.000				
%arcilla	0.036	-0.099	0.237	-0.062	0.454	0.067	0.409	0.516	<b>0.739</b>	0.297	<b>0.516</b>	<b>0.683</b>	-0.128	-0.228	-0.155	0.243	<b>0.763</b>	1.000				
%limo	0.036	0.422	0.308	0.449	0.368	-0.017	0.353	<b>0.530</b>	<b>0.614</b>	-0.068	<b>0.771</b>	<b>0.652</b>	0.211	0.211	0.494	0.344	0.322	0.377	<b>0.518</b>	1.000		
%arena	-0.039	-0.290	-0.326	-0.322	-0.430	-0.011	-0.409	-0.572	-0.726	-0.049	-0.770	-0.741	-0.121	0.060	-0.576	-0.218	-0.331	-0.555	-0.747	-0.954	1.000	

## 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 4.1 Textura

La textura de las muestras corresponde a suelos francos, en general, idóneos para la práctica de la agricultura.

La composición, muestra una preponderancia de arena en las zonas localizadas en la margen izquierda del río Jequetepeque, (P5:53,55%; P6:56,49%; P7:78,53% y P8:59,72%) en las muestras correspondientes a la primera salida de campo, a excepción del punto P1 se encuentra en la margen izquierda del río pero tiene de porcentajes similares de limo y arena. Las zonas P2, P3 y P4 ubicadas en la margen derecha, por el contrario, presentan un alto porcentaje de limo (55,56%; 62,69% y 62,01% respectivamente). Ver Figura 28. En los resultados para la segunda salida al campo se observó terrenos francos para los primeros suelos muestreados S1, S2, S3 y S4, que corresponden a las muestras tomadas de la margen derecha del río. Existe diferencia con la composición de las texturas de las muestras de los suelos ubicados sobre la margen izquierda del río (S5, S6, S7 y S8), en donde los porcentajes de arena son mucho mayores (48%, 54%, 90,13% y 55,63% respectivamente). Sobresale el punto S7, con un gran porcentaje de arena. Ver Figura 28.

La contribución de material acarreado por el río Chamán en los periodos de inundaciones esporádicas<sup>[28]</sup> favorece el mayor porcentaje de arcilla y de limo encontrado en los puntos de muestreo sobre la margen derecha del río Jequetepeque.

El estudio realizado por Jahnsen (2013) en la cuenca baja del río Jequetepeque también muestra un mayor porcentaje de arena en los suelos sobre la margen izquierda, mientras que los de la margen derecha poseen un mayor porcentaje de arcilla.<sup>[26]</sup>

Los suelos que contienen altas cantidades de arcilla, también contienen cantidades apreciables de agua no disponible para las plantas; en cambio, el agua en los suelos franco limosos puede ser absorbida por las plantas en mucha mayor medida<sup>[16]</sup>. Por lo tanto los suelos muestreados permiten un abastecimiento satisfactorio del recurso hídrico.

En cuanto a los valores de CIC, los valores más altos los presentan las muestras tomadas en la margen derecha del río, correspondiente a suelos francos con porcentajes de arcilla de más del 30%. Los valores más bajos hallados para el CIC se observan para los suelos de los puntos de muestreo con menor porcentaje de arcilla, como lo son los que se encuentran en la margen izquierda del río (P1, P5, P6, P7, P8 Y S5, S6, S7 y S8).



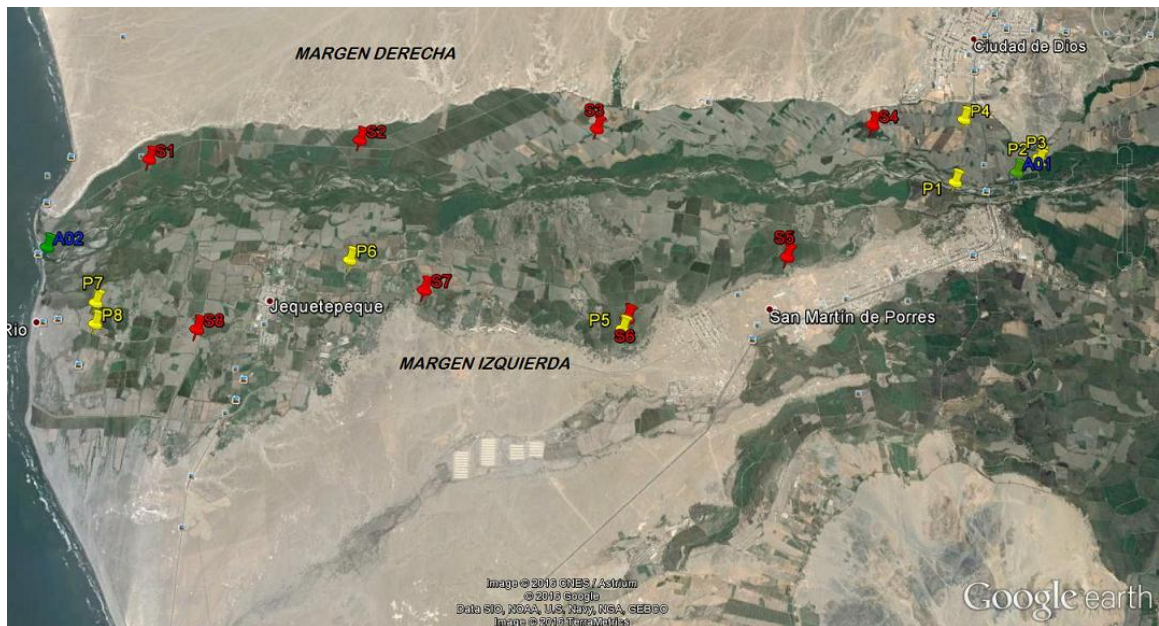
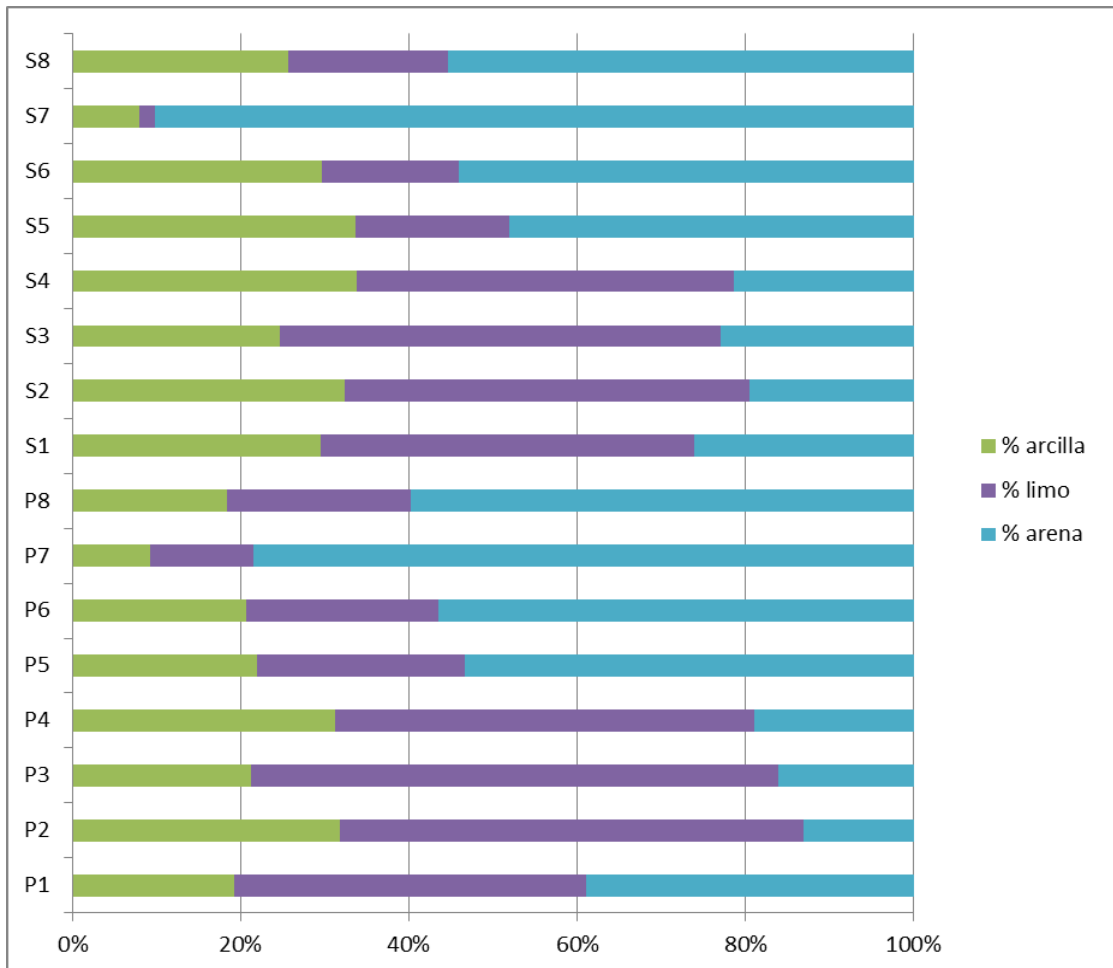


Figura 28. Gráfico de barras de porcentajes de fracciones finas de los suelos del primer muestreo (febrero 2012) y segundo muestreo (agosto 2013) y la ubicación de los puntos de muestreo en el mapa.

## 4.2 Densidad aparente

El análisis solo se pudo realizar en el muestreo de la segunda salida a campo (agosto 2013) debido al estado de inundación en que se encontraban los suelos en la primera salida (febrero 2012). Los valores hallados para la densidad aparente para casi todos los terrenos fue similar (valor promedio  $X=1,25$ ) menor que el valor límite ( $< 1,40 \text{ g/cm}^3$ ) de la densidad aparente ideal para el crecimiento de las plantas. La muestra S3, por el contrario, tiene un valor de densidad aparente de  $1,46 \text{ g/cm}^3$ , ligeramente mayor a este límite, lo que indica una menor porosidad de los suelos debido posiblemente a compactación, aunque según la relación de valores de densidad aparente y la textura del suelo (Tabla 30) de la USDA, no llega a afectar el crecimiento de las raíces.

**Tabla 30.** Relación entre la densidad aparente con el crecimiento de raíces, basado en la textura del suelo (USDA-NRCS).<sup>[52]</sup>

Textura	Densidad aparente ideal para crecimiento de plantas ( $\text{g/cm}^3$ )	Densidad aparente que afecta al crecimiento de la raíz ( $\text{g/cm}^3$ )
Arenoso, franco arenoso	$< 1,60$	1,69
areno francoso, franco	$< 1,40$	1,63
areno arcillo francoso, arcillo francoso	$< 1,40$	1,60
limoso, limo francoso	$< 1,40$	1,60
limo francoso, limo arcillo francoso	$< 1,40$	1,55
areno arcilloso, limo arcilloso, arcillo francoso	$< 1,10$	1,49
arcilla ( $> 45\%$ arcilla)	$< 1,10$	1,39

El porcentaje de espacio por poros de las distintas muestras de suelos son valores alrededor del 50%, indicando que existe aireación necesaria para el crecimiento de raíces, y el desarrollo de microorganismos en la superficie del suelo que influirá positivamente en la productividad del suelo.<sup>[52]</sup> Sin embargo, todas las muestras con excepción de S3 tienen menos de un 20% de estos poros llenos de agua; lo que afectaría la mineralización del nitrógeno ya que la amonificación y la nitrificación se ven favorecidas con un porcentaje de humedad entre 60-80% en los poros.

### **4.3 Capacidad de intercambio de cationes**

Para las muestras del primer muestreo (febrero 2012) los valores de CIC para P1, P2, P3 y P4 se encuentran entre 10,05 - 14,25 cmol/kg correspondientes a suelos francos, mientras que para las muestras P5, P6, P7 y P8, todas en la margen izquierda del río y que tienen altos porcentajes de arena (mayor a 50%), los valores del CIC disminuyen hasta valores en el rango de 4,63 y 7,44 cmol/kg correspondientes a suelos arenosos.

Las muestras P2 y P3 son muestras tomadas en la margen derecha del río, del otro lado del puente La Libertad, cerca de la Bocatoma y junto con P4 tienen altos porcentajes de arcilla en su composición.

Los valores más altos del CIC hallados guardan relación con las altas concentraciones para cationes de intercambio en especial para el catión  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ .

Con respecto a las muestras del periodo agosto 2013: S1, S2, S3 y S4 en la margen derecha del río, presentan valores de CIC entre 10 y 16,5 cmol/kg correspondientes a suelos francos y franco limosos, con contenidos de arcilla de alrededor del 30%. Por otro lado las muestras obtenidas en la margen izquierda del río: S5, S6, S7 y S8 tienen un porcentaje de arena entre 48 y 55,63%, lo que influye en los valores bajos del CIC (4,82 -7,26 cmol/kg) pertenecientes a suelos arenosos. En este grupo la muestra S7 es la de menor contenido de arcilla (7,91%), y la de menor valor de CIC: 3,63 cmol<sup>+</sup>/kg.

### **4.4 Materia orgánica**

La diferencia entre los valores de la M.O. hallada por el método de calcinamiento a 440°C en el primer y segundo muestreos presentan una variación de aprox. 1%, los mayores valores se encuentran en el muestreo en suelos en espera de ser preparados (agosto 2013). En cuanto a los valores del carbono inorgánico, los valores en el primer y segundo muestreo fueron similares.

Los valores obtenidos por calcinamiento pueden estar sobrestimados debido a que fracciones inorgánicas podrían perderse durante la ignición<sup>[13]</sup>, eso explicaría los valores de M.O. obtenidos por calcinamiento del suelo a 440°C, mucho menores que los valores obtenidos de la conversión del %C obtenidos por el método Dumas con el equipo LECO® por el factor de conversión. Pero la clasificación de suelos es semejante, es decir, los tipos de suelos de clasificación media tienen una clasificación moderada en la determinación de M.O. a partir del %C. Esto no se cumple para las muestras: P1, P2, P3 y P4. La mayor diferencia es para la muestra S2; que de una clasificación suelo medio (en M.O.) por calcinación, presenta una de muy alto con el método Dumas.

Se debe tener en cuenta el método de determinación de la M.O. para poder comparar los resultados y dar una clasificación lo más cercana a la realidad de los suelos muestreados. El factor empleado para la conversión del %C a %M.O. fue de 1,72 pero hay estudios que consideran que este factor se encuentra en un rango de 1,72 – 2,0. <sup>[17]</sup>

Los valores obtenidos son altos contrarios a lo que se podría esperar de suelos en una zona árida, pero también debe tenerse en cuenta que las muestras contenían gran cantidad de raicillas y otros restos de plantas y que en el análisis no se han empleado estándares de suelos para verificar la exactitud de las mediciones. Sin embargo, explica la buena porosidad de los suelos lo que confiere una buena estructura para el desarrollo de las plantas.

#### **4.5 Relación C/N**

Los resultados de la relación C/N en el primer muestreo (febrero 2012), cuando los suelos se encontraban anegados, presentan valores por debajo de la relación 20:1 (P1: 12,07, P3: 13,03; P4:14,35; P6:11,40) que indica liberación de N mineral como  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  por parte de los microorganismos heterótrofos.

También se observan valores menores a la relación 10:1 (como: P5:9,49 y P7:8,36). Con estos valores, se puede considerar que todo el residuo vegetal ha sido descompuesto y ha pasado a formar parte de los microorganismos. En el caso de los puntos de muestreo P2:26,22 y P8:29,47 que dan valores mayores que 20:1 y menores que 30:1 para la relación C/N se considera que no hay inmovilización de N ni liberación del mismo mediante la mineralización, de decir no hay producción de  $\text{NH}_4^+$  ni de  $\text{NO}_3^-$ .

En cuanto a los valores para las muestras del segundo muestreo (agosto 2013), solo el punto S6:19,10 se encuentran dentro del rango que permite que el nitrógeno sea liberado en el proceso de descomposición al suelo. Los valores de los puntos S1, S2, S3, S4 y S8 muestran valores de relación C/N mayores que la relación 30:1. Esto indica que el nitrógeno ha sido inmovilizado ( $\text{N}_{\text{inorg}}$  a  $\text{N}_{\text{org}}$ ) durante el proceso de descomposición inicial, es decir, que el N no podrá ser aprovechado por las plantas, pero que posteriormente será liberado ( $\text{N}_{\text{org}}$  a  $\text{N}_{\text{inorg}}$ ) (Figura 6).

#### **4.6 pH y conductividad eléctrica**

Los valores para el pH muestran el carácter medianamente básico y básico para los suelos en ambas márgenes del río y en diferentes etapas: una en estado de inundación (febrero 2013), y el siguiente antes de ser preparado para el cultivo (agosto 2013). Según la literatura los suelos medianamente básicos contienen carbonato de calcio

(CaCO<sub>3</sub>) (ver Tabla 3), además, se esperaría la disminución de la disponibilidad de P y B, y siendo el P-PO<sub>4</sub><sup>2-</sup> un macronutriente esencial de gran demanda en el periodo de crecimiento de las plantas se hace necesaria su administración por medio de la fertilización del suelo. Como efecto benéfico del carácter básico de los suelos sería la baja probabilidad de la presencia de cationes Al y Mn, elementos tóxicos en el crecimiento de las plantas.

Según la clasificación de la FAO <sup>[47]</sup> de los suelos analizados en febrero 2012, solo dos de ellos se consideran ligeramente salinos: P1 y P6. Los suelos del otro lado del puente La Libertad: P2 y P3 son clasificados como muy fuertemente salinos, con valores de CE mucho mayores que P7 y P8 clasificados como fuertemente salinos debido probablemente a su cercanía al mar.

En el caso de las muestras de agosto 2013 solo dos S4 y S5 se clasificaron como ligeramente salinas, mientras que las muestras: S1, S2, S6, S8 mostraron moderada salinidad, y solo S3 y S7 fueron clasificadas como fuertemente salinas sin llegar a valores tan altos como P2 y P3. Las muestras de esta segunda salida al campo pertenecen a ambas márgenes del río y los resultados no se relacionan con una ubicación geográfica con respecto al río Jequetepeque.

Los resultados concuerdan con la formación de costras sobre la superficie del suelo así como con la presencia de afloraciones salinas en algunos casos.

#### **4.7 Cationes solubles**

Las mediciones se realizaron en extractos acuosos para la relación suelo: agua de 1:2,5. Los valores para el catión potasio (K<sup>+</sup>) fueron muy pequeñas en ocasiones no cuantificables por el equipo. Contrariamente, los valores obtenidos en general para el catión calcio (Ca<sup>2+</sup>) en ambas temporadas de muestreo (febrero 2012 y agosto 2013), fueron los de más alta concentración, lo cual era de esperar debido al porcentaje de carbonato hallado en el análisis de este anión.

En las muestras realizadas en febrero 2012, las concentraciones del catión sodio para la mayoría de los puntos de muestreo, con excepción de P1:38,33 mg Na<sup>+</sup>/kg; y P4:35,17 mg Na<sup>+</sup>/kg, fueron comparables con los valores para el catión soluble calcio. El punto P5 tiene los valores más altos para todos los cationes solubles (98,29 mg Na<sup>+</sup>/kg y 100,01 mg Ca<sup>2+</sup>/kg) con excepción del potasio (P5: 2,14 mg K<sup>+</sup>/kg). Cabe mencionar, que P5, P6, P7 y P8 tienen un porcentaje de arena de más del 50%. Los valores de las concentraciones de magnesio (Mg<sup>2+</sup>) son más parejas para los cuatro primeros puntos de muestreo (P1:9,16 mg Mg<sup>2+</sup>/kg, P2:9,53 mg Mg<sup>2+</sup>/kg, P3:9,48 mg

Mg<sup>2+</sup>/kg y P4: 9,00 mg Mg<sup>2+</sup>/kg) cerca al puente La Libertad, elevando su valor en los puntos P5, P7 y P8 en la margen izquierda del río.

Las concentraciones de los cationes solubles para el segundo muestreo agosto 2013, tienen valores mayores que para los puntos de muestreo realizados en febrero 2012 de casi todos los iones con excepción del potasio (K<sup>+</sup>), que en muchos de los puntos de muestreo (S2, S3, S4, S5, S7 y S8) la concentración fue menor que el límite de detección del equipo utilizado para el análisis. Las concentraciones de Ca<sup>2+</sup> fueron las más altas en los puntos S1:172,87 mg Ca<sup>2+</sup>/kg; S2:133,73 mg Ca<sup>2+</sup>/kg; S3: 209,08 mg Ca<sup>2+</sup>/kg y S8: 134,27 mg Ca<sup>2+</sup>/kg; igualmente las concentraciones de Na<sup>+</sup> fueron altas en estos puntos (S1: 88,19 mg Na<sup>+</sup>/kg; S2: 181,99 mg Na<sup>+</sup>/kg S3: 176,44 mg Na<sup>+</sup>/kg). Los puntos más cercanos a la desembocadura: S7 y S8, a pesar de ser clasificados por su CE<sub>SE</sub> como fuertemente y medianamente salino, no mostraron valores mayores en las concentraciones de los cationes que los otros puntos del muestreo de agosto 2013. En los puntos S2: 181,99 mg Na<sup>+</sup>/kg y S6: 107,92 mg Na<sup>+</sup>/kg; las concentraciones de Na<sup>+</sup> fueron incluso más altas que las del Ca<sup>2+</sup> en dichos puntos.

El valor del SAR se realizó pero se trató de un extracto suelo: agua de 1:2,5; y no de un extracto de pasta saturada ni de una solución suelo: agua 1:1 por lo que no pudo ser comparado con la data de tablas.

En el análisis de las muestras de agua en agosto 2013, no se detectó K<sup>+</sup> en ninguno de los dos puntos de muestreo, pero si una concentración similar para el Ca<sup>2+</sup> tanto en la bocatoma como en la desembocadura; mientras que para el Mg<sup>2+</sup> hay un ligero aumento a medida nos acercamos al mar. Para el Na<sup>+</sup> si se obtiene un valor mucho mayor en la concentración cuando se trata de la muestra en la desembocadura A02: 73,47 mg Na<sup>+</sup>/L versus la concentración en la bocatoma A01: 14,53 mg Na<sup>+</sup>/L.

#### **4.8 Cationes de intercambio**

Se obtienen valores más altos de concentraciones de cationes de intercambio con respecto a los valores obtenidos para los cationes solubles. La concentración de iones Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> y aún el ión K<sup>+</sup>, ven multiplicados los valores de sus concentraciones hasta en un factor de 10; lo que demuestra la capacidad de “almacenamiento” de cationes de las partículas que conforman el suelo, a pesar de tratarse de un suelo con bajo porcentaje de arcilla y por tanto bajo CIC. Llama la atención la concentración de hasta más de 1g de Ca<sup>2+</sup> por kilogramo de muestra para todas las muestras excepto las de alto contenido de arena. Similar situación ocurre con la concentración del ión K<sup>+</sup> intercambiable; que en casi todas las muestras es más de 10 veces la concentración del ión soluble, excepto en suelos con el más alto porcentaje de arena (P7: 32,90 mg K<sup>+</sup>/kg,

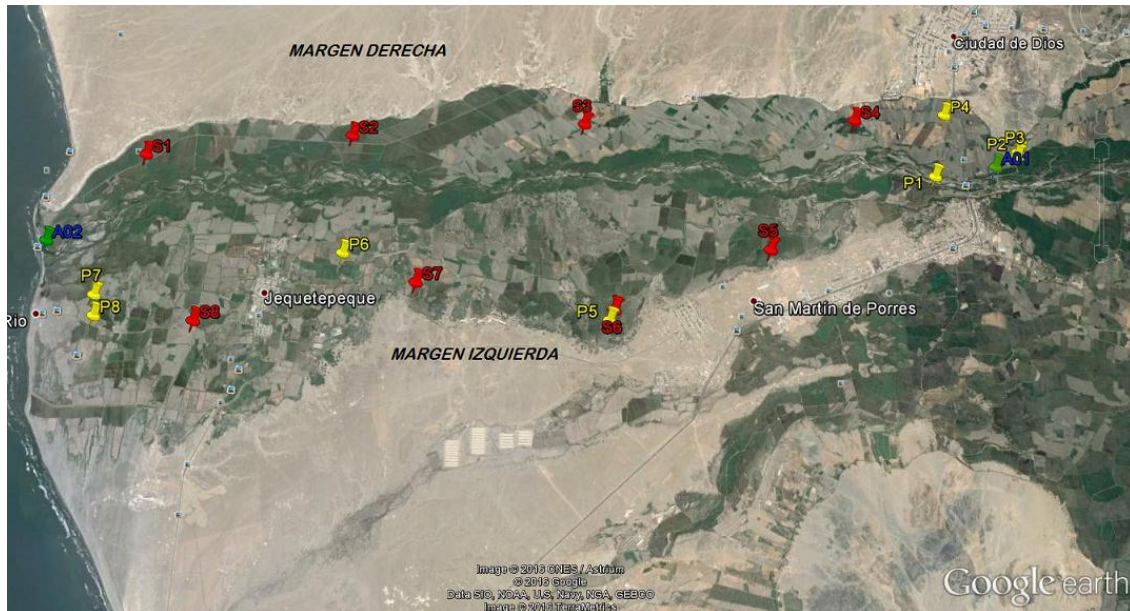
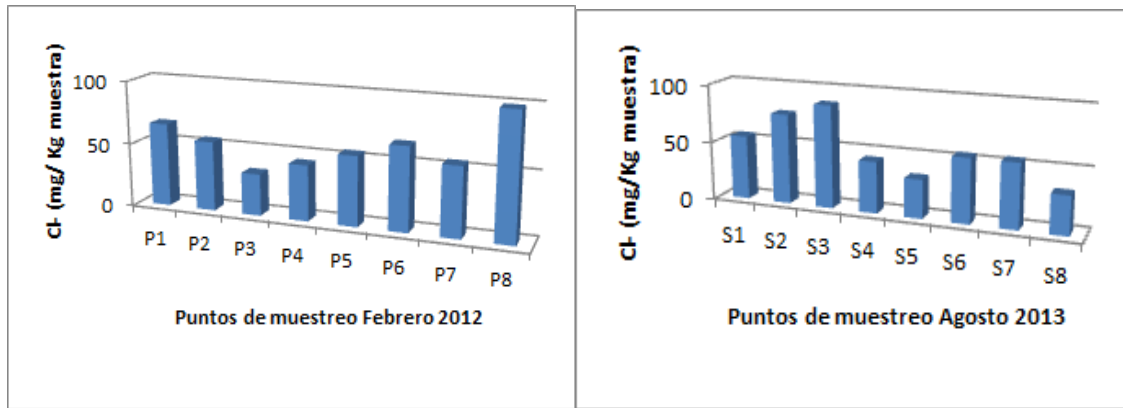
P8: 49,69 mg K<sup>+</sup>/kg y S7: 25,63 mg K<sup>+</sup>/kg), aunque en general las concentraciones de los iones intercambiables fueron mucho menores en suelos con alto contenido de arena.

Se calculó el porcentaje de sodio intercambiable (ESP) y los valores obtenidos no demuestran que el suelo tenga problemas de sodificación. La única muestra que tuvo un valor cercano al valor límite (>15%) para suelos sódicos fue el S6: 12,14% (muestra de agosto 2013), que además presentaba una formación de sal blanca en su superficie.

#### **4.9 Cloruros**

Las concentraciones de cloruro en las muestras de la primera salida al campo están dentro del rango de 32,84 mg/kg (P3) y 65,68 mg/kg (P6), siendo el más alto valor de la muestra P8: 98,52 mg/L muy cercana al mar. Las muestras del agua de la desembocadura (A02) indica el enriquecimiento del agua de este anión, lo que concuerda con la mención que hizo el dueño del terreno (“terrenos salitrosos”). Ver Figura 29.

Los valores de cloruros para la segunda salida al campo pertenecen a un rango de valores similar al de la primera salida (febrero 2012); desde 32,84 mg/kg (S5) hasta 87,57 mg/kg (S3). Los puntos S2: 76,62 mg Cl<sup>-</sup>/kg y S3: 87,57 mg Cl<sup>-</sup>/kg; a pesar de no estar ubicados cerca a la desembocadura tuvieron los valores más altos en este segundo muestreo. Ver Figura 29. La zona de análisis se ve por igual influenciada por este anión a ambas márgenes del río y en diferentes períodos del cultivo.



**Figura 29.** Gráficos de barras comparativas de las concentraciones de Cl<sup>-</sup> para las muestras así como el mapa de la zona en estudio con los puntos de muestreo para las dos fechas de toma de muestras (color amarillo: febrero 2012, color rojo: agosto 2012).

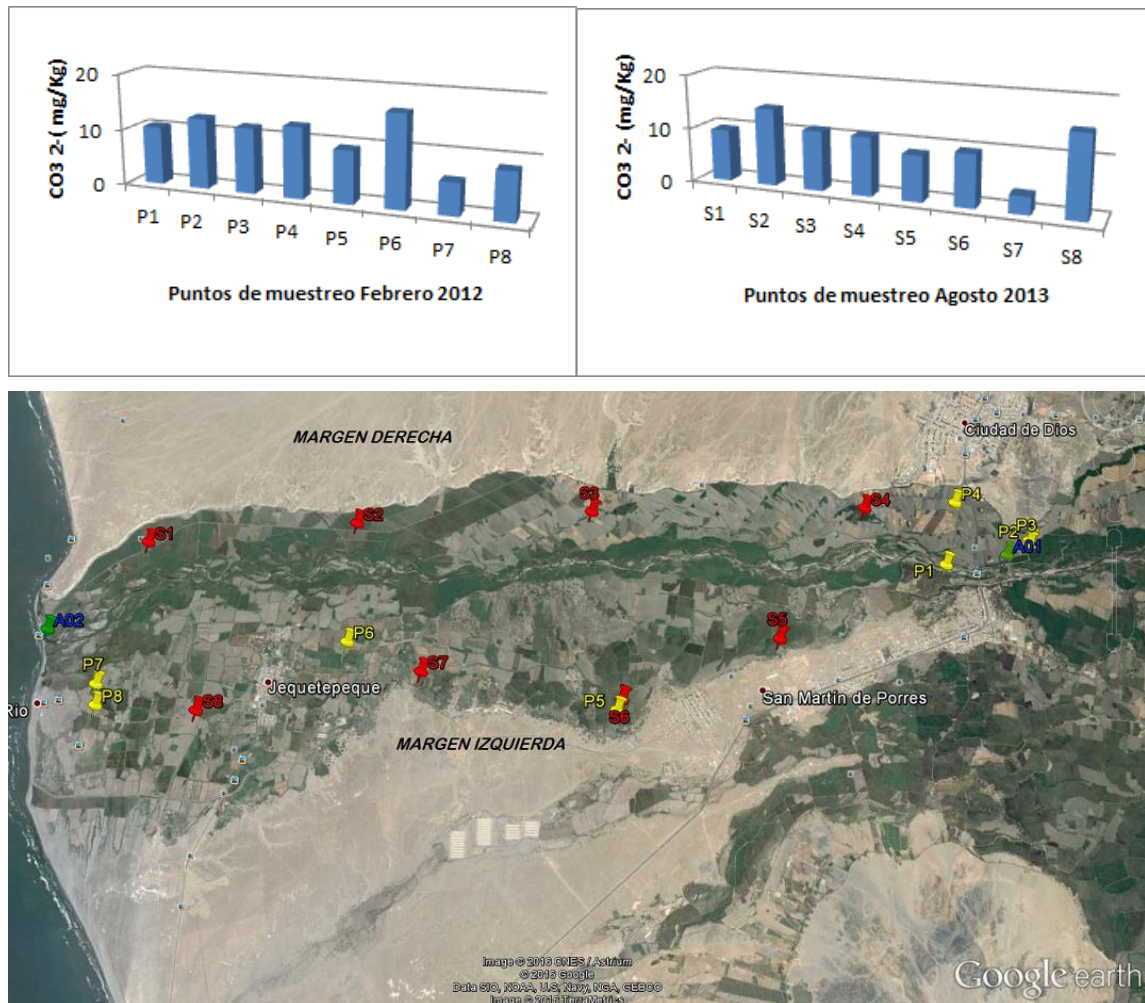
#### 4.10 Carbonatos

Se realiza la determinación del porcentaje de carbonato total, mas no del carbonato activo. La totalidad de las muestras reaccionaron al ataque con el ácido HCl al 10%, de manera inmediata y con burbujeo.

Los valores de carbonatos se dan en porcentajes y los de menor porcentaje se dan para los puntos: P7:5,73% y S7:3,26% e indican suelos moderadamente calcáreos. Contienen los mayores porcentajes de arena y mínimos porcentajes de arcilla en su composición. Las muestras de suelos con mayor porcentaje de carbonatos son: P6:16,41%, S2:14,31% y S8:14,96%; y según la clasificación de la FAO de acuerdo al porcentaje de carbonatos estos suelos son fuertemente calcáreos. Ver Tabla 26.



En suelos áridos y semi-áridos se pueden observar horizontes endurecidos con altas concentraciones de Ca y posibles precipitaciones de yeso.<sup>[48]</sup> Lo que explicaría la superficie blanquecina y dura de los suelos muestreados.



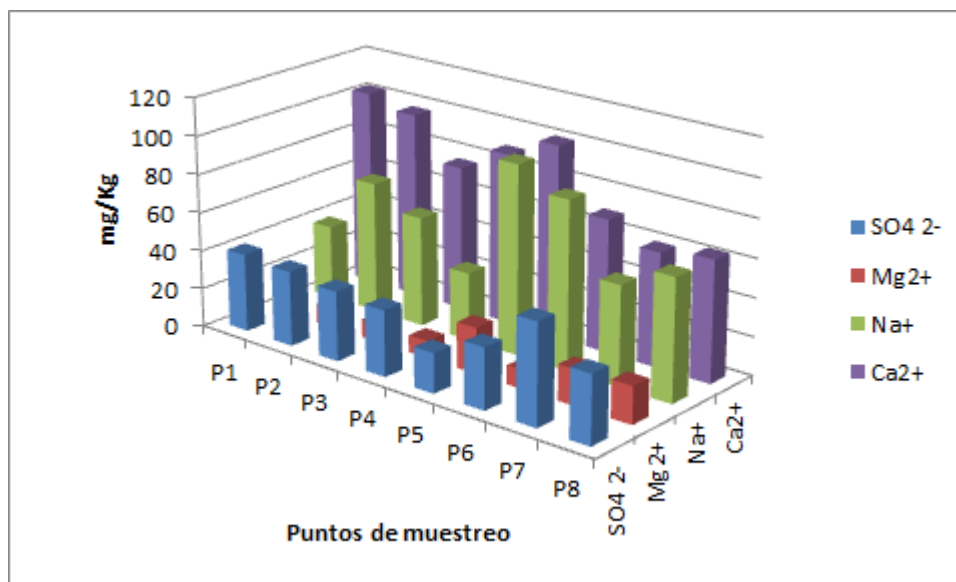
**Figura 30.** Gráficos de barras comparativos de los porcentajes de  $\text{CO}_3^{2-}$  (%) para las muestras así como el mapa de la zona en estudio con los puntos de muestreo para las dos fechas de toma de muestras. (color amarillo: febrero 2012, color rojo: agosto 2012).

#### 4.11 Sulfatos

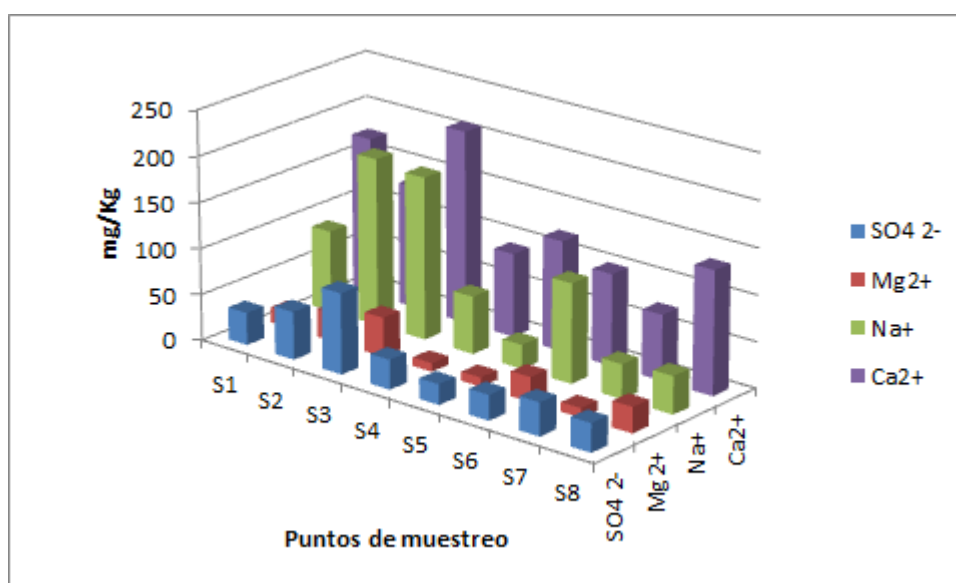
Los valores de sulfatos se expresan en  $\text{mg SO}_4^{2-}/\text{kg}$  de muestra y los valores más bajos se encuentran en los puntos P5 (20,73  $\text{mg}/\text{kg}$ ) y S5 (22,29  $\text{mg}/\text{kg}$ ). Los mayores valores se presentan en los puntos P7 (casi en la desembocadura) con 52,55  $\text{mg}/\text{kg}$  a pesar de tratarse de un terreno en gran porcentaje arenoso con baja concentración de cationes, pero mostrando por los valores de conductividad, una clasificación de fuertemente salino. Por otro lado, el punto S3 también contiene uno de los valores altos dentro de las muestras 87,72  $\text{mg}/\text{kg}$ , y con una clasificación debido a su CE de fuertemente salino; a pesar de no encontrarse tan cerca a la desembocadura como en

el caso anterior. Los valores de los cationes  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Na}^+$  solubles son los más altos en la tabla para este punto.

Los siguientes gráficos presentan la concentración del ión sulfato así como de los cationes  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  solubles, para apreciar la disponibilidad en el suelo de los iones y su posible asociación en la forma de sales como consecuencia de las condiciones ambientales (temperatura, humedad, evaporación, etc). No se consideró el catión  $\text{K}^+$  soluble debido a su mínima concentración.



**Figura 31.** Gráfica de las concentraciones del anión  $\text{SO}_4^{2-}$  comparada con la de los diferentes cationes solubles ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) presentes en el suelo, para la primera toma de muestra en Febrero 2012.



**Figura 32.** Gráfica de las concentraciones del anión  $\text{SO}_4^{2-}$  comparada con la de los diferentes cationes solubles ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) presentes en el suelo, para las muestras tomadas en Agosto 2013.

La concentración de los cationes solubles  $\text{Na}^+$  y  $\text{Ca}^{2+}$  es notable y mucho mayor que la del anión sulfato. En estación seca: alta temperatura y poca humedad podría generar la formación de las respectivas sales.

La concentración de sulfatos en aguas provenientes de la bocatoma (A01: 139,94 mg  $\text{SO}_4^{2-}/\text{L}$ ) (tomada en Agosto 2013) muestran valores de casi tres veces el valor promedio de  $\text{SO}_4^{2-}$  en las muestras de suelos tomadas en ambos periodos, y las concentraciones de sulfatos en aguas del río en la desembocadura (A02: 49,66 mg  $\text{SO}_4^{2-}/\text{L}$ ) muestran una gran baja de la concentración de este anión.

#### **4.12 Fosfatos**

Los valores del fósforo como fosfato son mucho más homogéneos en ambos muestreos, para el realizado en febrero de 2012 el rango se encuentra entre 0.89 mg/kg para P7 (cerca de la desembocadura) y el mayor valor para el punto P6 con 2,05 mg/kg. Este valor corresponde tal vez a la presencia de un poblado cercano en donde tenían ganado cerca de la zona de muestreo. Los menores valores se presentan para los suelos con mayor porcentaje de arena (P7:0.89 mg/kg y P8: 0,98 mg/kg) y con menor porcentaje de arcilla.

En el segundo muestreo los menores valores corresponden a los puntos S4:0,84 mg/kg cerca a la bocatoma y S7:0,95 mg/kg este último con gran porcentaje de arena en su composición. El valor ligeramente más alto lo presenta S8:1,91 mg/kg un punto cercano a la desembocadura. Existen dos posibles fenómenos a realizarse:

El valor del pH (alcalino), y la alta concentración de cationes  $\text{Ca}^{2+}$  indican la tendencia de la formación de compuestos de la especie  $\text{HPO}_4^{2-}$  con iones calcio formando fosfato ácido de calcio, inmovilizando al anión.

La textura media no alta en porcentaje de arcilla, no asegura la retención del anión fosfato en el suelo y las constantes inundaciones en los cultivos de arroz podrían causar el lavado del anión.

#### **4.13 Muestras de agua**

El valor del pH de la muestra de agua de la Bocatoma (pH 8,15) dio una clasificación de básico y para la muestra de la Desembocadura presentó un valor medianamente básico (pH 7,59). Estos valores sumados a los valores de la conductividad eléctrica de la Bocatoma (CE: 0,70 dS/m), y de la Desembocadura (CE: 0,78 dS/m), indican que de ser utilizadas como agua de riego existe un riesgo de ligero a moderado de causar salinización, sodificación y hasta toxicidad para los cultivos según valores establecidos

por USDA (1971) (Tabla 5). El agua de la Bocatoma no solo disminuiría la disponibilidad de P y B en los suelos sino que causaría una deficiencia de micronutrientes necesarios para las plantas como: Co, Cu, Fe, Mn y Zn <sup>[10]</sup>.

Además, los análisis de aguas muestran una concentración sobresaliente de sulfatos (139,94 mg SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/kg) del agua de la bocatoma (A01), mientras que la muestra del agua de la desembocadura (A02) es alta en cloruros (126,97 mg Cl<sup>-</sup>/kg), como era de esperar debido a la proximidad al mar. Los carbonatos, sin embargo, no fueron detectados en ninguna de las dos muestras, por lo que la riqueza del suelo en este anión encontrada en los análisis de los mismos, aparentemente, no tiene su origen en las aguas de riego.

#### **4.14 Correlación de Pearson.**

Los coeficientes hallados de mayor valor se encuentran en valores alrededor de 0,70 debido tal vez a la falta de datos del mismo suelo en los diferentes muestreos. Los que mostraron una mayor correlación lineal fueron los cationes Mg<sup>2+</sup>/Na<sup>+</sup> (0,771) y Mg<sup>2+</sup>/Ca<sup>2+</sup> (0,644), así como los cationes de intercambio con sus respectivos cationes solubles Ca<sup>2+</sup><sub>i</sub>/Ca<sup>2+</sup> (0,729), Mg<sup>2+</sup><sub>i</sub>/Na<sup>+</sup> (0,621) y Mg<sup>2+</sup><sub>i</sub>/Mg<sup>2+</sup> (0,643).

Otros valores de correlación a considerar se encuentran entre CIC/K<sup>+</sup><sub>i</sub> (0,70) y CIC/Ca<sup>2+</sup><sub>i</sub> (0,595) así como entre %C/Na<sup>+</sup><sub>i</sub> (0,708) y %C/K<sup>+</sup><sub>i</sub> (0,590). La correlación del %N/K<sup>+</sup> tuvo como valor 0,727 uno de los más altos, concordando con la relación entre macro nutrientes para la óptima absorción por parte de la planta.

#### **4.15 Observaciones finales.**

Las muestras de suelos tomadas en agosto 2013 son diferentes las ubicaciones de las muestras tomadas en febrero 2012, debido a la imposibilidad del acceso a las zonas sobre la margen derecha en la primera salida de campo, así como a la presencia del fenómeno La Niña que generó en algunos casos cambios en las cédulas de cultivo. Los análisis sin embargo se realizaron de suelos empleados únicamente para cultivos de arroz, en terrenos de áreas uniformes, llanos, sin pendientes. Debido a limitaciones de recursos, no pudo tomarse una mayor cantidad de muestra por cada punto para asegurarnos de minimizar cualquier variabilidad local del terreno como podría ocurrir con un fertilizante mal aplicado. Para evitar esta condición se recomienda la toma de muestras para el análisis de la fertilidad de un suelo dedicado al cultivo de arroz en el periodo previo a la labranza, a unos 25 a 30 cm de la superficie.

La toma de muestras en una zona con alta variabilidad de condiciones ambientales como lo es la cuenca baja del río Jequetepeque, tuvo influencia en la accesibilidad a los puntos de muestreo.

Las variables analizadas en este trabajo mediante métodos físico químicos tradicionales, proporcionaron información sobre la fertilidad física de los suelos y de su capacidad para ser proveedores de los nutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas como el nitrógeno, el fósforo, el potasio, calcio y el magnesio entre los más importantes. Trabajos de investigación sobre el análisis de fertilidad se basan en la determinación de índices de fertilidad para los nutrientes y el pH, es decir, un promedio ponderado que se obtiene al dar valores relativos a cada uno de los niveles críticos de los nutrientes y pH expresados en porcentaje.

## 5. CONCLUSIONES.

- La textura de los suelos es predominantemente franca, pero se observa una alta proporción de arena en particular de las muestras tomadas de la margen izquierda del río tanto en el primer muestreo (febrero 2012) como en algunas estaciones del segundo muestreo (S5, S6, S7, S8); lo que se refleja en los valores más bajos del CIC (4,82 cmol/kg a 6,70 cmol/kg). Por el contrario, sobre la margen derecha del río hay un mayor porcentaje de limo, mayor porcentaje de arcilla lo que proporciona valores mayores del CIC (10,0 cmol/kg a 16,47 cmol/kg) asegurando adsorción más fuerte de los cationes.
- La porosidad de alrededor del 50% determinada para las muestras tomadas en agosto 2013 muestra que la estructura del suelo es buena para el desarrollo de las plantas: permite la penetración de raíces (permeable) y tiene la capacidad de almacenar aire y agua, esenciales para el desarrollo de microorganismos. Sin embargo el bajo porcentaje (menor del 60%) de poros llenos de agua de la mayoría de muestras, indica la baja retención de humedad en el suelo; lo que impide una óptima actividad de las bacterias (nitrosomonas) que generan el proceso de nitrificación.
- Las concentraciones obtenidas de los cationes de intercambio son mucho mayores que las concentraciones de los mismos iones solubles, en ocasiones hasta en 10 veces su valor. La mayor parte de la fracción accesible de iones del suelo está compuesta por cationes adsorbidos a complejos de intercambio, pero serán las condiciones en el suelo (pH, temperatura, porosidad, humectación, etc.) las que determinen su disponibilidad para las plantas.
- El carácter básico de los suelos analizados asegura una regulación de la acidez del suelo generada por el constante uso de fertilizantes nitrogenados.
- Los suelos son salinos y esta situación se ve agravada con la constante alimentación de sales que provienen de las aguas de riego (Tabla 28). La salinidad afecta a las plantas en todos las etapas de su desarrollo en diferente medida, y el arroz posee una sensibilidad moderada hacia la salinidad.<sup>[10]</sup> Es decir, no es un cultivo tolerante ante la salinidad de los suelos. La tolerancia se expresa como la disminución en el rendimiento frente a una cantidad de sales solubles comparada con el rendimiento del cultivo en condiciones no salinas.<sup>[10]</sup>

- Los suelos de ambas márgenes del río Jequetepeque en la parte baja de la cuenca sufren de un progresivo enriquecimiento de sales debido a su cercanía al mar (iones  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$ ) y por aportes del río ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) así como del uso no controlado de fertilizantes sintéticos.
- Debido a las altas concentraciones del catión soluble  $\text{Na}^+$  en los suelos y del anión  $\text{SO}_4^{2-}$  en el agua proveniente de la bocatoma y además, según el análisis de la calidad del agua de riego mediante determinación de la CE y el SAR del agua, se presume que las afloraciones blanquecinas en muchos de los suelos se tratarían de sales de sulfato de sodio ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ).
- A pesar de los efectos perjudiciales de los altos valores para las concentraciones de sales hallados, los restantes parámetros físicos y químicos para los suelos en estudio indican la disponibilidad de los macronutrientes lo que aseguraría la fertilidad para los suelos destinados al cultivo de arroz en la cuenca baja del río Jequetepeque.

## 6. RECOMENDACIONES.

- Debido a que el cultivo de arroz necesita principalmente de fertilización nitrogenada durante todo su desarrollo y la utilización de productos nitrogenados sintéticos en exceso producen contaminación del agua por nitratos y aumenta el riesgo de liberación de óxido nítrico en la atmósfera se recomienda el cultivo de leguminosas porque este serviría no solo como una fuente importante de nitrógeno (su follaje seco contiene 2,5 – 5,5 % de N)<sup>[78]</sup>, sino que proporcionaría de una gran fuente de materia orgánica al suelo.
- Se debe de realizar un análisis periódico de las aguas de riego, previo al inicio de las campañas, para conocer la calidad del agua que se utilizará desde el llenado de las pozas para los almácigos, hasta el riego utilizado en las pozas para el trasplante. De esta manera se podrá establecer la calidad agronómica del agua (Aceves, 1979), la cual tiene en cuenta las interacciones agua – suelo, para poder tomar decisiones en cuanto al uso de las aguas de riego.
- La presencia del nutriente N es esencial durante toda la etapa de crecimiento de la planta; más aún, es suministrado al suelo desde antes del trasplante de las plántulas de arroz. La cantidad de fertilizantes nitrogenados utilizados es muy alta, lo que asegura la obtención de una mejor producción; pero a su vez, dado el alto grado de lixiviación del nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y que se realizan dos campañas por año, aumenta la contaminación del agua con nitratos. Es de imperiosa necesidad llevar a cabo un uso racional de fertilizantes minerales y sintéticos con el fin de favorecer el mantenimiento de las condiciones químicas del suelo. para determinar las condiciones del suelo y realizar enmiendas necesarias para que las plantas sean provistas de los nutrientes deficientes.
- Para poder contar con una muestra que demuestre mejor el estado de los suelos en un área determinada de cultivo, se recomienda tomar un número mayor de muestras al azar del suelo por cada zona y en el mismo periodo del cultivo, de esta manera se minimizaría la influencia de un factor en una zona específica del terreno. Se recomienda además que para el análisis de suelos el periodo sea el previo a la inundación y a la plantación de la especie del cultivo, en este caso del arroz.
- Se sugiere realizar una validación del método Dumas para la determinación de %C y %N en el equipo Trumac®-CN debido a que es práctico, rápido y existe una menor probabilidad de introducir error por manipulación. Los parámetros medidos son de gran importancia en el análisis de suelos.



## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Población estimada y proyectada por sexo y tasa de crecimiento, según años calendarios 2000 - 2050.  
<https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/Cap03020.xls>
2. Instituto Nacional de Estadística e Informática. Perú: Estimaciones y Proyecciones de Población por Sexo, Según Departamento, Provincia y Distrito, 2000 - 2015 - Boletín Especial N° 18.  
[https://www.inei.gob.pe/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Libro.pdf/](https://www.inei.gob.pe/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Libro.pdf/)
3. Actualización del Plan de Ordenamiento Ambiental de la Cuenca del río Jequetepeque para la Protección del Reservorio Gallito Ciego y su valle agrícola. I Parte. Vol I. Convenio Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA), Proyecto Especial Jequetepeque- Zaña (PEJEZA), Autoridad Autónoma Jequetepeque
4. SUQUILANDA V. Manuel B. Manejo Integrado de Plagas en el Cultivo de Arroz. Proyecto Manejo Adecuado de Plaguicidas 2003. Fecha de consulta: Abril 2015.  
<https://www.Manejoplagasarroz.pdf>
5. Diagnóstico de la Agricultura en el Perú. Informe Final. Peru Opportunity Fund. Julio 2011. Fecha de consulta marzo 2015.  
[www.peruopportunity.org/.../Diagno\\_stico\\_de\\_la\\_Agricultura\\_en\\_el\\_Peru\\_-\\_web.pdf](http://www.peruopportunity.org/.../Diagno_stico_de_la_Agricultura_en_el_Peru_-_web.pdf)
6. World Population Prospects Revision 2015. Key Findings and Advance Tables. United Nations New York, 2015. Fecha de consulta: Abril 2015.  
[http://esa.un.org/unpd/wpp/Publications/Files/Key\\_Findings\\_WPP\\_2015.pdf](http://esa.un.org/unpd/wpp/Publications/Files/Key_Findings_WPP_2015.pdf)
7. Estado de la Población Peruana 2015 INEI. Fecha de consulta: Marzo 2015.  
[www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1251/Libro.pdf](http://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1251/Libro.pdf)
8. Plan Estratégico Regional. Sector Agrario 2009-2015. Gerencia regional de Agricultura. Trujillo Diciembre 2008. Fecha de consulta Abril 2015.  
<http://minagri.gob.pe/portal/download/pdf/conocenos/transparencia/planes.../lalibertad.pdf>
9. MANAHAN, Stanley. 2010. Environmental Chemistry. Novena edición. Boca Ratón. pp. 419-449.
10. PORTA Jaime; Marta, LÓPEZ- ACEVEDO; Carlos, ROQUERO. 2003. Edafología: para la agricultura y el medio ambiente. Madrid: Mundi-Prensa.

11. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. 1977. Guía tipo para las investigaciones sobre fertilidad de los suelos en terrenos de los agricultores. FAO. Roma, N° 11, pp. 3-28.
12. MILLAR C.E., L.M. TURK, H.D.FOTH. 1962. *Edafología. Fundamentos de la Ciencia del Suelo*. México D.F: CECS.
13. BASHOUR, Isaam; Antoine SAYEGH. 2007. Method of Analysis for soils of Arid and Semiarid regions. Rome. Communication Division FAO.
14. Soil Bulk density/ Moisture/ Aeration - Soil Quality Kit. Guide for educators. USDA-NRCS. Fecha de consulta: Agosto 2015  
[https://www.nrcs.usda.gov/wps/porta/nrcs/detail/soils/health/assessment/nrcs142p2\\_053870](https://www.nrcs.usda.gov/wps/porta/nrcs/detail/soils/health/assessment/nrcs142p2_053870)
15. HAVLIN John; James, BEATON; Samuel, TISDALE; Werner, NELSON. 1999. Soil Fertility and Fertilizers An Introduction to Nutrient Management. 6th edition. New Jersey. Prentice Hall.
16. MENGEL Konrad; Ernest KIRKBY. 1987. Principios de Nutrición Vegetal. Cuarta edición. Basel, Suiza: International Potash Institute.
17. HAZELTON, Pam; B. MURPHY. 2007. Interpreting Soil Test Results: What do all the numbers mean? (Segunda edición). Sydney: CSIRO, pp. 151.
18. SONMEZ, Sahriye y otros. 2008. Assessment of different soil to water ratios (1:1, 1:2.5, 1:5) in soil salinity studies. Geoderma. Elsevier p. 361-369
19. THORNE, D.; H. PETERSON. 1965. Técnica del Riego. Fertilidad y Explotación de los suelos. New York: Mc Gray-Hill.
20. FAO. *Guía para la Descripción de Suelos*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, 2009.
21. CEDEPAS Norte, Coordinadora del Desarrollo de la Cuenca Jequetepeque. Análisis preliminar de riesgos. Cuenca del Jequetepeque. Proyecto Regional Cuencas Andinas. Fecha de consulta: Febrero 2014. [http://condesan.org/apc-aa-files/1158f3a999a05a0de98536b388d23d2a/riesgos\\_jequetepeque\\_1.pdf](http://condesan.org/apc-aa-files/1158f3a999a05a0de98536b388d23d2a/riesgos_jequetepeque_1.pdf)
22. Principales Aspectos de la Cadena Agroproductiva del Arroz. Dirección general de Competitividad Agraria. Dirección de Informática Agraria. 2012. Lima. MINAGRI.  
<http://agroaldia.minag.gob.pe/biblioteca/download/pdf/agroeconomia/agroeconomiaarroz3.pdf>

23. Fondo Nacional del arroz. FEDEARROZ. *Manejo Integrado del Cultivo de arroz*. (en línea). 2013. Colombia: PRODUMEDIOS. Fecha de consulta: Enero 2015.
24. ORBEGOSO L., LUIS; Alberto PRADO B. “*Manual de Manejo Técnico del Cultivo de Arroz*”. (en línea). Junta de Usuarios Chancay- Lambayeque. Plan de estrategias para la transferencia de tecnología en el cultivo de arroz. Fecha de consulta: Enero 2015. [http://www.juchl.org.pe/wp-content/uploads/2015/04/MANUAL..ARROZ\\_compressed.pdf](http://www.juchl.org.pe/wp-content/uploads/2015/04/MANUAL..ARROZ_compressed.pdf)
25. ARBO, Maria Teresa; Ana María GONZALEZ; Julieta ROJAS. 2001- 2005. *Morfología de plantas vasculares*. Corrientes, Argentina. Universidad Nacional del Nordeste- Facultad de Ciencias Agrarias. Fecha de consulta mayo 2016. [www.biologia.edu.ar/botanica](http://www.biologia.edu.ar/botanica)
26. JAHNSEN CISNEROS, Michelle. 2013. Impacto de la Represa Gallito Ciego en la pérdida de tierras de cultivo por salinización en la cuenca baja del río Jequetepeque. 1980-2003. Tesis de Licenciatura en Geografía y Medio Ambiente, Facultad de Letras y Ciencias Humanas. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
27. VILELA M., Marta. Aspectos Topológicos y Reticulares en la Comprensión del Territorio y la ciudad. Cuadernos de Arquitectura y Ciudad-Edición Digital -003. Departamento de Arquitectura. Pontificia Universidad Católica del Perú.
28. LÓPEZ, F.; GIRÓN, E. (Febrero, 2007). Proyecto Pago por servicios ambientales para generar una nueva dinámica de desarrollo rural de los Andes. Informe Análisis Biofísico (MODELO SWAT) Parte 1: General. Cuenca del río Jequetepeque. Cajamarca. [http://www.google.com.pe/url/condesan.org/Analisis\\_SWAT\\_Jequetepeque\\_Parte\\_1\\_Feb\\_2007.pdf](http://www.google.com.pe/url/condesan.org/Analisis_SWAT_Jequetepeque_Parte_1_Feb_2007.pdf)
29. CONDESAN. Análisis preliminar de Riesgos Cuenca del Jequetepeque. 2006. Fecha de consulta: Marzo 2014. [condesan.org/apc-aa-files/.../riesgos\\_jequetepeque\\_1.pdf](http://condesan.org/apc-aa-files/.../riesgos_jequetepeque_1.pdf)
30. VILCHEZ MATA, Manuel y otros. 2007. Estudio Geoambiental de la cuenca de los ríos Jequetepeque y Loco de Chamán. Geodinámica e Ingeniería Geológica. Boletín N° 36 Serie C. INGEMMET. Lima- Perú 2007.
31. CHIRA FERNÁNDEZ, Jorge y otros. 2007. “Prospección Geoquímica Regional en la Cuenca del Río Jequetepeque (Regiones Lambayeque y Cajamarca)”. Geología Económica. INGEMMET. Boletín N°17 Serie B.
32. Reporte Hidrológico Trimestral enero- marzo 2012. Dirección de Información Agraria. MINAGRI.

- [https://www.agroaldia.minag.gob.pe/biblioteca/download.pdf/agroclima/rhidricos/boletin\\_hidrologico\\_ene-mar2012.pdf](https://www.agroaldia.minag.gob.pe/biblioteca/download.pdf/agroclima/rhidricos/boletin_hidrologico_ene-mar2012.pdf)
33. Reporte Hidrológico Trimestral julio-septiembre 2011. Dirección de Información Agraria. MINAGRI  
[http://agroaldia.minag.gob.pe/biblioteca/download/pdf/agroclima/rhidricos/boletin\\_hidrologico\\_jul-set2011.pdf](http://agroaldia.minag.gob.pe/biblioteca/download/pdf/agroclima/rhidricos/boletin_hidrologico_jul-set2011.pdf)
34. Evaluación Hidrológica Estacional a Nivel Nacional Septiembre 2012- Abril 2013. SENAMHI. Lima, Mayo 2013. BOLETIN HIDROLOGICO SEMESTRAL N° 02.  
<https://www.senamhi.gob.pe/load/file/02611SENA-27092013.pdf>
35. Evaluación Hidrológica Estacional mayo-agosto 2013. MINAGRI. Ministerio del Ambiente. SENAMHI. septiembre 2013.  
[http://senamhi.gob.pe/main\\_down.php?ub=dgh&id=boletin\\_estacional](http://senamhi.gob.pe/main_down.php?ub=dgh&id=boletin_estacional)
36. SENAMHI. Vigilancia Hidrológica de los ríos del Perú. Boletín Hidrológico Mensual a nivel Nacional N°10. octubre 2013. Fecha de consulta: abril 2016.  
[http://senamhi.gob.pe/main\\_down.php?ub=dgh&id=prediccion\\_mensual](http://senamhi.gob.pe/main_down.php?ub=dgh&id=prediccion_mensual)
37. Análisis del Déficit Hidrológico en el norte del país. Autoridad Nacional del Agua (ANA). Lima. Febrero 2014. Fecha de consulta: Abril 2016.  
<https://www.indeci.gob.pe/objetos/microsite/OQ/NDY/fil20140228174518.pdf>
38. Primer boletín de sequías a nivel nacional. Reporte de las condiciones a septiembre del 2014. SENAMHI. Fecha de consulta: abril 2016.  
<https://www.senamhi.gob.pe/load/file/02616SENA-7.pdf>
39. Boletín de sequías a nivel nacional. Condiciones a noviembre del 2014. SENAMHI. Fecha de consulta: abril 2016. <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/02616SENA-30112014.pdf>
40. El fenómeno El Niño en el Perú. Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres - PLANAGERD 2014 - 2021 (Objetivo Nacional y Objetivo Estratégico 1).  
[https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/07/Dossier-El-Niño-Final\\_web.pdf](https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/07/Dossier-El-Niño-Final_web.pdf)
41. Vigilancia de la sequía hidrológica en las cuencas de Chancay - Lambayeque - Jequetepeque, Rímac y Chillón. Evaluación Hidrológica Estacional a nivel nacional. Año Hidrológico octubre 2013. SENAMHI. Fecha de consulta: febrero 2016.  
[senamhi.gob.pe/main\\_down.php?ub=dgh&id=prediccion\\_mensual](http://senamhi.gob.pe/main_down.php?ub=dgh&id=prediccion_mensual)

42. GIRÓN E.,Ernesto. Jequetepeque River Basin. Andes Basin Profile. CONDESAN, 2003. Fecha de consulta: julio 2014  
[www.condesan.org/cuencasandinas/jequetepeque.htm](http://www.condesan.org/cuencasandinas/jequetepeque.htm)
43. Informe Hidrológico de la cuenca de Jequetepeque.  
[https://www.cepes.org.pe/diagnostico\\_calidad\\_agua-tomo1/diagnostico\\_calidad\\_agua\\_cuenca\\_rio\\_jequetepeque.pdf](https://www.cepes.org.pe/diagnostico_calidad_agua-tomo1/diagnostico_calidad_agua_cuenca_rio_jequetepeque.pdf)
44. SANTAYANA V., Fernando. Problemas de drenaje en la costa peruana. V Congreso Nacional - IV Congreso Iberoamericano de riego y drenaje. UNALM. Septiembre 2015. Fecha de consulta: marzo 2016.  
[https://www.lamolina.edu.pe/eventos/agricola/2015/V\\_congreso\\_agua/PDF/DIA/CONFERENCIAS/02.pdf](https://www.lamolina.edu.pe/eventos/agricola/2015/V_congreso_agua/PDF/DIA/CONFERENCIAS/02.pdf)
45. GUERRERO-PADILLA, A.M.; FLORIÁN-FLORIÁN, J.C. 2013. "Demanda y Uso de agua en los sectores de riego de la cuenca baja del río Jequetepeque (La Libertad, Perú)". REBIOL. 2013,33 (1) pág. 1-17.
46. Casa Pueblo y el Centro Para la Conservación del Paisaje. 2012. "Claves para la taxonomía de suelos". (en línea). Blog International Institute of Tropical Forestry. Fecha de consulta: Febrero 2016. <http://adjuntasplace.blogspot.pe/p/los-suelos.html>
47. KEITH, L. 1996. *Principles of Environmental Sampling*. Washington, D.C.: American Chemical Society, 1996.
48. PANSU, M., GAUTHEYROU, J. *Handbook of Soil Analysis. Mineralogical, Organic and Inorganic Methods*. 2006. Países Bajos: Springer-Verlag. Pg: 593-599.
49. RIOS PERALES, Natalia. 2013. Estudio químico de sedimentos de la represa de Gallito Ciego como contribución al estudio de calidad ambiental del reservorio. Tesis de licenciatura en Ciencias e Ingeniería con mención en Química. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
50. ASTM D2974-87. 2013. *Standard Test Methods for Moisture, Ash, and Organic Matter of Peat and Other Organic Soils*.
51. VINELLI RAMIREZ, Natalia. 2012. Estudio Analítico de nitratos en aguas subterráneas en el distrito San pedro de Lloc. Tesis de licenciatura en Ciencias e Ingeniería con mención en Química. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
52. USDA. *Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo de la USDA*. Agosto, 1999. Fecha de consulta: Febrero 2014.  
[www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/stelprdb1044786.pdf](http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044786.pdf)

53. ASTM. D 2974-87 (1995). *Standard Test Methods for Moisture, Ash, and Organic Matter of Peat and othe Organic Soils.*
54. ASTM D1293-12. 2013. *Standard Test Methods of pH of Water.*
55. ASTM D422-63. 2007. *Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils.*
56. ASTM D1125-14. 2009. *Standard Test Methods for Electrical Conductivity and Resistivity of Water.*
57. ASTM D7503-10. 2011. *Standard Test Method for Measuring the Exchange Complex and Cation Exchange Capacity of Inorganic Fine-Grained Soils.*
58. ASTM D4191-08. 2013. *Standard Test Method for Sodium in Water by Atomic Absorption Spectrophotometry.*
59. ASTM D511-09. 2012. *Standard Test Methods for Calcium and Magnesium in Water.*
60. ASTM D3590-89 .1994. *Standard Test Methods for Total Kjeldahl Nitrogen in Water.*
61. ASTM D2973-10 .2011. *Standard Test Method for Total Nitrogen in Peat Materials.*
62. APHA. *Standard Methods for the examination of water and wastewater.* 1992. Décimo octava edición. Washington, D.C.: American Public Health Association.pag: 4-131, 4-134 y 4-109, 4-115.
63. Ben Mussa, S., Elferjani, H., Haroun, F., Abdelnabi, F. *Determiration of available nitrate, phosphate and sulfate in soil samples.* 2009. International Journal of PharmTech Research.
64. ASTM D512-12. 2013. *Standard Test Methods for Chloride Ion in Water.*
65. JACKSON, M. 1982. "Determinaciones del fósforo para suelos". Análisis Químico de suelos. Ediciones Omega. pp. 190-280.
66. LECO Corporation. *Carbon/Nitrogen in Soil and Plant Tissue.* Trumac® CN. 2012. Michigan.
67. LE ROY Jackson. Análisis químico de suelos. Barcelona: Omega, 1982.
68. ZAVALETA, A. (1992). *Edafología: El suelo en relación con la Producción.* Lima: A & B S.A.
69. INDECOPI. Suelos: método de ensayo para el análisis granulométrico. Lima: INDECOPI, 1999.
70. Plan de Ordenamiento Ambiental de la Cuenca del río Jequetepeque para la protección del reservorio Gallito Ciego y el valle agrícola.

[www.condesan.org/portal/sites/default/files/publicaciones/.../PSanchez\\_INADE\\_1\\_.pdf](http://www.condesan.org/portal/sites/default/files/publicaciones/.../PSanchez_INADE_1_.pdf)

71. DORAN John y otros. 1999. Guía para la Evaluación de la Calidad y salud del suelo. Washington: USDA- NRCS. [http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/stelprdb1044790.pdf](http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044790.pdf)
72. Fox, E. 2013. *Evaluación de pérdida de suelo por salinización en la parte baja de la cuenca del Jequetepeque: San Pedro de Lloc (1980-2003)*. Tesis de Licenciatura en Geografía y Medio Ambiente, Facultad de Letras y Ciencias Humanas. Pontificia Universidad Católica del Perú.
73. MARCHESE MORALES, Adolfo. 2014. Estudio físico y químico de suelos agrícolas para la estimación del nivel de salinización en el sector bajo de San Pedro de Lloc. Tesis de licenciatura en Ciencias e Ingeniería con mención en Química. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
74. YAKABI BEDRIÑANA, Katusca. 2014. Estudio de las propiedades edáficas que determinan la fertilidad del suelo en el sistema de andenería de la comunidad campesina San Pedro de Laraos, provincia de Huarochirí, Lima. Tesis de Licenciatura en Geografía y Medio Ambiente, Facultad de Letras y Ciencias Humanas. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
75. WALTER, Katja. 2010. Managing sediments of the Gallito Ciego reservoir, Perú: Possible agricultural use of sediments in the Jequetepeque river basin.
76. GALLEGOS ARÉVALO, W. 1981. Evaluación de la fertilidad de los suelos de la costa del Perú (primera aproximación). Tesis de Licenciatura en Agronomía. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.
77. AGUILAR PACHECO, Veridiano. 1990. Técnicas nativas utilizadas en la recuperación de suelos en la agricultura andina. Ministerio de Agricultura. Lima: Dirección General de Aguas y Suelo.
78. LUQUE LUQUE, N. 2003. Establecimiento de un sistema agroforestal para la conservación y recuperación de la fertilidad del suelo a través del uso del vetiver (vetiveria zizanoides) con arbustos leguminosos. Tesis de Licenciatura en Agronomía. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.
79. MATIENZO BERNABÉ, Renzo. 2014. Análisis De la influencia de la represa de Gallito Ciego en la calidad del agua del curso inferior del río Jequetepeque. Tesis de

licenciatura en Ciencias e Ingeniería con mención en Química. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

80. YACOUB, C. y otros. 2013. "Spatial and temporal trace metal distribution of a Peruvian basin: recognizing trace metal sources and assessing the potential risk". Environ Monit Assess. Springer.
81. Reporte Hidrológico Trimestral julio-septiembre 2011. Dirección de Información Agraria. MINAGRI  
[http://agroaldia.minag.gob.pe/biblioteca/download/pdf/agroclima/rhidricos/boletin\\_hidrologico\\_oct-dic2011.pdf](http://agroaldia.minag.gob.pe/biblioteca/download/pdf/agroclima/rhidricos/boletin_hidrologico_oct-dic2011.pdf)