



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD  
CATÓLICA**  
DEL PERÚ

FACULTAD DE LETRAS Y CIENCIAS HUMANAS

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 para optar el título de Licenciada en Geografía y Medio Ambiente que  
presenta la Bachiller:

MICHELLE JAHNSEN CISNEROS

ASESOR: DR. CARLOS HENRIQUE TAVARES CORRÊA

San Miguel, 12 de diciembre 2013

## Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a mi asesor Dr. Carlos Tavares Corrêa por el tiempo y la dedicación puestos en el desarrollo de esta tesis. Sin su apoyo no hubiera sido posible llevar a cabo esta investigación.

También quiero agradecer al profesor Tavares por permitirme ser parte del proyecto de investigación "*Diagnóstico Ambiental de Represas en la costa peruana: Caso de estudio: La Represa de Gallito Ciego*" (DGI 70245 – 0110), el cual financió el desarrollo de esta tesis y me permitió trabajar en un equipo de investigación interdisciplinaria.

Cabe agradecer también a Gustavo Rondón, asistente del proyecto, por su importante colaboración en la elaboración de esta tesis y en el trabajo de campo realizado.

De igual forma, quiero agradecer a todo el equipo del Laboratorio de Química Ambiental de la Sección Química de la PUCP, y en especial, a la profesora Nadia Gamboa por darnos la oportunidad de utilizar las instalaciones del laboratorio y asesorarnos en los procedimientos de análisis.

Finalmente, quiero agradecer a Estefanía Fox, participante también del proyecto de investigación por su apoyo para el desarrollo de esta tesis.

## Índice

Índice de figuras.....	V
Índice de tablas.....	VI
Resumen.....	VII
<b>1.Introducción.....</b>	<b>1</b>
1.1 Introducción.....	1
1.2 Problemática y justificación.....	2
1.2.1 Problemática.....	2
1.2.2 Justificación.....	3
1.3 Hipótesis.....	4
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 Objetivo general.....	4
1.4.2 Objetivos específicos.....	4
<b>2. Marco teórico.....</b>	<b>6</b>
2.1 Salinización.....	6
2.2 Sales presentes en los suelos.....	7
2.3 Origen de las sales en los suelos.....	8
2.4 Salinización en zonas áridas y semiáridas.....	9
2.5 Salinización e irrigación.....	11
2.6 Cultivos y salinización.....	12
2.7 Manejo de suelos salinos.....	13
2.8 Mediciones de salinidad.....	14
2.9 Los SIG y el estudio de salinización de suelos.....	16
<b>3. Área de estudio.....</b>	<b>18</b>
3.1 Ubicación.....	18
3.2 Geomorfología.....	20
3.3 Condiciones ecológicas y ambientes bioclimáticos.....	20
3.4 Sistema de producción agrícola.....	21
3.5 Sistema de irrigación y drenaje.....	23
3.5.1 Sistema de irrigación.....	23
3.5.2 Sistema de drenaje.....	24

<b>4. Metodología</b> .....	26
4.1 Análisis cartográfico espacial-temporal.....	26
4.1.1 Materiales cartográficos.....	26
4.1.2 Procesamiento de la información cartográfica.....	26
4.1.2.1 Georeferenciación de fotografías aéreas y creación de mosaico.....	26
4.1.2.2 Interpretación y digitalización de áreas de cultivo.....	28
4.2 Trabajo de campo.....	30
4.2.1 Toma de muestras.....	30
4.2.2 Mediciones de salinidad en campo.....	33
4.3 Trabajo de laboratorio.....	36
4.3.1 Análisis de textura.....	36
4.3.2 Materia orgánica.....	38
4.3.3 pH y conductividad.....	39
4.4 Elaboración de mapas.....	40
<b>5. Resultados</b> .....	42
5.1 Resultados del análisis cartográfico espacial temporal.....	42
5.2 Resultados de las mediciones de salinidad en campo.....	46
5.3 Resultados del análisis de las muestras en el laboratorio.....	48
5.3.1 Textura.....	48
5.3.2 Materia orgánica.....	50
5.3.3 pH.....	52
5.3.4 Conductividad.....	54
<b>6. Discusión</b> .....	56
<b>7. Conclusiones</b> .....	61
<b>8. Bibliografía</b> .....	62

## Índice de Figuras

Figura 01. Mapa de ubicación del área de estudio.....	19
Figura 02. Mapa de puntos de muestreo de suelo a ser analizados en el laboratorio.....	32
Figura 03. Mapa de puntos de muestreo para la medición in situ de salinidad de suelos.....	35
Figura 04. Mapa de tierras de cultivo en el año 1980.....	43
Figura 05. Mapa de tierras de cultivo en el año 2003.....	44
Figura 06. Mapa de variación de tierras de cultivo en el periodo 1980-2003.....	45
Figura 07. Mapa de salinidad del suelo (medición en campo).....	47
Figura 08. Mapa de textura del suelo.....	49
Figura 09. Mapa de materia orgánica del suelo.....	51
Figura 10. Mapa de pH del suelo.....	53
Figura 11. Mapa de conductividad del suelo.....	55



## Índice de Tablas

Tabla 01: Grado de afectación por sales en el área del valle de Jequetepeque.....	2
Tabla 02: Tipos de sales comúnmente presentes en los suelos salinos.....	7
Tabla 03: Grado de tolerancia de los cultivos a la salinidad.....	13
Tabla 04: Clasificación de suelos de acuerdo a la salinidad.....	15
Tabla 05: Clasificación de suelos salinos.....	16
Tabla 06: Áreas aprobadas de cultivos para la Campaña Grande 2010-2011 a nivel del valle Jequetepeque Regulado.....	22
Tabla 07: Fotografías aéreas (1980) utilizadas.....	27
Tabla 08: Puntos de muestreo de suelo (laboratorio).....	31
Tabla 09: Puntos de mediciones de salinidad en campo en el tramo inferior del río Jequetepeque.....	34
Tabla 10: Tiempos para la realización de mediciones.....	38
Tabla 11: Tierras de cultivo en 1980 y 2003.....	42
Tabla 12: Resultados de las mediciones de salinidad en campo.....	46
Tabla 13: Resultados del análisis de textura de las muestras de suelo.....	48
Tabla 14: Resultados del análisis de materia orgánica de las muestras de suelo.....	50
Tabla 15: Resultados del análisis de pH de las muestras de suelo.....	52
Tabla 16: Resultados del análisis de conductividad de las muestras de suelo.....	54

## Resumen

La presente tesis tuvo como objetivo evaluar el impacto de la construcción de la represa Gallito Ciego en la pérdida de tierras de cultivo por salinización en la cuenca baja del río Jequetepeque durante el periodo 1980-2003. Específicamente, se estudió el sector comprendido entre la carretera Panamericana Norte y la desembocadura del río en el océano Pacífico que abarca los distritos de Jequetepeque y Guadalupe en la provincia de Pacasmayo.

Para el desarrollo de esta tesis se llevó a cabo un análisis cartográfico espacial-temporal. A través del trabajo con fotografías aéreas e imágenes satelitales se reconstruyeron las áreas de cultivo en los años 1980 (periodo anterior a la represa) y 2003. Luego se procedió a evaluar la pérdida de tierras de cultivo en el periodo 1980-2003, identificando los lugares donde se habían reducido las áreas de cultivo.

Paralelamente, se llevó a cabo la toma de muestras de suelos en campo y análisis en el laboratorio. Los parámetros analizados incluyeron textura, materia orgánica, pH y conductividad. Los resultados de laboratorio permitieron conocer el estado actual de los problemas de salinización de suelos en el área de estudio. También se realizaron mediciones de salinidad en campo con el mismo objetivo.

A través del análisis cartográfico se observó una pequeña ampliación de la frontera agrícola en el periodo 1980-2003. Al comparar el cambio en la extensión de áreas de cultivo se pudo observar que, para el año 2003, hay una pérdida de 256.19 ha de superficies cultivables y, en contrapartida, un incremento de 298.38 ha de cultivo, dando, a nivel global una ampliación de la frontera agrícola de 42.19 ha.

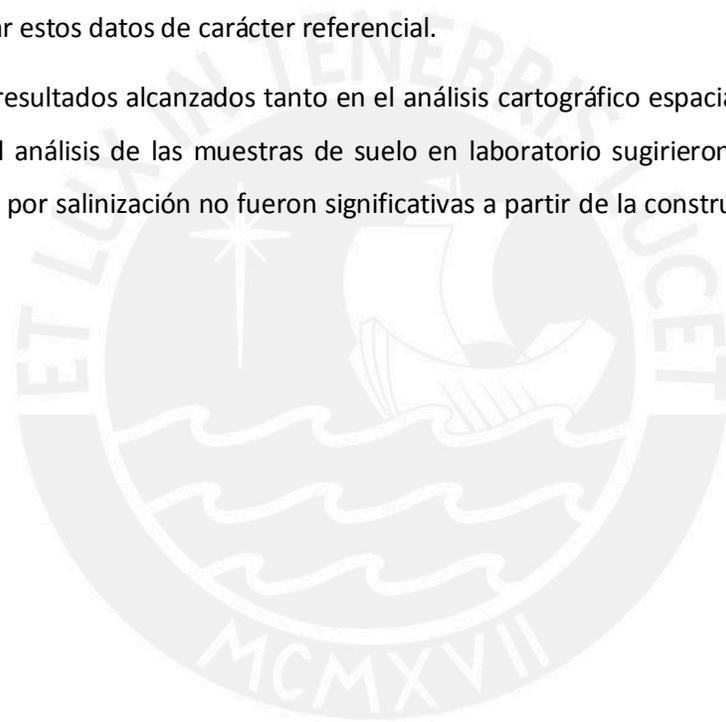
Sin embargo, el interés de esta investigación se centra en la pérdida de tierras de cultivo; es decir, aquellas áreas que se encontraban aptas para el cultivo en el año 1980 y se perdieron para el año 2003. La observación de las fotografías aéreas e imágenes satelitales permitió sugerir que la pérdida de 256.19 ha de áreas de cultivo en este periodo podía relacionarse a cambios en el régimen del caudal del río y a la expansión urbana en los alrededores del pueblo de Jequetepeque.

De igual forma, el análisis de muestras de suelo en el laboratorio permitió evaluar si existía un problema de salinidad de suelos que pudiera explicar esta pérdida de tierras de cultivo. Los resultados del análisis de conductividad eléctrica demostraron que la mayor parte de las muestras analizadas podían ser calificadas como *no salinas* o *ligeramente salinas*. Esto llevó a concluir que,

si bien las condiciones de salinidad de los suelos podían afectar en cierto grado la productividad de algunos cultivos sensibles, a nivel general, no tendrían un impacto tan grave como para ocasionar la pérdida de tierras de cultivo.

Por otro lado, los resultados del análisis textural permitieron identificar que la mayor parte de los suelos presentaban texturas gruesas que favorecen el lavado de sales. El contenido de materia orgánica, por su parte, se encontró dentro del rango de 2 a 11%. De igual forma, los resultados del análisis de pH se encontraron en el rango de 7.83 - 8.88, presentando la mayor parte de las muestras pH moderadamente alcalinos. Debido a que no se contó con un estándar adecuado para interpretar los resultados de las mediciones en campo con el conductímetro portátil, se consideró conveniente tomar estos datos de carácter referencial.

Sin embargo, los resultados alcanzados tanto en el análisis cartográfico espacial-temporal (1980 – 2003) como en el análisis de las muestras de suelo en laboratorio sugirieron que la pérdida de tierras de cultivos por salinización no fueron significativas a partir de la construcción de la represa Gallito Ciego.



## 1. Introducción

### 1.1 Introducción

Alrededor de 831 millones de hectáreas de suelos a nivel mundial se ven afectadas en diferentes grados por la salinización. Este fenómeno se observa en más de 100 países, presentando una variedad de extensiones, naturaleza y propiedades. Ninguna zona climática del mundo se encuentra libre de problemas de salinización aunque el problema se asocia mayormente a las zonas áridas y semiáridas (Rengasamy 2006).

La salinización es uno de los factores ambientales más severos que limitan la producción agrícola, ya que la mayoría de los cultivos son sensibles a los altos contenidos de sales en los suelos. El costo de la salinidad para la agricultura se estima en 12 billones de dólares al año y se espera que este monto se incremente si se intensifica el problema. Los elevados costos de producción se explican debido a la pérdida de rendimiento de los cultivos en zonas salinas (Lauchly & Pitman, 2002).

La salinización secundaria (de origen antrópico) se relaciona principalmente con la instalación de sistemas de irrigación. De acuerdo a información recopilada para la FAO en 1987, de las 227 millones de hectáreas irrigadas a nivel mundial, el 20% se encuentran afectadas por salinidad (Ghassemi *et al.* 1995).

Las formas de lidiar con este problema se dividen generalmente en dos; la ingeniería del agrícola para el manejo de los sistemas de irrigación y drenaje, o la “ingeniería” de los cultivos para la mejora de la tolerancia a la salinidad (Lauchly & Pitman, 2002).

Las respuestas de los agricultores ante el problema de salinización se ven influenciadas por la capacidad financiera de los mismos, así como por las capacidades técnicas necesarias para enfrentar este problema. En algunos casos, esto puede llevarlos al abandono de las tierras de cultivo salinas.

A través de esta investigación se busca evaluar el proceso de salinización a partir de la construcción y puesta en funcionamiento de la represa Gallito Ciego para determinar si esta obra ha tenido impacto en la pérdida de tierras de cultivo en un sector de la cuenca baja del río Jequetepeque en el periodo 1980-2003.

## 1.2 Problemática y Justificación

### 1.2.1 Problemática

La salinización es un problema que afecta a un gran porcentaje de las áreas cultivables del Perú y que se acentúa en la costa. De acuerdo al análisis realizado en 1986 por la Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales, de la superficie cultivada total de la costa de 775,431 ha, alrededor del 40% de estas tierras (306,701 ha) se encontraban afectadas en diferentes grados por el proceso de salinización (ONERN 1986).

La principal causa de este problema fue atribuida al mal manejo del agua de riego y al pobre drenaje de los suelos. Asimismo, a condiciones particulares de la costa peruana tales como el alto contenido de sales en los suelos dado su origen marino y la ausencia de lluvias, lo que contribuye a la acumulación de sales (ONERN 1986).

En el Plan de Ordenamiento Ambiental de la cuenca del río Jequetepeque se recopiló información específica acerca del problema de salinización de suelos. Luego de evaluar un área total de 47,300 ha, las tierras fueron clasificadas de acuerdo a su grado de afectación. Los resultados de este estudio se presentan en la tabla 01:

**Tabla 01: Grado de afectación por sales en el área del valle de Jequetepeque**

Situación actual	Superficie		Clasificación	Superficie		Grado de afectación	Superficie	
	ha	%		ha	%		ha	%
Suelos normales	33,840	71.5	-	-	-	Sin problemas a muy ligeramente salinos	33,840	71.5
Suelos afectados	13,460	28.5	Salinos	8600	18.2	Ligeramente salinos	6,760	14.3
						Moderadamente salinos	1,030	2.2
						Fuertemente salinos	810	1.7
			Salino-sódicos	4860	10.3	Ligeramente salinos	440	0.9
						Moderadamente salinos	2,000	4.2
						Fuertemente salinos	2,420	5.2
TOTAL	47,300	100				TOTAL	47,300	100

Fuente: ONERN (1988)

Como se puede observar, el 28.5% de las tierras del valle ya presentaban un problema de salinidad.

Además, en el mismo estudio se especifica que el sector Jequetepeque - San José (correspondiente al área de estudio de esta investigación) presentaba 11.8% de tierras afectadas por salinidad para el mismo año y que se esperaba que el porcentaje de tierras afectadas alcanzara el 30% en 1995 (ONERN 1988).

Esto lleva a considerar que la represa Gallito Ciego, cuya construcción se inicia en 1977 y culmina en 1987, es muy probable que el problema se haya acentuado. Ya que, como se verá más adelante, existen estudios que demuestran que los grandes proyectos de irrigación pueden incrementar la salinización de los suelos.

Tal como se plantea en un artículo del Centro Peruano de Estudios Sociales (2010), una de las consecuencias de los grandes proyectos de irrigación es la pérdida de tierras de cultivo por salinización: *“Mientras por un lado se ganan tierras al desierto a un costo altísimo [con los proyectos de irrigación], por el otro se pierden tierras por la salinización, cuyo costo de restauración es también muy alto.”* Si bien este artículo presenta una crítica muy severa, en definitiva, se trata de un tema que requiere mayores estudios.

Es importante mencionar que la pérdida de tierras de cultivo por salinización, como consecuencia del desarrollo de grandes proyectos de irrigación, se debe fundamentalmente al mal manejo del agua de riego. La utilización excesiva de agua para el riego, la cual trae consigo grandes cantidades de sales, sumada a las características naturales de la costa acentúan los procesos de salinización, ocasionando la pérdida de fertilidad de las tierras.

### **1.2.2 Justificación**

De acuerdo a la *“Clasificación de las tierras del Perú”* (ONERN 1982), la costa reúne los suelos más productivos del país. Esto se debe a varias razones entre las cuales cabe resaltar: la calidad de los suelos, la topografía plana, la disponibilidad de agua, y las inversiones realizadas en infraestructura vial y de riego principalmente.

Del más de millón de hectáreas aptas para el cultivo en el país, alrededor de 870 mil están en zonas donde existe infraestructura de riego. El área efectivamente cultivada varía entre las 600 y las 700 mil hectáreas dependiendo de la disponibilidad de agua y otras condiciones tales como las condiciones climáticas y económicas (ONERN 1982).

La salinización de los suelos es un problema que afecta principalmente los valles costeros y que se acentúa en las áreas irrigadas como consecuencia del mal manejo de los recursos hídricos. Sin embargo, no se cuenta con suficiente información al respecto.

En la actualidad, la información cartográfica sobre el proceso de degradación de tierras por salinización se encuentra desactualizada. Los últimos registros de información corresponden a estudios realizados por la Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN) en los años ochenta. De manera que, no existe una base cartográfica que permita evaluar el impacto del establecimiento de la represa Gallito Ciego en el marco del *“Proyecto Especial Jequetepeque Zaña”* (PEJEZA) en la pérdida de tierras de cultivo por salinización. Esta investigación busca contribuir al manejo sostenible de las tierras agrícolas irrigadas en la cuenca baja del Jequetepeque, al proveer de una base cartográfica que permita cuantificar la pérdida de superficies cultivables en el periodo 1980-2003 por este proceso.

### **1.3 Hipótesis**

La hipótesis que se plantea es que la represa Gallito Ciego ha ocasionado la pérdida de tierras de cultivo como consecuencia del proceso de salinización de suelos, en el sector comprendido entre el puente Libertad de la Panamericana Norte y la desembocadura del río Jequetepeque en el océano Pacífico, durante el periodo 1980-2003.

### **1.4 Objetivos**

#### **1.4.1 Objetivo General**

El objetivo general de esta investigación es evaluar la pérdida de tierras de cultivo por salinización a partir del establecimiento de la represa Gallito Ciego en el sector comprendido entre el puente Libertad de la Panamericana Norte y la desembocadura del río Jequetepeque en el océano Pacífico, en el periodo 1980-2003.

#### **1.4.2 Objetivos específicos**

Los objetivos específicos son los siguientes:

- Realizar un análisis cartográfico espacial-temporal que permita reconstruir las áreas de cultivo en los años 1980 (antes de la represa) y 2003 (posterior a la represa) en el área de estudio.
- Caracterizar los suelos del área de estudio a través de un muestreo y posterior análisis de las muestras en el laboratorio.

- Determinar el contenido de sales en los suelos del área de estudio a través de mediciones de salinidad en campo.
- Generar una base de datos cartográficos utilizando los Sistemas de Información Geográfica.



## 2. Marco Teórico

### 2.1 Salinización

Las bases conceptuales del problema de salinización fueron establecidas a fines del siglo XIX y principios del siglo XX por investigadores como Hilgard, De Sigmond, Gedroiz, Hissink, y Kelley, entre otros (USSLR 1954). Debido al largo desarrollo teórico existen diversas aproximaciones conceptuales. En general se entiende la salinización como el proceso de acumulación excesiva de sales solubles en el suelo. Sin embargo, esta definición no considera los impactos nocivos en los sistemas agrícolas.

En vista del interés de esta investigación por la relación entre los procesos de salinización y sus impactos en la pérdida de tierras de cultivo, la definición planteada por Rengasamy (2006) parece ser la más adecuada. Este investigador define la salinización como *“la acumulación de sales solubles en el solum o regolito del suelo a tal punto que impacta la producción agrícola, la salud ambiental y el bienestar económico”* (Rengasamy 2006).

A través de esta definición es posible relacionar la acumulación excesiva de sales solubles con los impactos negativos en la productividad agrícola, y por ende, en la pérdida de tierras de cultivos. Este es el tema de mayor relevancia para esta investigación.

Existen dos tipos de salinización: salinización primaria y salinización secundaria (European Communities 2009).

La salinización primaria hace referencia a la acumulación de sales a través de procesos naturales debido a una alta concentración de sales en el material parental del suelo o del agua subterránea. Mientras que la salinización secundaria se relaciona a la acción antropogénica. Las actividades humanas que pueden llevar a este problema se relacionan principalmente a prácticas inadecuadas de irrigación (European Communities 2009).

Esta investigación se centra en la salinización secundaria ocasionada por la instalación de la represa Gallito Ciego dentro del proyecto de irrigación *“Proyecto especial Jequetepeque-Zaña”* en el valle del Jequetepeque.

Una definición general desde una perspectiva agrícola-productiva considera que los suelos salinos son aquellos que contienen suficientes sales neutras disueltas para afectar de manera adversa el crecimiento de la mayoría de cultivos (FAO 1988). Sin embargo, existen definiciones más

específicas que diferencian los suelos salinos en suelos salinos, suelos sódicos y suelos salino-sódicos (Porta *et al.* 2003).

De acuerdo a esta terminología, los “suelos salinos” son aquellos en los que se produce una acumulación de sales más solubles que el yeso, suficiente para interferir en el crecimiento de la mayoría de cultivos y otras plantas no especializadas. Estos suelos se correlacionan con los solonchaks de la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (1988).

Por otro lado, los suelos que contienen suficiente sodio intercambiable para que afecte desfavorablemente la producción de los cultivos y la estructura del suelo mismo son denominados “suelos sódicos” y se correlacionan con los solonetz de la Base Referencial del Recurso Suelo (1988).

Finalmente, los suelos que presentan sales más solubles que el yeso y sodio intercambiable se conocen como suelos “salinos-sódicos”. De acuerdo al United States Salinity Laboratory de Riverside, los suelos salinos-sódicos son los más comunes (USSLR 1954).

## 2.2 Sales presentes en los suelos

De acuerdo a Porta *et al.* (2003) los grupos de sales presentes en los suelos salinos más representativos son los cloruros, sulfatos, carbonatos y bicarbonatos del grupo 1 y 2 de la tabla periódica (Ver tabla 02).

En general, los cloruros y sulfatos son los responsables más frecuentes de la formación de suelos salinos, de las propiedades que presentan estos suelos y del estrés sobre las plantas (Porta *et al.* 2003).

**Tabla 02: Tipos de sales comúnmente presentes en los suelos salinos**

Clase	Presencia en suelos salinos	Toxicidad para las plantas
<b>Cloruros</b>		
Sódico	Común	+++
Magnésico	Común	++++
Cálcico	Raro	++
Potásico	Baja	+
<b>Sulfatos</b>		
Sódico	Común	++
Magnésico	Común	++++
Potásico	Baja	+
<b>Carbonato sódico</b>	<i>Suelos sódicos</i>	+++++
<b>Bicarbonato sódico</b>	<i>Suelos sódicos</i>	++++

Fuente: Porta *et al.* (2003)

Por su parte, la presencia de carbonatos y bicarbonatos sódicos se relaciona a condiciones físico químicas especiales vinculadas a procesos de alcalinización del suelo. Los suelos que presentan estas sales pueden alcanzar un pH de 9 a 12, siendo estas condiciones desfavorables para el crecimiento de la mayoría de las plantas (Porta *et al.* 2003).

### 2.3 Origen de las sales en los suelos

Las sales que se encuentran en los suelos tienen su origen en los minerales primarios de la corteza terrestre. A través del proceso de meteorización química, los componentes de las sales son liberados de forma gradual y se vuelven solubles (FAO 1988).

El agua constituye el medio de transporte más importante de estas sales. Por esta razón, los problemas de salinización de suelos ocurren en su mayoría en lugares que reciben sales que han sido transportadas a través del agua. (USSLR 1954)

Las fuentes más comunes de sales son el agua superficial y la napa freática. Las concentraciones de sales en ambos casos dependen del material geológico y los suelos con los cuales han tenido contacto las aguas. En el caso de áreas irrigadas el agua de riego es también una fuente de sales (USSLR 1954). También, es posible que las sales se encuentren de forma previa en los suelos, sin necesidad de haber sido transportadas por el agua. Tal es el caso de los suelos de origen marino, donde el material parental puede consistir en depósitos marinos que se acumularon en periodos geológicos anteriores y que han sufrido una elevación. El océano también es la fuente de sales en zonas costeras, donde las sales pueden transportarse a través de la brisa del mar (USSLR 1954).

Como se puede observar el origen de las sales en los suelos se relaciona a un sistema complejo. Una forma de simplificar la comprensión de este sistema es considerar los denominados ciclos de salinización.

De acuerdo a Porta *et al.* (2003) se pueden distinguir cinco ciclos de acumulación de sales en los suelos:

- a) Ciclos continentales: la formación de suelos salinos en zonas continentales se debe a ciclos de movilización, redistribución y acumulación de sales influenciados por factores climáticos, régimen de humedad del suelo, posición geomorfológica y tipo de drenaje.
  - a. Ciclo continental de acumulación primaria: las sales solubles presentes en los suelos proceden directamente de la meteorización de las rocas. Las sales liberadas se acumulan *in situ* sin ser transportadas.

- b. Ciclo continental de acumulación secundaria: se caracteriza por la movilización, redistribución y acumulación de sales a cierta distancia de su lugar de origen. Este es el caso de los suelos salinos que reciben sales a través de aguas superficiales.
- b) Ciclos marinos: los suelos del litoral pueden presentar acumulaciones de sales marinas; especialmente cloruros de sodio. Esta acumulación puede ser el resultado del contacto de los suelos con napas freáticas poco profundas, la inundación por efectos de la marea o los aportes de sales marinas transportadas por el viento.
- c) Ciclos deltaicos: los deltas son áreas favorables para la agricultura debido a la alta fertilidad de las tierras. Sin embargo, el equilibrio de los sistemas deltaicos es frágil ya que la interacción del agua marina, la napa freática y el agua transportada por el río puede llevar a procesos de salinización.
- d) Ciclos artesianos: se relacionan a la presencia de microfallas y fracturas que permiten la afloración de aguas salinas. Ocurren en lugares en los que la distancia al mar y las condiciones climáticas no son necesariamente favorables para la acumulación de sales.
- e) Ciclos antropogénicos: son los ciclos de acumulación de sales relacionados a la intervención humana. Las actividades humanas que llevan a estos procesos de acumulación de sales pueden ser de diversa índole tales como la irrigación, el uso excesivo de fertilizantes, e inclusive el desarrollo de actividades no agrícolas como la minería que permiten la liberación excesiva de sales.

Si bien en el área de estudio puede ocurrir más de un ciclo de salinización, esta investigación se centra en los ciclos de salinización de origen antrópico relacionados principalmente a la irrigación artificial de tierras para el cultivo.

#### 2.4 Salinización en zonas áridas y semiáridas

Como se mencionó anteriormente, el agua constituye el medio de transporte más importante de las sales. Es por ello que la concentración de sales en la zona de las raíces se define por la diferencia entre el volumen y la concentración de sales del agua que ingresa al área de producción y la que sale de ella (Umalí 1993).

Esto puede expresarse a través de la siguiente fórmula:

$$S_g = D_r C_r + D_g C_g + D_i C_i + S_m + S_f - D_d C_d - S_p - S_c$$

donde:  $D_r$  y  $C_r$  son el volumen por unidad de área y la concentración de agua de lluvia,  $D_g$  y  $C_g$  son el volumen y concentración de sal del agua subterránea,  $D_i$  y  $C_i$  son el volumen y concentración de sales en el agua de irrigación,  $S_m$  es la sal disuelta de los minerales en el suelo,  $S_f$  es la sal adicionada al suelo a través de fertilizantes y agroquímicos,  $D_d$  y  $C_d$  son el volumen y concentración de sales en el agua drenada,  $S_p$  es la cantidad de sal precipitada y  $S_c$  es la cantidad de sal removida en los cultivos cosechados.

Este planteamiento teórico permite comprender que la salinización de suelos se relaciona directamente con un desbalance entre las entradas y salidas de las sales en solución. De tal forma que la acumulación excesiva de sales en los suelos se relaciona directamente con dificultades en el lavado y transporte de las mismas.

Es por ello que la salinización es un fenómeno que ocurre principalmente en zonas áridas y semiáridas y que es casi inexistente en zonas húmedas (USSLR 1954).

En las regiones húmedas, el lavado y transporte de sales ocurre de forma natural permitiendo el movimiento de las sales hacia el agua subterránea; donde son transportadas por corrientes hacia el océano (USSLR 1954).

Sin embargo, en las regiones áridas y semiáridas, el lavado y transporte de sales usualmente es local y las sales no son transportadas muy lejos. Esto no solo se debe a la ausencia de lluvias sino también a las altas tasas de evaporación que llevan a que las sales se acumulen en los suelos (USSLR 1954).

Se ha observado, además, que en estas regiones el mal drenaje es un factor que se relaciona comúnmente con los procesos de salinización y puede deberse a la presencia de una napa freática alta o a la baja permeabilidad del suelo (USSLR 1954).

Se puede ver que en las zonas áridas y semiáridas las bajas precipitaciones llevan a que los sistemas de drenaje no se desarrollen adecuadamente. De tal forma que el drenaje del agua desde la parte alta de la cuenca puede ocasionar una elevación del nivel freático en la parte baja, ocasionando la formación de suelos salinos (USSLR 1954).

Por su parte, la baja permeabilidad de los suelos se puede relacionar a la presencia de una capa geológica dura o a una mala textura o estructura del suelo (USSLR 1954).

De acuerdo a Walworth (2006), los suelos de texturas gruesas presentan un menor riesgo de generar problemas de salinización que los de texturas finas. Esto se debe a que los suelos de textura gruesa presentan poros de mayor tamaño que permiten el drenaje y lavado de las sales con facilidad.

Como se puede observar, las regiones áridas y semiáridas presentan características que las hacen más propensas a los procesos de acumulación de sales. No obstante, los problemas de salinización más comunes se dan con la instalación de sistemas de irrigación artificial en estas zonas (USSLR 1954).

## 2.5 Salinización e irrigación

De acuerdo a Umali (1993) la salinización de suelos como consecuencia de la irrigación puede producirse debido a tres factores: la adición de *cualquier* agua de irrigación, la irrigación de suelos previamente salinos y el incremento de los niveles de la napa freática (Umali 1993).

La adición de agua de irrigación en grandes cantidades puede llevar a la salinización de suelos ya que el agua trae consigo sales disueltas en solución. Al irrigar, la mayor parte del agua regresa a la atmósfera a través de la evaporación desde el suelo o a través de la transpiración de las plantas. Sin embargo, debido a que el porcentaje de sales utilizado por las plantas es mínimo la mayor parte se acumula en los suelos (Umali 1993).

De acuerdo al United States Salinity Laboratory (1954), las aguas utilizadas para irrigación pueden contener de 0.1 a 5 toneladas de sal por acre-pie de agua. Es decir, 0.1 a 5 toneladas de sal en 1,233.48 m<sup>3</sup> de agua aproximadamente.

Además, se debe considerar que en las zonas áridas y semiáridas, el uso de agua para la irrigación es mayor. Esto, sumado a la ausencia de lluvias y las altas tasas de evaporación puede llevar a la acumulación de sales en el suelo (Umali 1993).

El segundo factor se relaciona con la irrigación de suelos previamente salinos. Estos suelos son comunes en las regiones áridas y semiáridas ya que debido a la ausencia de lluvias las sales presentes en los suelos no han sido lavadas (Umali 1993).

Al irrigar estas áreas, las sales previamente presentes en los suelos se disuelven y son transportadas por el agua. Si la cantidad de agua aplicada es menor a la necesaria para lavar las sales esto llevara a una acumulación de sales en la zona de las raíces (Umali 1993).

En tercer lugar, la aplicación de agua de irrigación de forma excesiva puede llevar a una elevación de la napa freática. Usualmente durante los primeros años de los proyectos de irrigación los agricultores usan agua en exceso y no construyen drenes que permitan el drenaje del exceso de agua. Esto lleva a una elevación de la napa freática (USSLR 1954). Cuando la napa freática alcanza un nivel de profundidad determinado la capilaridad permite la ascensión del agua salada hacia las raíces (Umali 1993).

De acuerdo a estudios realizados por Gardner y Fireman (1958) y Sharma and Prihar (1973) si la napa freática se encuentra a una profundidad de 1 a 2m puede contribuir de forma significativa a la salinización en la zona de las raíces (FAO 1988).

## **2.6 Cultivos y salinización**

El exceso de sales en los suelos ocasiona retraso y crecimiento desigual de los cultivos, así como rendimientos pobres. El grado de afectación de las plantas dependerá del nivel de concentración de sales (FAO 1988).

En general, la presencia excesiva de sales impide el crecimiento de cultivos al disminuir la cantidad de agua disponible para ser absorbida por las plantas. Esto se debe a que las sales en exceso incrementan la presión osmótica de la solución del suelo, disminuyendo la capacidad de las plantas para absorber agua. Por otro lado, algunas sales en exceso pueden ser tóxicas para las plantas o inhibir la absorción de nutrientes necesarios para el crecimiento de los cultivos (FAO 1988).

Se debe notar que la resistencia de los cultivos a la presencia de sales difiere de una especie a otra. En la tabla 03 se puede observar un listado de cultivos de acuerdo a su grado de tolerancia a la salinidad.

Los cultivos considerados como muy tolerantes pueden resistir una concentración de sales del extracto de pasta saturada de 10g/L, los moderadamente tolerantes 5g/L y los cultivos sensibles de 2.5g/L (FAO 1985a).

**Tabla 03: Grado de tolerancia de los cultivos a la salinidad**

Muy tolerantes	Moderadamente tolerantes	Sensibles
Palmera datilera	Trigo	Trébol rojo
Cebada	Tomate	Arvejas
Remolacha azucarera	Avena	Frejoles
Algodón	Alfalfa	Caña de azúcar
Espárrago	Arroz	Pera
Espinaca	Maíz	Manzana
	Lino	Naranja
	Papa	Ciruela pasa
	Zanahoria	Ciruela
	Cebolla	Almendra
	Pepino	Albaricoque
	Granada	Durazno
	Higo	
	Oliva	
	Uva	

Fuente: FAO (1985a)

Se debe tener en cuenta que no existe un punto crítico de salinidad en el cual las plantas inhiben completamente su crecimiento. Sin embargo, a medida que la salinidad se incrementa las plantas reducen su crecimiento hasta que se vuelven cloróticas y mueren (FAO 1988).

### 2.7 Manejo de suelos salinos

A lo largo del tiempo los agricultores han utilizado diferentes prácticas para mantener la productividad de sus cultivos y evitar la acumulación excesiva de sales. Entre las prácticas de manejo de suelos salinos más comunes se encuentran el establecimiento de sistemas de drenaje del exceso de agua de los suelos, el lavado de las sales y el cambio de cultivos a especies más tolerantes a la salinidad. El drenaje del exceso de agua es una práctica fundamental para el manejo de la salinidad ya que permite controlar la profundidad de la napa freática (FAO 1985b).

Como se mencionó anteriormente, los problemas de salinidad se asocian comúnmente a la presencia de una napa freática poco profunda. Esto ocurre ya que al irrigar un área se adicionan grandes cantidades de agua que, en la ausencia de sistemas de drenaje, ocasionan un incremento de la napa freática. El agua subterránea asciende entonces por capilaridad hacia la zona de las raíces y, si es salina, se convierte en una fuente permanente de sales para los suelos. El agua se evapora entonces desde la superficie y las sales permanecen en los suelos incrementando su

concentración. Es por ello que la instalación de sistemas de irrigación requiere el establecimiento de sistemas de drenaje artificiales como canales y drenes que permitan eliminar el exceso de agua y controlar la profundidad de la napa freática (FAO 1985b).

Otra práctica común para el control de la salinidad se relaciona al lavado de las sales de los suelos. Cuando se tiene conocimiento de que existe una acumulación excesiva de sales, estas pueden ser lavadas del suelo aplicando una mayor cantidad de agua que la requerida por los cultivos en la época de crecimiento. El agua en exceso lleva las sales por debajo de la zona de las raíces a través de la percolación. El lavado debe ser realizado consecutivamente para inhibir la acumulación excesiva de sales (FAO 1985b).

Finalmente, una práctica común para el manejo de suelos salinos se relaciona al cambio de cultivos a especies más tolerantes a la salinidad. Asimismo, existen prácticas relacionadas al control de los periodos de irrigación y fertilización, suavizado del terreno para la distribución homogénea del agua, etc. (FAO 1985b).

## **2.8 Mediciones de salinidad**

Luego de haber revisado los planteamientos teóricos alrededor del proceso de salinización, queda por responder la pregunta acerca de cómo determinar si un suelo es considerado salino o no. El método más utilizado para determinar la salinidad de un suelo consiste en la cuantificación del contenido de sales solubles en el suelo a través de la medición de la conductividad eléctrica.

La conductividad eléctrica es una expresión numérica de la habilidad inherente de un medio para permitir el paso de una corriente eléctrica. Debido a que existe una relación cercana entre la conductividad y el contenido de sales de una solución acuosa, este parámetro es usado como expresión de la concentración total de sales disueltas (FAO 1999).

Sin embargo, aunque la conductividad es utilizada frecuentemente para calcular el contenido de sales, las mediciones de conductividad pueden verse afectadas por la temperatura de las muestras, la movilidad, valencia y concentraciones relativas de los iones en la solución (FAO 1999).

Las unidades de medición de la conductividad son los deciSiemens por metro (dS/m), miliSiemens por centímetro (mS/cm) o los micromhos por centímetro ( $\mu\text{mho/cm}$ ) y milimhos por centímetro (mmho/cm). A partir de las mediciones de conductividad se pueden realizar conversiones para calcular la concentración de sales en gramos por litro (g/L).

Existen dos métodos de laboratorio usados comúnmente para poder medir la conductividad eléctrica muestras de suelo (Gartley 2011):

- (i) Medir la conductividad eléctrica con un conductímetro portátil en un extracto de pasta saturada de suelo
- (ii) Medir la conductividad eléctrica con un conductímetro portátil en un extracto de una muestra de suelo en solución basado en un ratio fijo de agua-suelo

Si bien el primer método permite una medición más representativa del contenido de sales en un suelo en condiciones naturales, las dificultades en la preparación de los extractos de pasta saturada hacen que sea considerado un método más lento y más propenso a errores debido a la variabilidad de los analistas en la preparación de las pastas saturadas (Gartley 2011).

Por esta razón, el método de medición de conductividad eléctrica que utiliza extractos de muestras de suelo en solución en ratios fijos de agua-suelo es el preferido en muchos laboratorios. Se ha comprobado que este método es eficaz, rápido y reproducible en diversos tipos de suelo (Gartley 2011).

Para obtener los extractos de muestras de suelo en solución se pueden utilizar disoluciones en ratios suelo-agua de 1:1, 1:2.5 y 1:5. El ratio de disolución deberá ser tomado en cuenta al momento de seleccionar los estándares internacionales para interpretar la conductividad eléctrica ya que deberá estar adaptado a la disolución utilizada.

Con fines de esta investigación, se tomará como referencia los estándares proporcionados por la FAO, los cuales han sido adaptados por Dahnke y Whitney (1988) para un extracto de suelo en solución suelo-agua de 1:1 (Ver tabla 04).

**Tabla 04: Clasificación de suelos de acuerdo a la salinidad**

Salinidad del suelo	Conductividad del extracto de saturación (dS/m)*	Conductividad del extracto de saturación en ratio 1:1 (dS/m)**	Efectos sobre los cultivos
No salino	0 - 2	0 – 1.1	Efectos de salinidad insignificantes.
Ligeramente salino	2 - 4	1.2 – 2.4	Rendimientos de cultivos sensibles pueden verse restringidos.
Moderadamente salino	4 - 8	2.5 – 4.4	Rendimientos de muchos cultivos pueden verse restringidos.
Fuertemente salino	8 – 16	4.5 – 8.9	Solo cultivos tolerantes presentan rendimientos satisfactorios.
Extremadamente salino	> 16	> 9	Solo algunos cultivos muy tolerantes presentan rendimientos satisfactorios.

Fuente: \*FAO (1988) \*\* Dahnke y Whitney (1988)

Con el uso de estos estándares será posible interpretar los resultados de los análisis de muestras de suelos en el laboratorio que se presentan en capítulos posteriores.

Por otro lado, es importante mencionar que a través del análisis de laboratorio también es posible categorizar los suelos salinos en suelos sódicos, salino-sódicos y salinos, dependiendo del pH, conductividad y SAR (Sodium Adsorption Ratio).

El SAR se estima de la proporción de iones de sodio en comparación con los iones de magnesio y calcio presentes en el suelo. El cálculo de SAR es importante ya que un exceso de sodio intercambiable en el suelo lleva al reemplazo de los iones de calcio y magnesio ocasionando la dispersión de las partículas de suelo, descomponiendo los agregados y volviendo el suelo duro y reduciendo las tasas de infiltración de agua y aire. En la tabla 5 se presentan los estándares que permiten clasificar los suelos en salinos, salino-sódicos y sódicos.

**Tabla 05: Clasificación de suelos salinos**

Conductividad eléctrica (mmhos/cm a 25°C)	SAR	pH	Clasificación
>4	<15	<8.5	Salinos
>4	>15	>8.5	Salino-sódicos
<4	>15	>8.5	Sódicos

Fuente: Chhabra (1996)

Si bien en esta investigación no se realizará tal clasificación, es importante conocer los estándares que permiten categorizar los suelos salinos ya que se trata de un análisis muy frecuente.

## 2.9 Los SIG y el estudio de salinización suelos

La cartografía se relaciona cercanamente al estudio de los suelos. Desde hace varias décadas existe un interés por la clasificación y espacialización de los suelos. En 1961, FAO y Unesco iniciaron el proyecto para la elaboración del “Mapa Mundial del Suelo” que duró 20 años y tuvo como objetivo clasificar y espacializar los recursos de suelos mundiales. Esta clasificación fue utilizada como base por muchos países para elaborar mapas de suelo nacionales a escalas más reducidas (FAO 1990).

Con el interés por la evaluación de los recursos del suelo surgió también la voluntad de elaborar mapas que evaluaran procesos de degradación de suelos como la erosión y la salinización. Por ejemplo, la Unión Europea ha elaborado un “*Mapa de Suelos Salinos y Sódicos*”. La elaboración de

este mapa se basó información contenida en la European Soils Database (2004) y la recopilada por Szabolcs (1974) (European Soil Portal 2012).

En la actualidad, el desarrollo de los SIG permite un estudio más dinámico de los recursos del suelo al facilitar el análisis espacial-temporal y son muchos los investigadores que apuestan por estas metodologías. Por ejemplo, Mahmoud A. Abdelfattah (2009), que combina el uso de sensores remotos y sistemas de información geográfica para mapear la salinización de suelos, o J. Navarro-Pedreño (2007) que busca estimar la salinización de suelos utilizando modelos geoestadísticos en zonas áridas y semiáridas.

En esencia, existen muchas aplicaciones de los SIG dirigidas al estudio de los suelos y al proceso de salinización. A través de esta investigación se utilizarán herramientas de los SIG que, combinadas con teledetección, trabajo de campo y laboratorio, permitirán evaluar la pérdida de tierras de cultivo por salinización.



### 3. Área de estudio

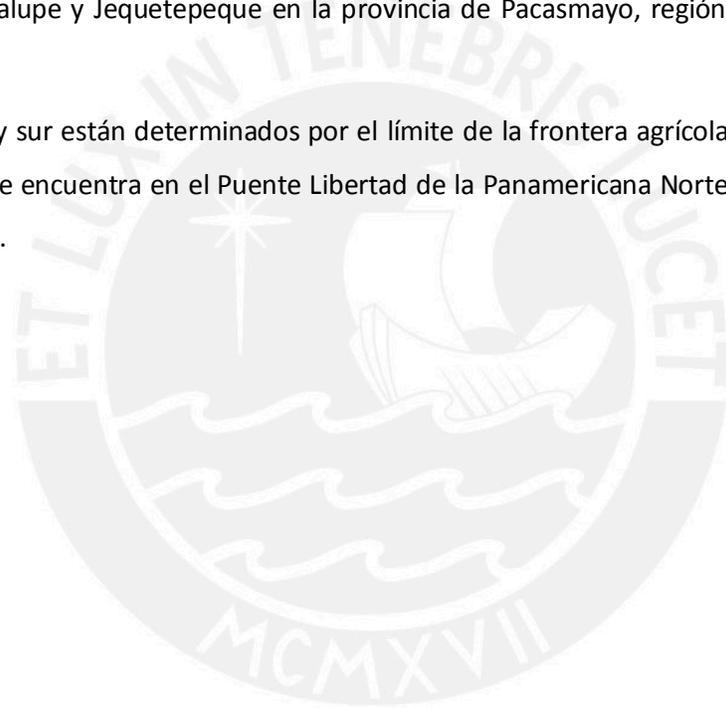
#### 3.1 Ubicación

La cuenca del río Jequetepeque está ubicada en la costa norte del Perú, en la margen occidental de la cordillera de los Andes. Se sitúa entre los paralelos 7°6' y 7°30' de latitud sur y los meridianos 78°30' y 79°40' de longitud oeste (Burga 1995).

La cuenca ocupa un área total de 698 200 ha y abarca las regiones de La Libertad (provincias de Pacasmayo y Chepén) y Cajamarca (provincias de Cajamarca, Contumazá, San Pablo y San Miguel).

El área de estudio comprende un sector de la cuenca baja del río Jequetepeque, abarcando los distritos de Guadalupe y Jequetepeque en la provincia de Pacasmayo, región de la Libertad (ver figura 01).

Los límites norte y sur están determinados por el límite de la frontera agrícola, mientras que, por el este, el límite se encuentra en el Puente Libertad de la Panamericana Norte, y por el oeste con el océano Pacífico.



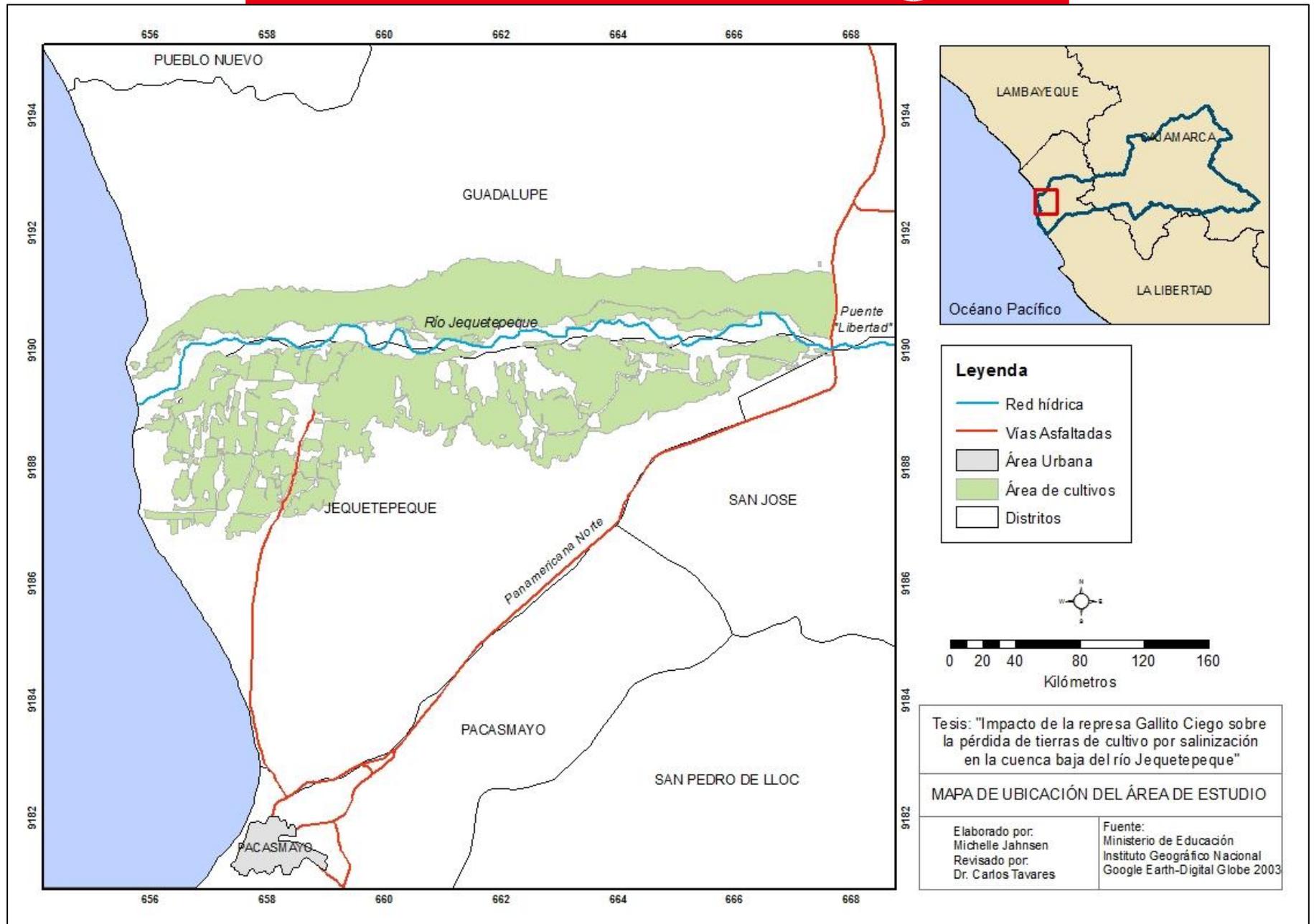


Figura 01. Mapa de ubicación del área de estudio.

### 3.2 Geomorfología

De acuerdo al estudio realizado por la ONERN en 1988, la cuenca del Jequetepeque abarca las tres grandes regiones macromorfoestructurales de la subregión occidental que conforman el territorio nacional, la región marino-costera, la repisa continental (también denominada costa) y la cordillera de los Andes (ONERN 1988).

El marco estructural del área en coactividad con los agentes marinos e hidroclimáticos han dado lugar a seis unidades macromorfoestructurales en el área de estudio:

- a) El margen continental: plataforma y talud continental.
- b) El litoral, incluye playas, acantilados, ensenadas, etc.
- c) La repisa continental o costanera, caracterizada por la presencia de planicies, terrazas, montes, dunas, etc.
- d) Los espolones andinos, formados por colinas y cadenas transversales descendentes de los Andes que dan lugar a los valles.
- e) El macizo central de la cordillera Occidental: formado por cordilleras montañosas con ambientes glaciales y periglaciales.
- f) Los valles por desgaste fluvial, tales como los valles de Jequetepeque, Chamán y Cuspinique.

### 3.3 Condiciones ecológicas y ambientes bioclimáticos

De acuerdo a la clasificación de las zonas de vida de Holdrige, la cuenca del río Jequetepeque abarca los siguientes ambientes bioclimáticos: árido y semicálido, transicional de árido a semiárido y semicálido, semiárido y semicálido templado, seco y semicálido templado, seco y templado, húmedo y templado, muy húmedo y templado, y, pluvial y frío (ONERN 1988).

El área de estudio está comprendida en el ambiente bioclimático árido y semicálido. En este ambiente, se ubican las zonas de vida bajo el término “desierto” comprendidas en el piso Premontano y en las provincias de humedad desecado, superárido y perárido (ONERN 1988).

Su principal rasgo es la existencia de una evapotranspiración potencial que varía desde 8 a 64 veces el valor de la precipitación. Esta característica es sumamente importante ya que tiene una influencia indirecta en la salinización de los suelos (ONERN 1988).

Este ambiente bioclimático abarca 255,500 ha o el 39% del área del valle. Especialmente, comprende las partes bajas de la cuenca conteniendo las planicies de la costa y las primeras estribaciones de la cordillera de los Andes, desde cero hasta los 1,800 msnm (ONERN 1988).

Esta sección del valle constituye la zona más seca de la cuenca, siendo sus precipitaciones insignificantes para el desarrollo agropecuario; salvo en épocas del Fenómeno del Niño donde las precipitaciones aumentan abruptamente (ONERN 1988).

Las condiciones de sequedad del valle evidencian la necesidad de las obras de irrigación y el efecto positivo que ha tenido la instalación de la represa Gallito Ciego en la agricultura, transformando la parte baja del valle en una zona altamente productiva. No obstante, dadas las condiciones naturales de aridez, el uso de la irrigación artificial altera las condiciones naturales del medio ocasionando problemas como la salinización de suelos.

### **3.4 Sistema de producción agrícola**

De acuerdo al *“Diagnóstico preliminar”* (Burga *et al.* 1995) la cuenca del río Jequetepeque comprende un área estimada de 513,649 ha, de las cuales casi 80% son tierras ocupadas por pastos naturales, forestales, tierras eriazas y otro tipo de uso. Sólo 21.6%, es decir, 110,775 ha son tierras de uso agrícola.

Por su parte, en la cuenca baja, el porcentaje de tierras dedicadas a la actividad agrícola corresponde a 41.1%; un porcentaje bastante alto en comparación a la cuenca alta donde sólo 16.8% es de uso agrícola. Esto se debe, principalmente, a las condiciones favorables para la agricultura que pueden encontrarse en la cuenca baja, dadas por las características climáticas, los sistemas de irrigación presentes, el tipo de suelo y la topografía plana. Es por esta razón que la actividad agrícola se concentra en la zona baja mientras que en la zona alta de la cuenca se desarrolla la ganadería.

Si bien la información recopilada en este estudio es anterior a esta investigación, permite tener una visión general de las características del valle y de los cultivos que se han venido desarrollando a lo largo del tiempo.

En el estudio mencionado anteriormente, el arroz es el principal producto cultivado en la cuenca baja debido a su alta rentabilidad. El cultivo de arroz ocupa casi 70% del área cultivada y consume 80% de agua utilizada para la irrigación. En general, se trata de un cultivo que utiliza tecnología moderna y que se destina al mercado nacional.

Los rendimientos promedios mediante riego regulado tienden a mantenerse y en algunas ocasiones a incrementarse alcanzando hasta 7,500 kg/ha. En definitiva, se trata de un producto de alta demanda comercial. Los principales centros arroceros del valle son: Guadalupe, San Pedro, Limoncarro, Pacanga y Chepén.

Por otro lado, el segundo producto de mayor cultivo en el valle es el maíz amarillo duro. A lo largo del tiempo, el área cultivada de este producto ha ido aumentando alcanzando el 26% del total cultivable. Su cultivo se da en todos los sectores del valle dado que es un producto con bastante demanda, especialmente por la agroindustria para el procesamiento de alimentos balanceados.

El estudio evidencia, además, que para 1995 ya se observaba una tendencia incipiente de los agricultores por incursionar en cultivos no tradicionales con el objetivo de incrementar sus ganancias.

Al comparar la información recopilada sobre los cultivos en el año 1995 con la campaña agrícola 2010-2011, se observa que en 15 años no ha habido grandes cambios en los patrones de cultivo. En la tabla 06 se presentan las áreas de cultivo aprobadas para la campaña grande 2010-2011 a nivel del valle del Jequetepeque.

**Tabla 06: Áreas aprobadas de cultivos para la Campaña Grande 2010-2011 a nivel del valle Jequetepeque Regulado**

Cultivos	Área aprobada (ha)	%
Arroz almacigo*	1,413.65	3.72
Arroz	28,273.00	74.35
Maíz amarillo duro	3,127.72	8.23
Menestras	1,041.99	2.74
Permanentes	2,769.93	7.28
Transitorios	2,814.10	7.40
<b>Total</b>	<b>38,026.74</b>	<b>100</b>

Fuente: (JUSDRRJ 2010)

\*El área de almacigo del cultivo de arroz no se suma al total por ser instalado después en campo definitivo

Como se puede observar en la tabla anterior el arroz continúa siendo el cultivo de mayor predominancia en el valle, alcanzando 74.35% del total de la superficie a cultivarse en la campaña 2010-2011. De igual forma, el maíz amarillo duro continúa siendo el segundo cultivo de mayor importancia con 8.23% del total del área agrícola.

De esta manera, los patrones de cultivo se mantienen vigentes, aunque en la actualidad, al visitar el valle es posible ver que algunos agricultores se dedican a cultivos no tradicionales como la alcachofa y la cebolla, e inclusive adoptan técnicas de irrigación modernas como el riego por goteo. Sin embargo, estos casos siguen siendo poco representativos del valle.

### **3.5 Sistema de irrigación y drenaje**

La administración del agua en el valle se lleva a cabo de acuerdo a la Ley 29338 “Ley de Recursos Hídricos”. Las entidades que participan en el proceso de administración del agua para riego son la Administración Local de Agua de Jequetepeque, la Junta de Usuarios Jequetepeque Regulado (operador de la infraestructura menor de riego) y las Comisiones de Usuarios (JUSDRRJ 2010).

Los Sectores de Riego de la Junta de Usuarios de Jequetepeque Regulado son los siguientes:

- Sector Pacanga
- Sector Guadalupe
- Sector Chapén
- Sector Talambo
- Sector Limoncarro
- Sector Jequetepeque
- Sector San José
- Sector San Pedro
- Sector Tecapa
- Sector Tolón
- Sector Huabal Zapotal
- Sector Ventanillas
- Sector Pay Pay

Es importante mencionar que el área de estudio pertenece a los sectores Jequetepeque y Limoncarro.

#### **3.5.1 Sistema de irrigación**

La infraestructura de riego en el valle está conformada por el Reservorio Gallito Ciego, la bocatoma Talambo-Zaña y el sistema de canales.

A continuación se presenta una breve descripción de cada una de estas obras de infraestructura (JUSDRRJ 2010).

- El reservorio Gallito Ciego: La presa Gallito Ciego es la principal obra de infraestructura y sirve para almacenar y regular las aguas del río Jequetepeque. Tiene una capacidad útil de embalse de 379.899 MMC (millones de metros cúbicos) de acuerdo a la batimetría realizada en el año 2006.
- Bocatoma Talambo- Zaña: La bocatoma Talambo- Zaña regula y controla la entrega de agua a través de siete compuertas.
- Sistema de canales principales: El sistema de canales principales está compuesto por el canal Talambo-Zaña, canal de empalme Guadalupe y el canal San Pedro - San José.
  - Canal Talambo-Zaña: Tiene una longitud de 31.315 km y distribuye agua a los sectores de Chepén y Talambo. Este canal se encuentra revestido de concreto y presenta infraestructuras de derivación y empalme con el sistema de riego interno. La capacidad de distribución de agua es de 29.00 m<sup>3</sup>/s.
  - Canal de Empalme Guadalupe: El canal de Empalme Guadalupe se encuentra revestido en un tramo de 2.00 km llegando hasta el partidor Guadalupe-Chafán empalme con el canal antiguo Guadalupe. Tiene una capacidad de conducción de 38.00 m<sup>3</sup>/s y abastece de agua a los sectores de riego de Limoncarro, Guadalupe, Peblo Nuevo y Pacanga.
  - Canal San Pedro – San José: El canal San Pedro-San José es un canal sin revestir que se extiende desde la bocatoma de captación en el río Jequetepeque y distribuye agua a los sectores de San Pedro y San José. Su capacidad de conducción es de 11.10 m<sup>3</sup>/s.

### 3.5.2 Sistema de drenaje

El sistema de drenaje está conformado por la red de colectores ubicados en la parte baja del valle. Se subdivide en el sistema de drenaje de la parte noroeste y el de la parte suroeste del valle Jequetepeque.

- Sistema de drenaje de la parte noroeste del valle Jequetepeque: Este sistema de drenaje se encuentra conformado por un colector principal y cuatro drenes laterales:
  - Colector Principal I-I de 15.70 km
  - Dren Lateral II-II de 4.17 km

- Dren Lateral III-III de 4.30 km
  - Dren Lateral IV-IV de 3.00 km
  - Dren Lateral V-V de 5.40 km
- 
- Sistema de Drenaje de la parte suroeste del Valle Jequetepeque: Este sistema tiene una longitud total de 31 km y se encuentra conformado por la red de colectores agrupados en los sectores de: Santa Elena, San Demetrio, El Milagro y Jequetepeque.



#### 4. Metodología

Para la realización de este trabajo de investigación la metodología constó de cuatro fases: el análisis cartográfico espacial-temporal, el trabajo de campo, el trabajo de laboratorio y la elaboración de mapas. A continuación se describen detalladamente cada una de estas etapas.

##### 4.1 Análisis cartográfico espacial-temporal

Con el objetivo de analizar la variación espacial de las áreas de cultivo en el periodo 1980-2003 se llevó a cabo un análisis espacial-temporal. El resultado de este análisis fue la reconstrucción digital de las áreas de cultivo para el periodo 1980 y 2003, lo que permitió cuantificar la pérdida y/o incremento de los terrenos cultivados.

###### 4.1.1 Materiales cartográficos

Para el desarrollo de esta etapa se utilizaron las siguientes fuentes cartográficas - teledetección:

- Fotografías aéreas del valle (1980): las fotografías aéreas utilizadas se obtuvieron del Servicio Aerofotográfico Nacional (ver tabla 07).
- Imagen Satelital Google Earth. Digital Globe. Fecha (2003): se obtuvo gracias al Centro de Investigación de Geografía Aplicada (CIGA) de la Pontificia Universidad Católica. Esta imagen se encontraba previamente georeferenciada.

###### 4.1.2 Procesamiento de la información cartográfica

El procesamiento de la información cartográfica se inició con la georeferenciación de las fotografías aéreas. Debido a que las imágenes satelitales de Google Earth 2003 se obtuvieron previamente georeferenciadas no fue necesario realizar este proceso.

###### 4.1.2.1 Georeferenciación de fotografías aéreas y creación de mosaico

Las fotografías aéreas utilizadas para la reconstrucción de las áreas de cultivo en el periodo de 1980 se obtuvieron del Servicio Aerofotográfico Nacional (SAN). Estas fotografías debieron ser georeferenciadas manualmente con la ayuda del Software ArcMap 9.3 y Google Earth.

**Tabla 07: Fotografías aéreas (1980) utilizadas**

Nombre del Proyecto	Autor	Fecha	Nº de vuelo	Nº de Fotografía
Proyecto Especial Jequetepepe	SAN	20-11-80	323-80	17
	SAN	20-11-80	323-80	19
	SAN	20-11-80	323-80	21
	SAN	20-11-80	323-80	23
	SAN	20-11-80	323-80	25
	SAN	20-11-80	323-80	27
	SAN	20-11-80	323-80	29
	SAN	20-11-80	323-80	31
	SAN	20-11-80	323-80	33
	SAN	20-11-80	323-80	36
	SAN	20-11-80	323-80	38
	SAN	20-11-80	323-80	40
	SAN	20-11-80	323-80	42
	SAN	20-11-80	323-80	44
	SAN	20-11-80	323-80	46
	SAN	20-11-80	323-80	48
	SAN	20-11-80	323-80	56
	SAN	20-11-80	323-80	58
	SAN	02-12-80	323-80-A	318
	SAN	02-12-80	323-80-A	320
	SAN	02-12-80	323-80-A	322
	SAN	02-12-80	323-80-A	324
	SAN	02-12-80	323-80-A	326
	SAN	02-12-80	323-80-A	328
	SAN	02-12-80	323-80-A	330
	SAN	02-12-80	323-80-A	332
SAN	02-12-80	323-80-A	334	
SAN	04-12-80	323-80-A	365	

Fuente: elaboración propia.

El procedimiento de georeferenciación se inició con el escaneo de las fotografías y el recorte de las áreas innecesarias en el programa Microsoft Picture Manager 2010. Una vez hecho esto, se procedió a trabajar en el software ArcMap 9.3 de la siguiente manera:

- i. *Levantamiento e identificación de puntos de control:* Se levantó una fotografía aérea del año 1980. Se identificaron puntos de control con la ayuda de la imagen satelital Digital Globe de Google Earth (2003). Los puntos de control se

establecen a partir de la identificación de un mismo punto en la imagen a georeferenciar y una imagen previamente georeferenciada, en este caso la imagen satelital de Google Earth del año 2003.

- ii. *Ingreso de los puntos de control:* Con la ayuda de la herramienta “Georeferencing” de ArcMap 9.3, se identifican los puntos de control en la fotografía aérea y posteriormente se ingresan las coordenadas reales obtenidas con la ayuda de la imagen satelital Digital Globe de Google Earth (2003). Se deben identificar la mayor cantidad de puntos de control entre ambas imágenes para minimizar el error de georeferenciación.
- iii. *Rectificación de la imagen:* Una vez ingresados los puntos de control y sus respectivas coordenadas reales se procede a rectificar la imagen con la opción “Rectify” en el menú “Georeferencing”.
- iv. *Definición de la proyección:* para culminar el proceso se define la proyección con la herramienta “Define Projections and Transformations” que se encuentra en el toolbox. En esta opción se elige el sistema de coordenadas y el datum.

Es importante mencionar que en el trabajo de georeferenciación de imágenes se buscó trabajar con un mínimo de veinte puntos de control por fotografía aérea y un error de georeferenciación menor al 2%.

Este procedimiento se repitió para las 28 fotografías utilizadas. Luego se procedió a extraer las áreas de interés para el estudio con la opción “Extract by mask” del “Spatial Analyst Tools” de ArcGIS 9.3. De esta manera, las fotografías se recortaron con mayor precisión.

Finalmente, se procedió a crear un mosaico con las fotografías aéreas para poder dar inicio al proceso de digitalización de las áreas de cultivo. El mosaico se creó para las 28 fotografías utilizando la opción “Mosaic to new raster” del “Data Management Tools” del software.

#### **4.1.2.2 Interpretación y digitalización de áreas de cultivo**

El proceso de interpretación y digitalización de áreas de cultivo se realizó de la misma manera en las imágenes satelitales de Google Earth 2003 y en el mosaico de fotografías aéreas del año 1980.

El procedimiento utilizado consistió en el análisis visual y posteriormente la digitalización manual de las áreas de cultivo en las imágenes de 1980 y 2003.

Es importante notar, que el análisis visual de imágenes presenta algunas ventajas sobre el digital ya que permite incorporar criterios complejos a la interpretación de la imagen. Mientras que el análisis digital se basa casi exclusivamente sobre la intensidad radiométrica de cada pixel, el análisis visual puede incorporar otros elementos a la interpretación como la textura, emplazamiento y estructura; elementos que serían muy difíciles de interpretar digitalmente (Chuvieco 1996).

Los principales criterios de interpretación visual utilizados en esta investigación son los siguientes:

- Tono: hace referencia a la intensidad de energía recibida por el sensor para una determinada banda del espectro. Los tonos claros y oscuros dependerán de la absorción y/o reflectividad del objeto en diferentes longitudes de onda.
- Color: es producto de la reflectividad selectiva de los objetos a diferentes longitudes de onda.
- Forma: se relaciona al trazado del contorno, permite reconocer elementos individuales en una imagen.
- Textura: referida a la rugosidad o suavidad de los elementos de la imagen.
- Situación espacial: se refiere al contexto en el cual se encuentra el elemento de interés para la interpretación, así como su relación con otros elementos cercanos.
- Patrón espacial: hace referencia a la organización de elementos dentro de la imagen.

Al aplicar estos criterios de interpretación visual fue posible identificar las áreas de cultivo y proceder a la digitalización manual con la ayuda del software ArcMap 9.3.

El proceso de digitalización de áreas de cultivo se realizó primero para el mosaico de fotografías de 1980 y luego para las imágenes satelitales Digital Globe de Google Earth 2003. El procedimiento fue el siguiente en ambos casos:

- I. Levantamiento de imágenes:* se levantó la imagen a digitalizar en el software ArcMap 9.3.
- II. Creación de shapefiles:* en la interfase del ArcCatalog se crearon shapefiles para digitalizar las áreas de cultivo en ambos periodos. Los shapes fueron denominados “cultivos 1980” y “cultivos 2003”.

- III. *Digitalización:* Con la ayuda de las herramientas del Editor toolbar del software se digitalizaron los polígonos correspondientes a las áreas de cultivo en ambas imágenes (1980 y 2003). Para ello se aplicaron los criterios de análisis visual antes mencionados.
- IV. *Cálculo del área:* Una vez culminado el proceso de digitalización de cultivos en 1980 y 2003; en la tabla de atributos de ambos shapes se creó una nueva columna denominada área. En ella se aplicó la opción “Calculate Geometry” para calcular las áreas de los polígonos.

Luego de haber realizado el proceso de digitalización de las áreas de cultivos en ambos periodos y con la obtención del área fue posible determinar el incremento y/o pérdida de las áreas de cultivo en el periodo 1980-2003.

## **4.2 Trabajo de campo**

El trabajo de campo se realizó en dos etapas realizadas en agosto de 2011 y agosto de 2012. Estas oportunidades sirvieron para el desarrollo de dos tareas importantes: la toma de muestras de suelo para ser analizadas posteriormente en el laboratorio y la medición de la salinidad en campo.

En la primera salida se tomaron las muestras de suelo de la margen izquierda y en la segunda se tomaron muestras de suelo de la margen derecha y se realizaron las mediciones de salinidad *in situ*.

### **4.2.1 Toma de muestras**

En la figura 02 se presenta la ubicación de los puntos de muestreo. Como se puede observar, el muestreo en campo se realizó en transectos que fueron establecidos de acuerdo a la accesibilidad del terreno.

Los materiales utilizados para llevar a cabo esta tarea fueron los siguientes: Imagen satelital Digital Globe de Google Earth (2003) impresa con los puntos de muestreo referenciales, GPS, pala de metal, guantes desechables, bolsas Ziploc, masking tape, plumones indelebles y hoja de registro de resultados.

El procedimiento se desarrolló de la siguiente manera: en primer lugar, se utilizó las imágenes satelitales de Google Earth (2003) para identificar los posibles puntos de muestreo de forma sistemática para cubrir toda la sección del valle de interés y se registraron las coordenadas de los mismos.

Con la ayuda de un GPS fue posible movilizarse en el valle y determinar los puntos de muestreo de acuerdo a la accesibilidad en el área de estudio. Los puntos de muestreo identificados inicialmente fueron sólo tomados como referencia. Por ello, para la toma de muestras de suelo se registró la ubicación del punto elegido utilizando el GPS.

Luego se removió la capa superficial de vegetación y con una pala de metal se cavó una profundidad de 25 a 30cm desde la superficie, de ahí se obtuvo una muestra de aproximadamente 500g. Se registró la ubicación, el código de la muestra y las características del lugar en una tabla. Seguidamente, las muestras fueron rotuladas y almacenadas en bolsas al vacío. Además, fueron conservadas en refrigeración hasta su análisis en el laboratorio.

Es importante mencionar que se tomaron todas las muestras necesarias considerando los recursos disponibles y la representatividad del muestreo. En total se tomaron diecisiete muestras, nueve correspondientes a la margen izquierda y ocho a la margen derecha. En la tabla 08 y en la figura 02 es posible identificar todos los puntos de muestreo.

**Tabla 08: Puntos de muestreo de suelo**

Margen del río	Punto de muestreo	Coordenadas UTM Zona 17 S		Observaciones
		Este	Norte	
Izquierda	1m	655833	9188782	Boca del río, área sin cultivar. Grama salada.
	2m	666708	9190220	Cultivo de frejol baya.
	3m	666584	9189595	Cultivo de maíz, muestra húmeda.
	4m	662278	9190166	Área preparada para cultivo.
	5m	662499	9188093	Área en descanso, cultivo de arroz.
	6m	660152	9188765	Cultivo de alfalfa.
	7m	659537	9190178	Área en descanso, cultivo de arroz.
	8m	655939	9187312	Cerca desembocadura de dren al mar, área sin cultivo. Presencia de grama salada.
	9m	656355	9187222	Cultivo de cebolla en área "salina". Riego por goteo.
Derecha	C1	655794	9189783	Terreno removido
	C2	656008	9189529	Terreno en reposo
	C3	659333	9190900	Cultivo maíz
	C4	659313	9190500	Terreno en reposo, arroz
	C5	662913	9191202	Terreno en reposo, arroz
	C6	662538	9190494	Terreno removido
	C7	667263	9191265	Terreno en reposo, arroz
	C8	666948	9190478	Terreno en reposo, arroz

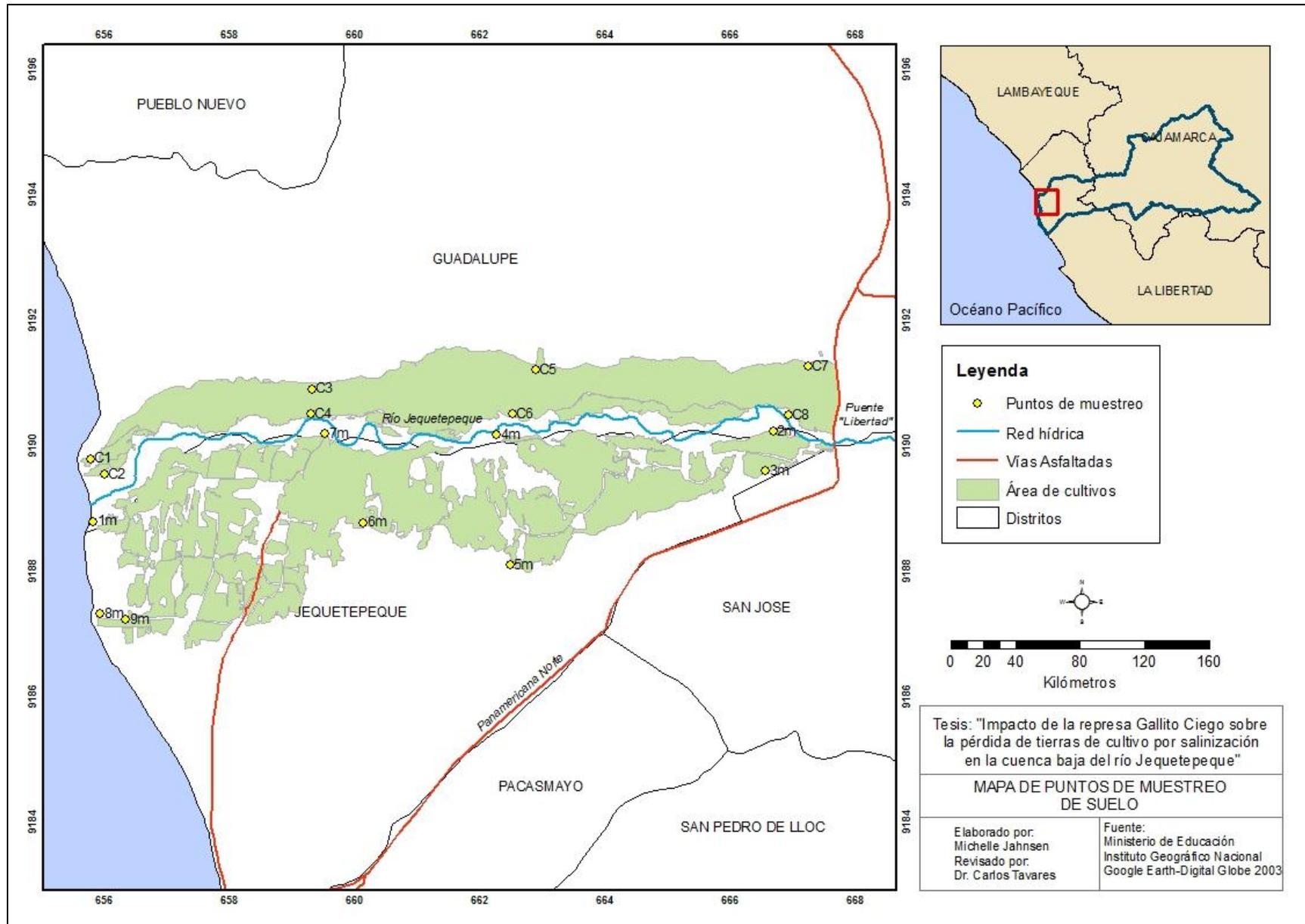


Figura 02. Mapa de puntos de muestreo de suelo a ser analizados en el laboratorio.

#### 4.2.2 Mediciones de salinidad en campo

Las mediciones de salinidad en campo también fueron realizadas a través de transectos establecidos en función a la accesibilidad del terreno. En la figura 03 se pueden observar los puntos de muestreo para las mediciones de salinidad en campo.

Para esta labor se utilizó un conductímetro portátil Hanna Instruments HI 993310 que permitió medir la salinidad *in situ* en gramos por litro. Este equipo cuenta con una punta cónica de acero inoxidable que permite realizar mediciones directas en suelos. Tiene una resolución de 1.0 g/L y una precisión de  $\pm 2\%$  del campo de medición.

Otros materiales utilizados fueron los siguientes: Imagen satelital Google Earth (2003) impresa con los puntos de toma de mediciones referenciales, GPS, agua destilada (limpieza del equipo) y hoja de registro de resultados.

El procedimiento se llevó a cabo de la siguiente manera. Inicialmente, haciendo uso de las imágenes satelitales de Google Earth (2003) se identificaron posibles puntos de muestreo de forma sistemática para cubrir toda la sección del valle de interés y se registraron las coordenadas de los mismos.

Con la ayuda de la imagen satelital impresa y un GPS se pudo movilizar en el valle y determinar los puntos de medición. Los puntos identificados inicialmente en la imagen satelital fueron tomados sólo como referencia. En la tabla 09 se pueden identificar los puntos de muestreo tomados para las mediciones de la salinidad en campo.

El procedimiento de medición de la salinidad consistió en registrar la ubicación del punto de muestreo con la ayuda de un GPS e introducir la punta de acero del conductímetro en el suelo a una profundidad de 10 a 15cm. Los resultados obtenidos fueron debidamente registrados. Después de cada medición el equipo fue limpiado con agua destilada.

Las mediciones de salinidad en campo fueron utilizadas posteriormente para la elaboración de mapas.

Tabla 09: Puntos de mediciones de salinidad en campo en el tramo inferior del río Jequetepeque

Margen del río	Punto de muestreo	Coordenadas UTM Zona 17 S		Observaciones
		Este	Norte	
Izquierda	J1	655737	9188732	Boca del río, sin cultivo.
	J2	655848	9187416	Terreno sin cultivo, grama salada y verdolaga
	J3	658188	9187289	Terreno removido
	J4	658501	9188031	Entrada Jequetepeque, terreno en reposo
	J5	658976	9189418	Terreno en reposo
	J6	666777	9190225	Terreno en reposo, arroz
	J7	666866	9189818	Cultivo alcachofa
	J8	664931	9189691	Cultivo maíz
	J9	663628	9190063	Terreno abandonado, mala hierba
	J10	662110	9188667	Cultivo cebolla (húmedo)
	J11	660670	9189484	Cultivo cebolla
	J12	659589	9188470	Terreno sin cultivo, grama salada
Derecha	C1	655794	9189783	Terreno removido
	C2	656008	9189529	Terreno en reposo
	C3	659333	9190900	Cultivo maíz
	C4	659313	9190500	Terreno en reposo, arroz
	C5	662913	9191202	Terreno en reposo, arroz
	C6	662538	9190494	Terreno removido
	C7	667263	9191265	Terreno en reposo, arroz
	C8	666948	9190478	Terreno en reposo, arroz

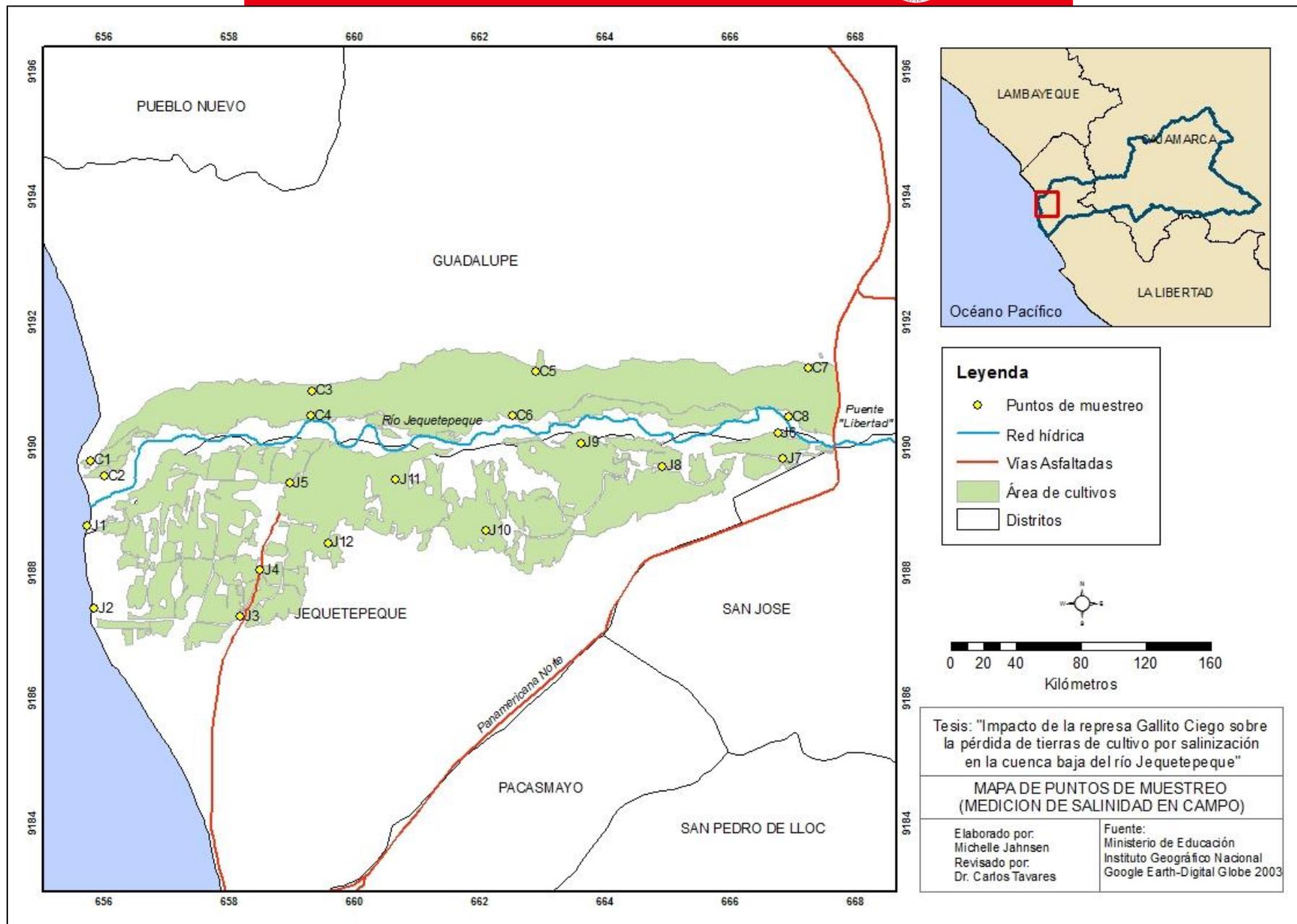


Figura 03. Mapa de puntos de muestreo para la medición *in situ* de salinidad de suelos.

### 4.3 Trabajo de laboratorio

El trabajo de laboratorio se realizó en un periodo de cuatro semanas. Los parámetros analizados en el laboratorio fueron: textura, materia orgánica, conductividad y pH.

Para el análisis de cada parámetro se utilizaron metodologías estandarizadas que fueron adaptadas a la disponibilidad recursos del laboratorio. Todas las muestras debieron ser preparadas antes de su análisis.

La preparación puede dividirse en cinco etapas: secado de las muestras, disgregado, tamizado, cuarteado y pesaje. Para dar inicio al secado, se retiraron las muestras del congelador y se colocaron en vasos de precipitados debidamente rotulados. Las muestras fueron introducidas en la estufa durante 24 horas a 105°C para secarlas. Al salir de la estufa, las muestras se dejaron enfriar en los desecadores de vidrio.

La segunda etapa de la preparación consistió en el disgregado de las muestras con la ayuda de un mortero. Luego, en la tercera etapa se procedió a tamizar las muestras utilizando un tamiz con apertura de malla de 2mm. Más adelante, en la cuarta etapa se procedió al cuarteado de las muestras para obtener porciones de las mismas. La última etapa consistió en el pesaje de las muestras de acuerdo a los requerimientos de los análisis de laboratorio.

#### 4.3.1 Análisis de Textura

Para el análisis de textura del suelo se utilizó como referencia la norma ASTM D422-63 (reapproved 2007) "*Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils*". Este método también es conocido como el método del hidrómetro.

En el experimento, el hidrómetro es utilizado para medir la densidad de la suspensión suelo/agua a lo largo de distintos periodos de tiempo. Esta densidad varía conforme pasa el tiempo ya que las partículas se van sedimentando. Las partículas de mayor tamaño toman menos tiempo en sedimentarse que las de menor tamaño.

La separación de las partículas de suelo de diferente tamaño se fundamenta en la distinta velocidad de sedimentación. Esta velocidad se basa en la Ley de Stokes que puede ser descrita como una dependencia lineal entre el diámetro de la partícula  $X$  y el inverso de la raíz cuadrada del tiempo:

$$X = \theta t^{-1/2}$$

donde; X es el diámetro de la partícula, t tiempo de sedimentación y  $\theta$  es un parámetro de sedimentación y una función de la profundidad de asentamiento del hidrómetro, la viscosidad de la solución y la densidad de la partícula y la solución.

En esencia, el método del hidrómetro se basa en que partículas de diferentes tamaños requieren diferentes tiempos de sedimentación. Para este experimento se consideró que después de 40 segundos el total de las partículas de arena se había sedimentado, y a las 2 horas el total de partículas de limo y arena se encontraban sedimentadas.

De tal forma que al realizar mediciones simultáneas con el hidrómetro en diferentes periodos tiempo se conoce la cantidad de partículas en suspensión y, conociendo los tiempos de sedimentación predeterminados así como el peso total de la muestra, es posible calcular el porcentaje de arena, limo y arcilla. De esta manera, se sabe la clase textural del suelo.

Es necesario notar que la temperatura afecta la lectura del hidrómetro. De acuerdo a Medina (2007) el valor de la densidad del suelo en solución es igual a la lectura del hidrómetro sólo cuando se efectúa en condiciones similares a las que fue calibrado el dispositivo. Por esta razón, es necesario realizar correcciones a las mediciones. En este caso, la corrección considerada fue de incrementar 0.36g/L por cada grado que sobrepasa la temperatura de calibración de 20°C o restarlo por cada grado menos.

Para el desarrollo del método del hidrómetro es necesario utilizar un dispersante, siendo el más comúnmente utilizado el hexametáfosfato de sodio  $(\text{NaPO}_3)_{x=6}$  (CAS 68915-31-1). La función de este dispersante es acomplejar el calcio en solución y reemplazarlo por el sodio en el complejo de intercambio, dando como resultado la dispersión de las partículas y provocando el rompimiento de los agregados (Gabriels y LOBOS, 2006). La agitación mecánica también se utiliza para mejorar la dispersión de las partículas antes de empezar el ensayo.

Los materiales utilizados para el análisis de textura fueron los siguientes: agua destilada, 125 mL de solución dispersante de hexametáfosfato de sodio (5 g/L de concentración), hidrómetro ASTM 152H N°24-4640, plancha con agitación magnética Thermo Scientific N°SP121220-33, magneto recubierto de teflón, probeta de 1 litro, vaso de precipitado de 250 mL, termómetro, cronómetro, tabla de registro y balanza con precisión de 0.01g.

Para la determinación de la textura se analizó 80 gramos de muestra. En un vaso de precipitado, se agregó 125 mL de solución dispersante de hexametáfosfato de sodio a la muestra, se revolvió y se dejó reposar por 24 horas. Nuevamente, se revolvió la muestra durante 1 minuto en un agitador magnético. Posteriormente, se vació el contenido en una probeta de un litro limpiando el vaso con agua destilada para no desperdiciar muestra. Finalmente, se agregó agua destilada hasta completar 1 litro. Una vez lista para el análisis, se agitó la probeta con movimientos de reloj de arena hasta que la muestra estuviera completamente en suspensión. Se descansó la probeta sobre una mesa y se activó el cronómetro para dar inicio a las mediciones con el hidrómetro, y se midió la temperatura del agua. Simultáneamente, se utilizó una probeta llena con agua destilada con 125 mL de solución dispersante que sirvió como referencia para calibrar las lecturas del hidrómetro en las probetas con muestras de suelo y el termómetro de acuerdo a los tiempos considerados para cada medición (ver tabla 10).

**Tabla 10: Tiempos para la realización de mediciones**

Tiempos de mediciones	40s	2min	5min	15min	30min	1h	2h	4h 10min	24h

Este procedimiento se aplicó a todas las muestras y los resultados fueron registrados en una tabla. Fue necesario corregir las lecturas del hidrómetro utilizando el factor de corrección antes mencionado debido a la variación de temperatura (se sumó 0.36g/L a la densidad por cada grado por encima de la temperatura de calibración del hidrómetro equivalente a 20°C.).

Se calculó los porcentajes de arena, limo y arcilla tomando como referencia los tiempos de sedimentación de las partículas según las lecturas del hidrómetro a 40 segundos (intervalo arena – limo) y 2 horas (intervalo limo – arcilla). Se determinó la clase textural del suelo (SSNS 1993) utilizando la calculadora de textura del suelo en línea del Servicio de Conservación de Recursos Naturales del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. La nomenclatura en español se basó en la traducción de la clasificación textural de la SSNS (1993) adoptada por la FAO (2010).

#### 4.3.2 Materia Orgánica

Para el análisis de materia orgánica se tomó como referencia la norma ASTM D2974-07a “Standard Test Methods for Moisture, Ash, and Organic Matter of Peat and Other Organic Soils”. El procedimiento utilizado se basó en el cálculo del porcentaje de materia orgánica a partir de la

comparación del peso de una muestra de suelo antes y después de pasar por un proceso de combustión.

Se hace hincapié que, al someter una muestra de suelo a altas temperaturas, la materia orgánica se volatiliza y sólo se mantiene la porción mineral del suelo. De tal forma que, conociendo el peso de la muestra antes del proceso y después de este, se puede calcular la pérdida de peso y, consecuentemente, el porcentaje de materia orgánica del suelo.

De acuerdo a Faithful (2002) el método de ignición para la determinación de materia orgánica en suelos es aproximado ya que puede sobrestimar el verdadero contenido de materia orgánica, en especial en suelos arcillosos. No obstante, debido a la simplicidad y eficacia es un método ampliamente utilizado.

Los materiales utilizados para llevar a cabo el análisis de materia orgánica fueron los siguientes: mufla Shimaden LST023-00, crisoles de porcelana, balanza analítica Adventurer OHAUS N°AR2140, desecador de vidrio CSN SIMAX, espátula, lápiz y tabla de registro. El procedimiento utilizado se describe a continuación: con la ayuda de la balanza analítica se pesó el crisol utilizado; luego, se pesó 1 gramo de muestra de suelo utilizando el mismo crisol. Se registró el peso exacto del crisol y de la muestra por separado en una tabla. Se rotuló los crisoles adecuadamente; los crisoles fueron llevados a la mufla a 450°C durante 4 horas. Luego de apagarse la mufla, se esperó 1 hora para que se enfríe antes de retirar las muestras y colocarlas en los desecadores. Finalmente, utilizando una balanza analítica se determinó el peso final de los crisoles, la pérdida de peso de la muestra de suelo y se calculó el porcentaje de materia orgánica.

#### **4.3.3 pH y Conductividad**

Los análisis de pH y conductividad eléctrica se realizaron utilizando un procedimiento similar por lo cual la metodología será descrita de forma conjunta. Las mediciones de estos parámetros se obtuvieron del extracto en una relación 1:1 (suelo: agua).

Los materiales utilizados para el análisis de estos parámetros fueron los siguientes: 40mL de agua destilada, vaso de precipitado de 250 mL, magneto con recubrimiento de teflón, plancha con agitación magnética Thermo Scientific N°SP121220-33, tubos de ensayo de 16 mm x 50 mm, tubos de ensayo de 30 mm x 150 mm, centrífuga Hettich EBA8S, pHmetro Hanna Instrument HI 89128, conductímetro InoLab Cond730, WTW y tabla de registro.

El procedimiento se describe en las siguientes líneas: inicialmente, se tomaron 40 mL de muestra de suelo y se colocaron en un vaso de precipitado de 250 mL, donde se agregaron 40 mL de agua destilada. Se agitó la muestra por 5 minutos. Luego se dejó reposar por 24 horas para permitir la sedimentación de las partículas de suelo. A continuación, se vertió la porción líquida de la muestra en 3 tubos de ensayo de 16 mm x 50 mm que fueron introducidos en la centrífuga por 5 minutos. Esta máquina permite la decantación de partículas de tal forma que, al sacar las muestras, fue muy fácil separar el líquido de las partículas sólidas. El líquido de los 3 tubos de ensayo se vertieron en un tubo de ensayo de mayor volumen (30 mm x 50 mm) para la medición con el sensor de pH. Se registró la medición en la tabla de registro y se procedió a medir la conductividad de la muestra utilizando un conductímetro.

#### 4.4 Elaboración de mapas

La última etapa del desarrollo de esta investigación consistió en elaborar mapas para presentar los resultados obtenidos utilizando el software Arcgis 9.3.

La base sobre la cual se elaboraron todos los mapas fueron los shapes del Ministerio de Educación (MINEDU) y el Instituto Geográfico Nacional (IGN) correspondientes a los límites distritales, vías asfaltadas y centros urbanos. La red hídrica fue digitalizada sobre la imagen satelital Google Earth (2003) y, posteriormente, agregada a los mapas. De la misma manera, las áreas de cultivo corresponden a la digitalización de la imagen satelital Google Earth (2003) que se describe en la etapa 7.1 de esta metodología. Todos los mapas contaron con un mapa de referencia elaborado a partir de los límites departamentales y los límites de la cuenca del río Jequetepeque.

A continuación se especifican algunos detalles de las adiciones que se realizaron sobre la base descrita anteriormente para cada uno de los mapas elaborados:

- Mapa de Ubicación del Área de Estudio

Para elaborar este mapa se buscó resaltar la parte baja del valle donde se encuentra el área de estudio, tomando como referencia de ubicación la ciudad de Pacasmayo. Para ello se utilizó como referencia del área del valle, las zonas de cultivo digitalizadas en Google Earth (2003) y el shape de centros poblados del MINEDU, además, de los otros shapes descritos anteriormente.

- Mapas de puntos de muestreo: laboratorio y medición de salinidad en campo

Sobre la base, se adicionaron los shapes de puntos de muestreo los cuales fueron elaborados a partir de los puntos de muestreo tomados en campo con la ayuda del GPS.

- Mapas de tierras de cultivo de 1980 y 2003

Para los mapas de áreas de cultivo se utilizaron los shapés áreas de cultivo derivados de la digitalización de la imagen satelital Google Earth (2003) y el mosaico de fotografías aéreas (1980) que se describe en la etapa 7.1 de esta metodología.

- Mapa de variación de tierras de cultivo en el periodo 1980-2003

En este caso, se utilizaron igualmente los shapés de las áreas de cultivo que corresponden a la digitalización de la imagen satelital Google Earth (2003) y el mosaico de fotografías aéreas (1980) que se describe en la etapa 7.1 de esta metodología. Sobre esto, utilizando la herramienta Clip se recortaron los shapés de 1980 y 2003 para obtener la pérdida de tierras de cultivo y la ampliación de la frontera agrícola. Luego con la opción Simbology se atribuyeron colores distintos a cada shape para permitir el contraste.

- Mapa de salinidad del suelo (medición en campo)

En el mapa se observa como fondo el perfil de los cultivos digitalizados a partir de la imagen satelital de Google Earth (2003). Sobre esta imagen se introdujo el shape de puntos de muestreo de campo y se activaron los labels de resultados de medición de salinidad. Luego se procedió a interpolar los resultados utilizando la herramienta IDW del paquete de herramientas Interpolation del Spatial Analyst Tools del Toolbox. La herramienta IDW interpola una superficie de ráster a partir de puntos utilizando una técnica de distancia inversa ponderada. El resultado de este procedimiento fue reclasificado para ajustarse a la clasificación requerida y recortado utilizando el perfil de cultivos de la imagen de Google Earth 2003.

- Mapa de textura del suelo

Como fondo se utilizó el perfil de los cultivos digitalizados a partir de la imagen satelital de Google Earth (2003). Sobre esta imagen se introdujo el shape de puntos de muestreo de laboratorio y se activaron los labels de resultados de textura.

- Mapas de materia orgánica, pH y conductividad del suelo

Como fondo se utilizó el perfil de los cultivos digitalizados a partir de la imagen satelital de Google Earth (2003). Sobre esta imagen se introdujo el shape de puntos de muestreo de laboratorio y se activaron los labels de resultados de materia orgánica, pH y conductividad, respectivamente. Luego, en cada caso, se procedió a interpolar los resultados utilizando la herramienta IDW del

paquete de herramientas Interpolation del Spatial Analyst Tools del Toolbox. Los resultados de este procedimiento fueron reclasificados para ajustarse a la clasificación requerida y recortados utilizando como base el perfil de cultivos de la imagen satelital Google Earth (2003).

## 5. Resultados

Los resultados han sido divididos de acuerdo a la etapa de la metodología a la que corresponden para su mejor presentación.

### 5.1 Resultados del análisis cartográfico espacial- temporal

En las figuras 04 y 05 se presentan, respectivamente, la extensión de las áreas de cultivo para los años 1980 y 2003. Como se puede observar en la tabla 11, en el año 1980 la extensión de las áreas de cultivo era de 2,359.19 ha, mientras que, en el año 2003, se alcanzó una extensión de 2,401.38 ha. De tal forma que se observa un incremento de 42.19 ha.

**Tabla 11: Tierras de cultivo en 1980 y 2003**

	Hectáreas (ha)
<b>Tierras de cultivo (1980)</b>	2,359.19
<b>Tierras de cultivo (2003)</b>	2,401.38
<b>Diferencia</b>	+42.19

Si bien en general hubo una expansión agrícola, se observa a partir de la figura 06 que en algunos sectores se perdieron áreas de cultivo y en otros se incrementaron. El total de áreas de cultivo que se perdió en el periodo de 1980-2003 fue de 256.19 ha, mientras que el total de áreas que se incrementó fue 298.38 ha.

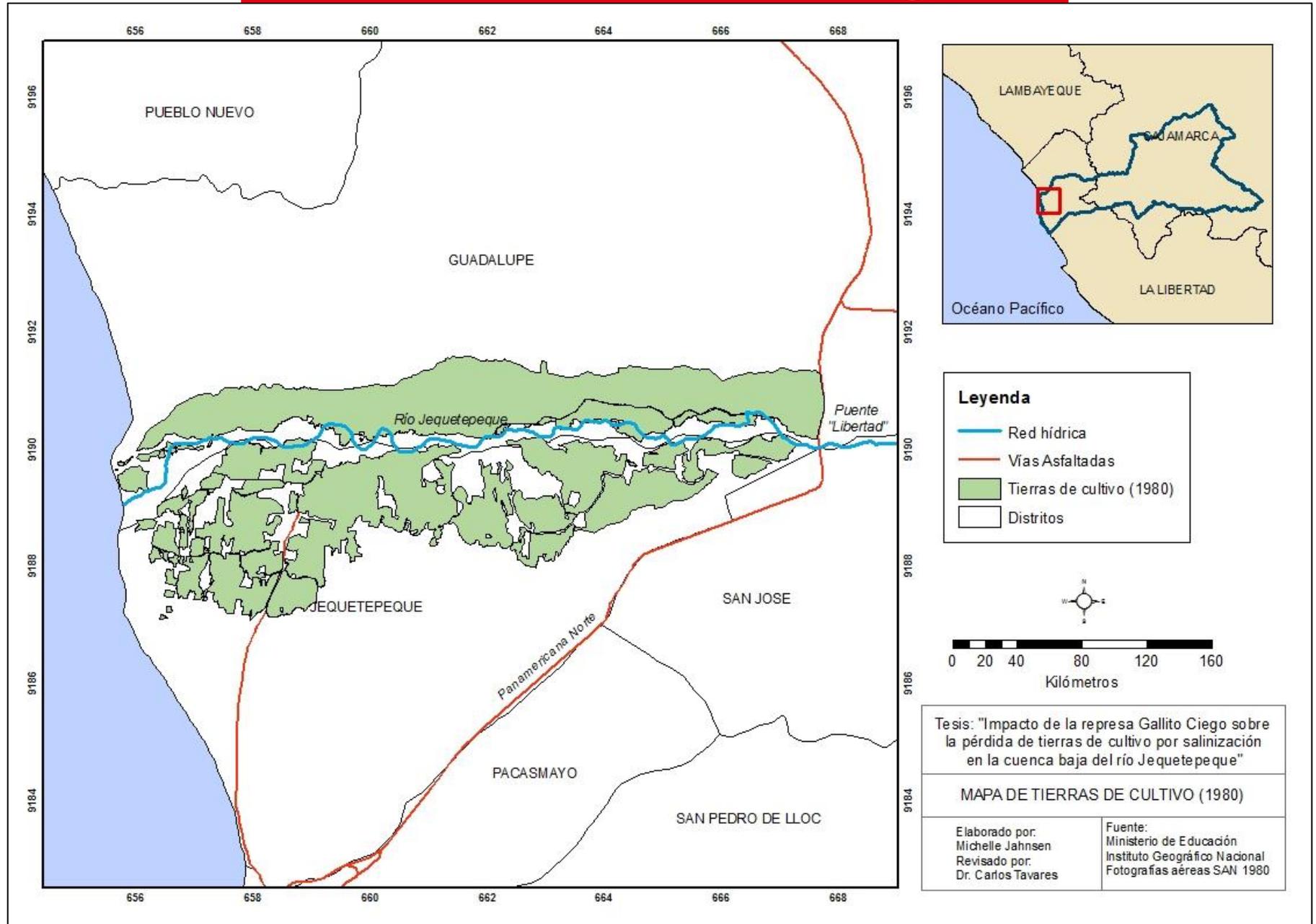


Figura 04. Mapa de tierras de cultivo en el año 1980.

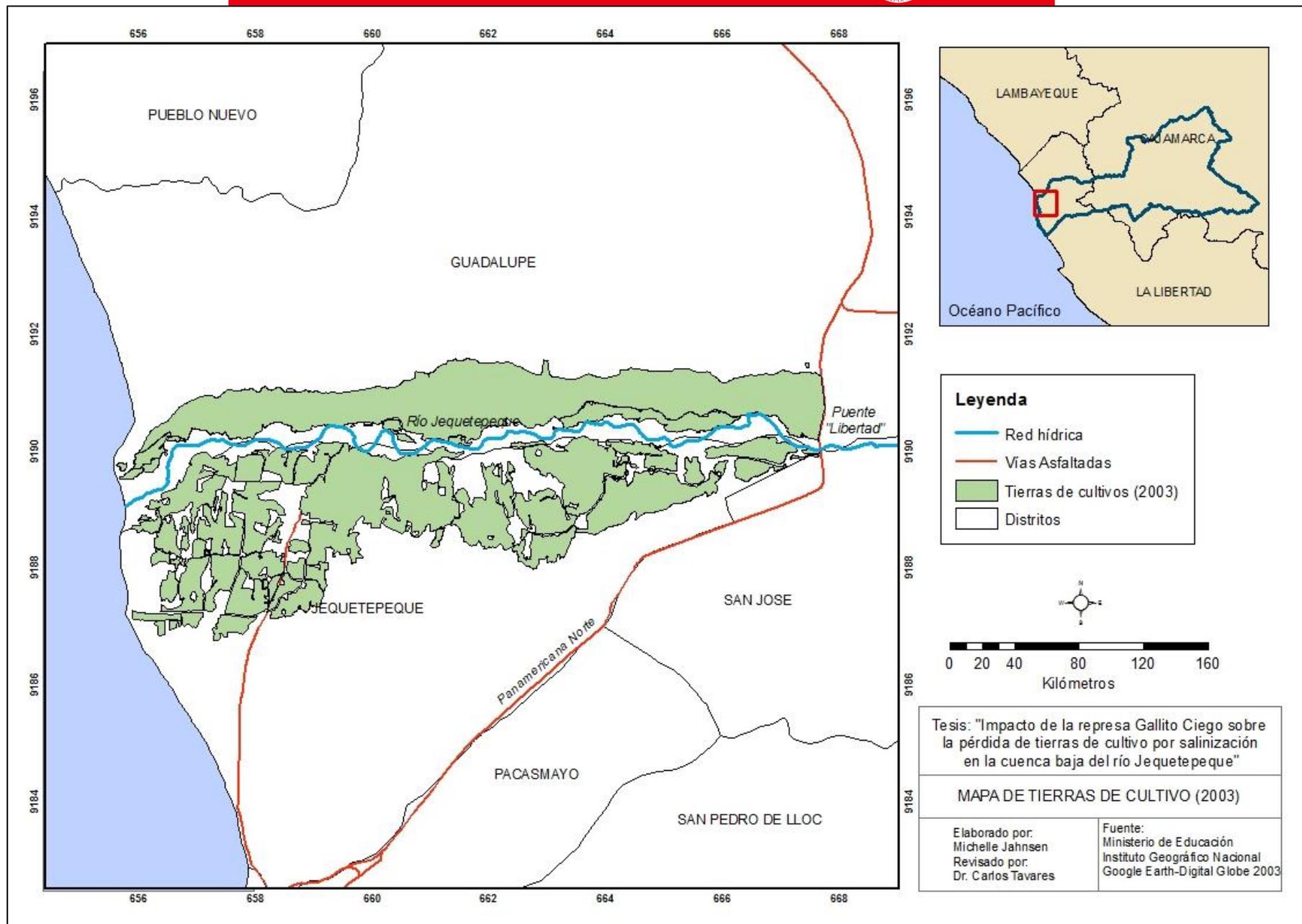


Figura 05. Mapa de tierras de cultivo en el año 2003.

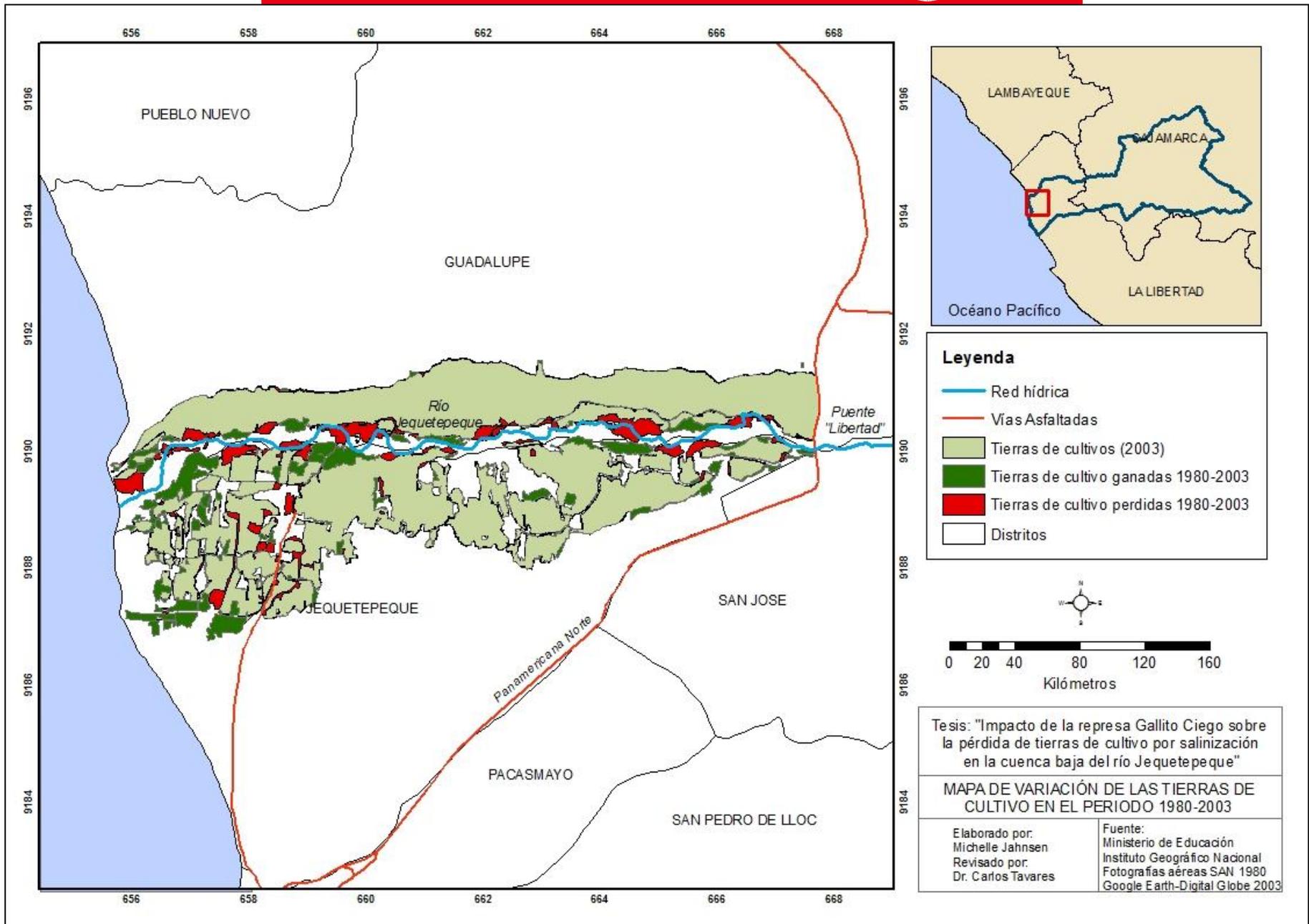


Figura 06. Mapa de variación de tierras de cultivo en el periodo 1980-2003.

## 5.2 Resultados de las mediciones de salinidad en campo

En la tabla 12 se presentan los resultados de las mediciones de salinidad en campo. Los resultados se presentan en gramos por litro y varían entre 0.04 y 0.59 g/L de sales.

**Tabla 12: Resultados de las mediciones de salinidad en campo**

Margen del río	Punto de muestreo	Salinidad (g/L)
<b>Izquierda</b>	J1	0.04
	J2	0.04
	J3	0.25
	J4	0.58
	J5	0.28
	J6	0.2
	J7	0.24
	J8	0.21
	J9	0.47
	J10	0.27
	J11	0.1
	J12	0.59
<b>Derecha</b>	C1	0.23
	C2	0.03
	C3	0.27
	C4	0.23
	C5	0.2
	C6	0.41
	C7	0.37
	C8	0.11

Como se puede apreciar en la figura 07, de acuerdo a los resultados de las mediciones de salinidad en campo, no existe un patrón claro en la distribución de la concentración de sales.

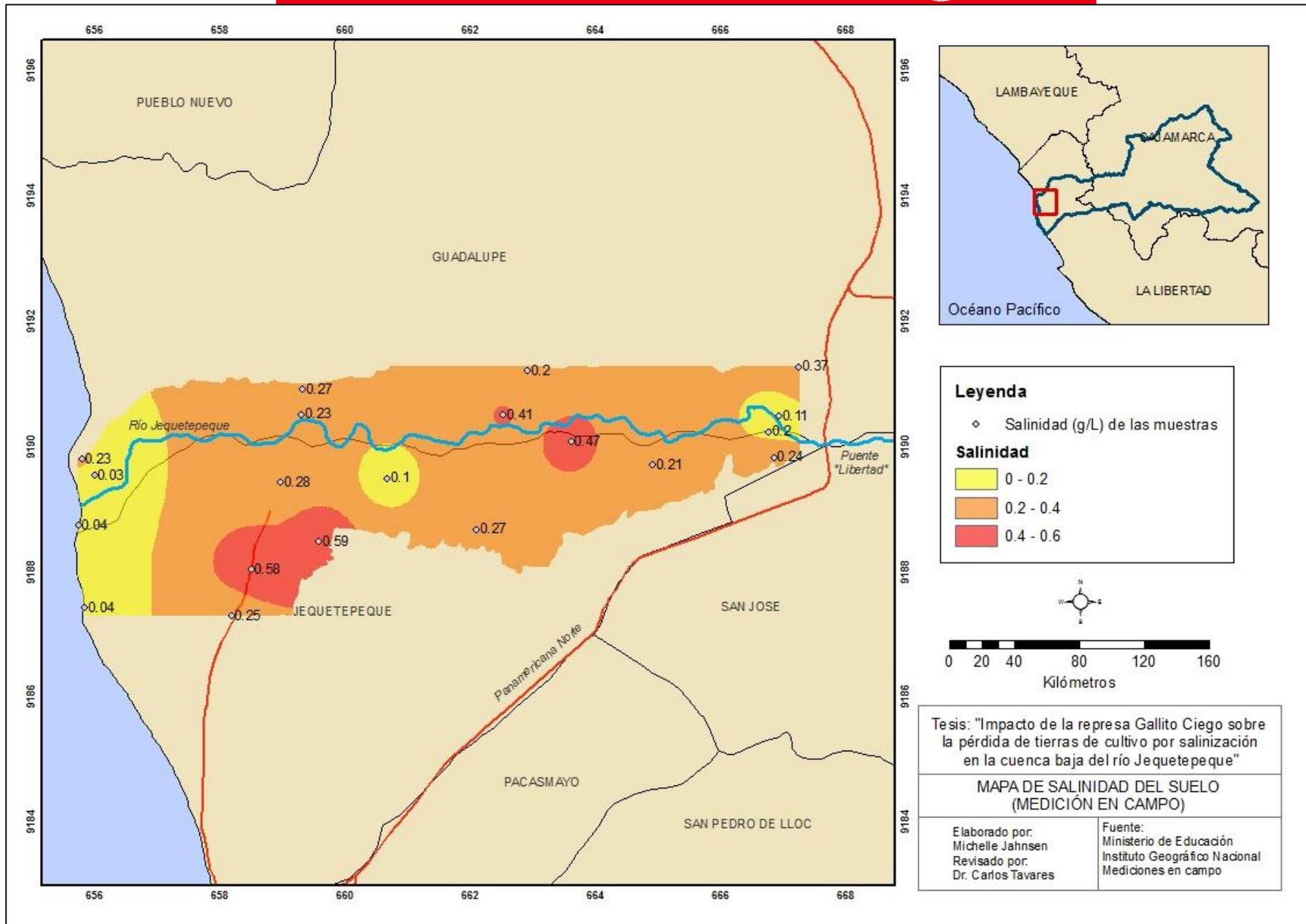


Figura 07. Mapa de salinidad del suelo (medición en campo).

### 5.3 Resultados del análisis de las muestras en el laboratorio

A continuación se presentan los resultados de los análisis de laboratorio.

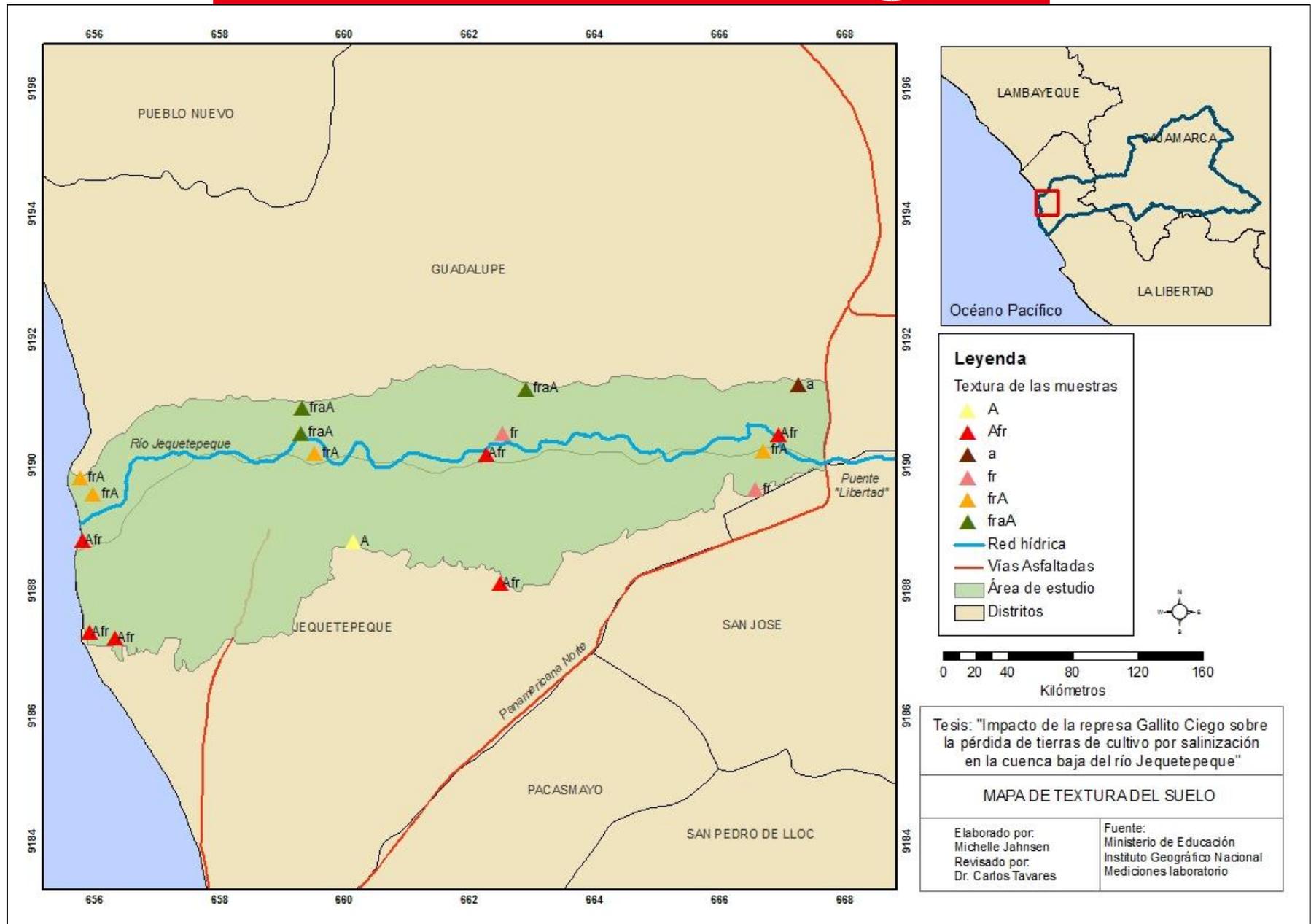
#### 5.3.1 Textura

En la tabla 13 se presentan los resultados del análisis de textura; como se puede observar predomina el tipo de suelo areno francoso seguido por el franco arenoso. Es decir, los resultados evidencian la presencia de suelos con altos porcentajes de arena.

**Tabla 13: Resultados del análisis de textura de las muestras de suelo**

Margen del río	Muestra	Porcentaje (%)			Textura
		Arena	Limo	Arcilla	
Izquierda	1m	88	4	8	areno francoso (Afr)
	2m	57	30	13	franco arenoso (frA)
	3m	42	36	22	franco (fr)
	4m	78	15	7	areno francoso (Afr)
	5m	80	11	9	areno francoso (Afr)
	6m	89	5	6	arena (A)
	7m	64	23	13	franco arenoso (frA)
	8m	86	5	9	areno francoso (Afr)
	9m	84	7	9	areno francoso (Afr)
Derecha	c1	75	15	10	franco arenoso (frA)
	c2	78	11	11	franco arenoso (frA)
	c3	65	14	21	franco arcillo arenoso (fraA)
	c4	64	14	22	franco arcillo arenoso (fraA)
	c5	62	16	22	franco arcillo arenoso (fraA)
	c6	43	34	23	franco (fr)
	c7	26	33	41	arcilla (a)
	c8	81	9	10	areno francoso (Afr)

En la figura 08 se observa el mapa donde se presentan los resultados del análisis de textura del suelo. Como se puede ver, en toda la sección de estudio del valle se presentan suelos de textura gruesa.



**Figura 08.** Mapa de textura del suelo. El mapa presenta la textura del suelo superficial en el área de estudio (A – Arena; Afr – Areno francoso; FrA – Franco arenoso; Fr – Franco; FraA – Franco arcillo-arenoso; a – Arcilla, según la nomenclatura de la FAO, 2010).

### 5.3.2 Materia Orgánica

En la tabla 14 se presentan los resultados del análisis de materia orgánica. Como se puede observar, el porcentaje de materia orgánica en las muestras de suelo varía de 2 a 11%.

**Tabla 14: Resultados del análisis de materia orgánica de las muestras de suelo**

Margen del río	Muestra	% MO
Izquierda	1m	2
	2m	6
	3m	5
	4m	3
	5m	11
	6m	2
	7m	5
	8m	4
	9m	3
Derecha	c1	3
	c2	2
	c3	4
	c4	3
	c5	5
	c6	7
	c7	7
	c8	3

En la figura 09 se ve el mapa donde se presentan los resultados del análisis de materia orgánica. Como se puede observar, no existe un patrón claro en las variaciones de los porcentajes de materia orgánica del suelo.

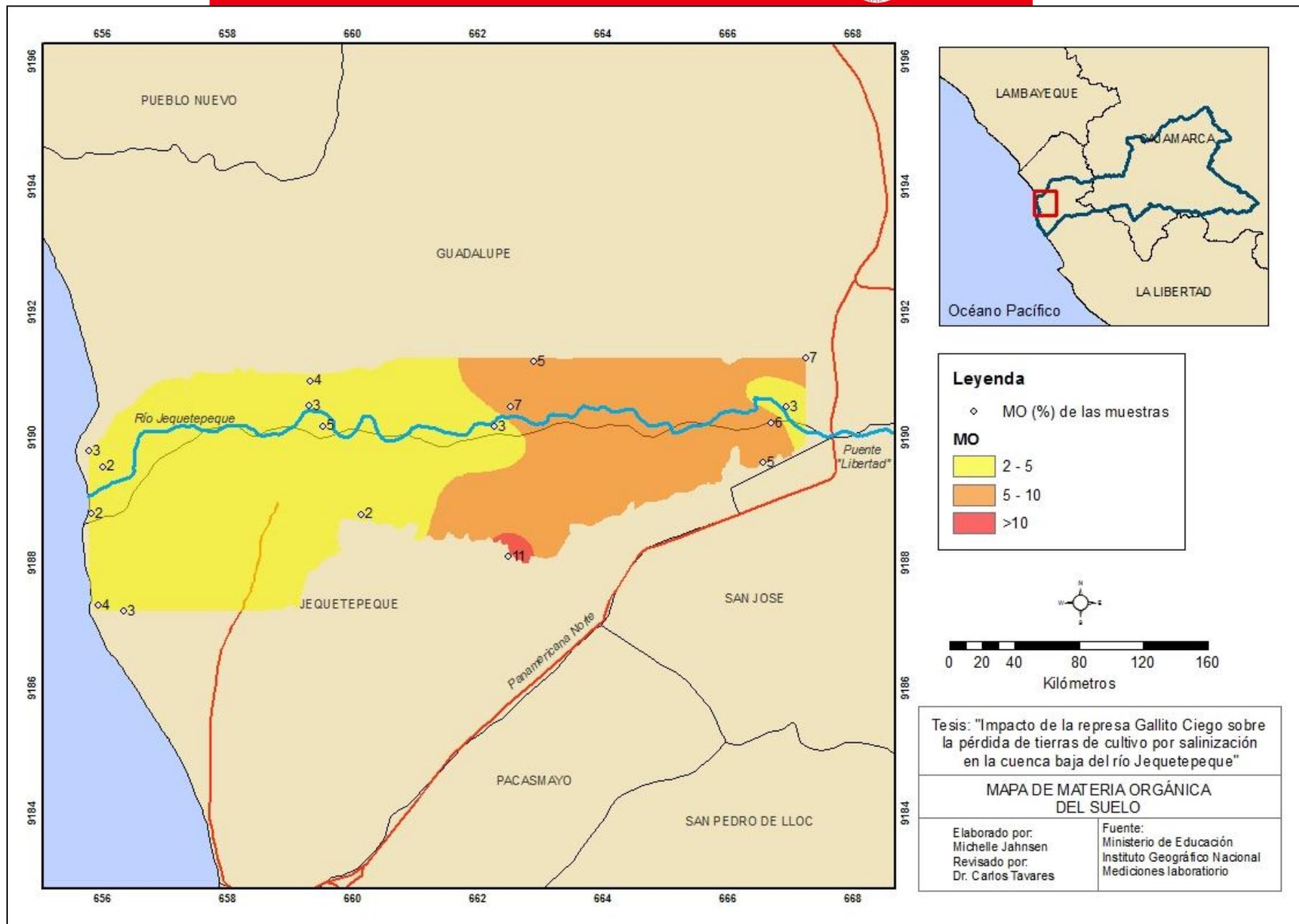


Figura 09. Mapa de materia orgánica del suelo.

### 5.3.3 pH

En la tabla 15 se presentan los resultados del análisis de pH del suelo. Como se puede observar el pH varía de 7.83 a 8.56. De tal forma, que casi la totalidad de las muestras pueden ser clasificadas como moderadamente alcalinas de acuerdo a la clasificación del United States Department of Agriculture (USDA 1988).

**Tabla 15: Resultados del análisis de pH de las muestras de suelo**

Margen del río	Muestra	pH	Clasificación*
Izquierda	1m	8.56	Fuertemente alcalino
	2m	8.04	Moderadamente alcalino
	3m	8.16	Moderadamente alcalino
	4m	8.88	Fuertemente alcalino
	5m	8.03	Moderadamente alcalino
	6m	8.32	Moderadamente alcalino
	7m	8.03	Moderadamente alcalino
	8m	8.18	Moderadamente alcalino
	9m	7.83	Ligeramente alcalino
Derecha	c1	8.28	Moderadamente alcalino
	c2	8.26	Moderadamente alcalino
	c3	7.92	Moderadamente alcalino
	c4	7.93	Moderadamente alcalino
	c5	8.07	Moderadamente alcalino
	c6	8.22	Moderadamente alcalino
	c7	8.22	Moderadamente alcalino
	c8	8.24	Moderadamente alcalino

\*Clasificación establecida a partir de los estándares del United States Department of Agriculture (USDA 1998)

En la figura 10, se presenta el mapa de pH del suelo. Como se puede observar, el pH es relativamente homogéneo y se presenta en un rango de 7.9–8.4 (moderadamente alcalino). Excepcionalmente, en los puntos de muestreo 1m y 4m el pH es fuertemente alcalino y en el 9m, es ligeramente alcalino.

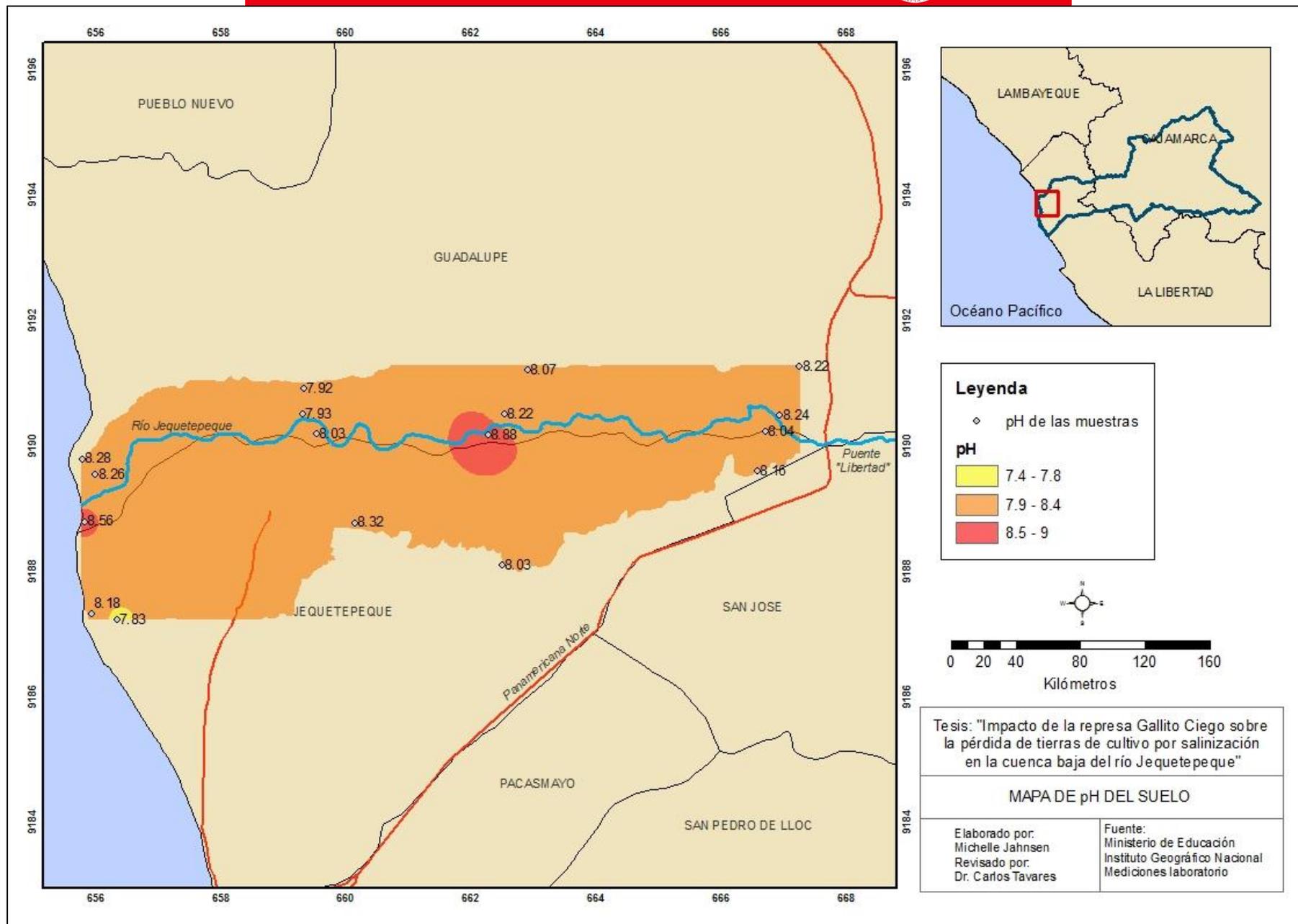


Figura 10. Mapa de pH del suelo.

### 5.3.4 Conductividad

En la tabla 16 se presentan los resultados del análisis de conductividad eléctrica de las muestras de suelo. Como se puede observar, en la margen izquierda del valle predominan los suelos ligeramente salinos mientras que en la margen derecha predominan los suelos no salinos.

**Tabla 16: Resultados del análisis de conductividad de las muestras de suelo**

Margen del río	Muestra	Conductividad (mS/cm)	Salinidad de suelo*
<b>Izquierda</b>	1m	4.47	Moderadamente salino
	2m	1.28	Ligeramente salino
	3m	0.48	No salino
	4m	0.47	No salino
	5m	1.52	Ligeramente salino
	6m	1.57	Ligeramente salino
	7m	1.38	Ligeramente salino
	8m	14.43	Extremadamente salino
	9m	4.40	Moderadamente salino
<b>Derecha</b>	c1	1.67	Ligeramente salino
	c2	0.69	No salino
	c3	1.18	No salino
	c4	1.07	No salino
	c5	0.78	No salino
	c6	0.59	No salino
	c7	1.16	No salino
	c8	0.91	No salino

\*Clasificación de la salinidad para las mediciones de conductividad del extracto de saturación en ratio 1:1 de acuerdo a Dahnke y Whitney (1988)

En la figura 11 se presenta el mapa con los resultados de las mediciones de conductividad. Como se puede observar, la conductividad alcanza los valores más altos en la zona que limita con el océano y disminuye al entrar al valle. Además, este patrón se intensifica en la margen izquierda del río.

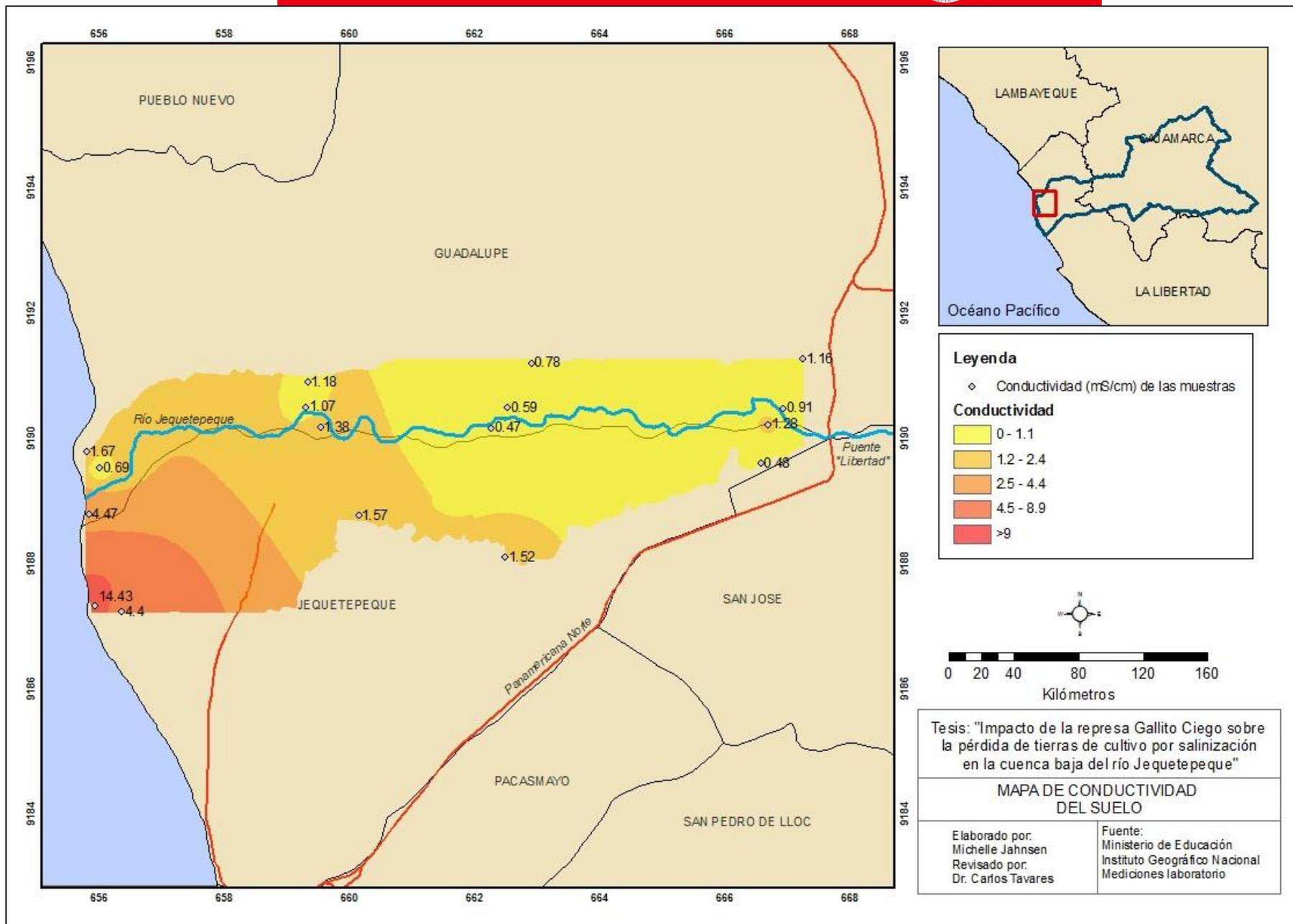


Figura 11. Mapa de conductividad del suelo.

## 6. Discusión

A lo largo de esta investigación se buscó corroborar la hipótesis de que el establecimiento de la represa Gallito Ciego había ocasionado la pérdida de tierras de cultivo en el sector comprendido entre el puente Libertad y la desembocadura del río Jequetepeque, durante el periodo 1980-2003, debido al proceso de salinización de suelos. Luego de haber obtenido los resultados se comprobó que la hipótesis planteada debe ser rechazada.

En primer lugar, luego de realizar el análisis espacial-temporal que llevó a la reconstrucción de las áreas de cultivo en los periodos 1980 y 2003; se ve que en 1980 existía una extensión de 2,359.19 ha de tierras de cultivo y en el año 2003 había 2,401.38 ha. De tal forma que la extensión del área cultivable se incrementó en 42.19 ha en el periodo 1980-2003 (ver figura 06).

Este resultado no es suficiente para rechazar la hipótesis, debido a que evidentemente el establecimiento de la represa Gallito Ciego conllevó a una expansión agrícola en el valle del Jequetepeque. No obstante, si bien se observó este proceso, el interés de esta investigación se centró en identificar aquellas tierras que se encontraban aptas para el cultivo en 1980 y que se perdieron para el 2003.

Al analizar las áreas de cultivo perdidas en el periodo 1980-2003 se ve que si bien hubo un incremento general de 42.19 ha, los sectores donde se perdieron tierras cultivables alcanzaron las 256.19 ha (ver tabla 11 y figura 06).

Al observar el mapa de pérdida de tierras de cultivo en el periodo 1980-2003 (figura 06), se nota que los sectores de pérdida de tierras corresponden principalmente a las áreas cercanas al cauce. Esta configuración espacial es interesante ya que permite suponer que en esta área la pérdida de tierras se relaciona a las variaciones del cauce del río que se dan con la construcción de la represa Gallito Ciego (debido al incremento del caudal y sedimentos) o a variaciones estacionales en el régimen de los caudales.

Por otro lado, se observa en el mismo mapa, que otro sector de pérdida de áreas de cultivo se encuentra en la zona cercana al pueblo de Jequetepeque. En este caso, se puede conjeturar que es posible que gran parte de la pérdida de tierras de cultivo en esta área pueda relacionarse al proceso de expansión urbana sufrido en el periodo 1980-2003.

Sin embargo, si bien este primer análisis permite realizar algunas observaciones acerca del proceso de pérdida de tierras de cultivo, no es suficiente para determinar si existe o no un proceso de

salinización de suelos en el sector de estudio, y si el proceso de salinización se relaciona a la pérdida de tierras de cultivo antes descrita. Con el objetivo de contrastar la información obtenida a través del análisis cartográfico presentado anteriormente, se llevaron a cabo los estudios de campo y análisis de laboratorio que permitieron dar luces acerca de la presencia de suelos salinos en el área de estudio.

El análisis de laboratorio permitió determinar las características del suelo, tales como textura, materia orgánica, pH y conductividad. Si bien los tres primeros parámetros no permiten determinar directamente la salinidad del suelo pueden dar indicios sobre procesos de salinización ya que son particulares en suelos salinos. Es el parámetro de conductividad el que permitirá una determinación directa de procesos de salinización en los suelos.

A continuación se presenta un análisis de los resultados para cada parámetro. Inicialmente se analizarán los parámetros de textura, materia orgánica y pH para después evaluar directamente los procesos de salinización a través de la conductividad.

En la tabla 13 y figura 08 se puede observar que, en el área de estudio, la mayor parte de las muestras presentan una textura de tipo franco arenoso (frA) y areno francoso (Afr). Además, 11 de las 19 muestras de suelo analizadas presentan altos porcentajes de arena (porcentajes mayores a 57% hasta 89%). En ese sentido se puede afirmar que la textura del suelo se caracteriza por un alto contenido de arena. Es importante analizar este parámetro ya que, tal como se mencionó en el marco teórico, los suelos de texturas gruesas tienen menos posibilidades de generar procesos de salinización. Esto ocurre debido a que los suelos de textura gruesa presentan poros de mayor tamaño que permiten el drenaje y lavado de las sales con facilidad (Walworth 2006). De esta manera, la presencia de suelos con altos contenidos de arena se relaciona a una menor incidencia de salinización de suelos en el área de estudio.

En segundo lugar, el análisis del contenido de materia orgánica (tabla 14 y figura 08) también permite realizar algunas inferencias respecto al proceso de salinización. Al observar estos resultados se puede notar que el contenido de materia orgánica en el área de estudio varía de 2% a 11%. A nivel mundial, no existen límites establecidos para determinar que cierto contenido de materia orgánica en el suelo asegurará una máxima productividad agrícola; es decir, que no existe un porcentaje ideal de materia orgánica en los suelos (University of Minnesota, 2009). En general, los suelos presentan porcentajes de materia orgánica variables que van desde 2% a 10% (FAO 2005). Los resultados obtenidos en el área de estudio se encuentran dentro de este rango.

Usualmente, los suelos con altos contenidos de sales se caracterizan por presentar bajos contenidos de materia orgánica ya que la salinización lleva a una reducción de la producción de biomasa y, en consecuencia, a una disminución de la adición de materia orgánica a los suelos (FAO 2005). Sin embargo, este no es el caso de las muestras tomadas en el área de estudio.

En relación a los valores de pH se observó lo siguiente. Al analizar la tabla 15 y la figura 09, se ve que los valores obtenidos se encuentran en el rango de 7.83 - 8.88. Es importante notar que la mayoría de cultivos se desarrollan adecuadamente en suelos con valores de pH entre 5.5 y 8.3. Los suelos con valores superiores a 8.3 se asocian a la presencia de iones de  $\text{Na}^+$  y a la formación de suelos salinos (Chesworth 2008).

De acuerdo a la clasificación presentada por el United States Department of Agriculture (USDA 1998) se observa que la mayoría de las muestras pueden ser calificadas como moderadamente alcalinas; solo dos muestras presentan condiciones fuertemente alcalinas y una muestra es considerada ligeramente alcalina. De esta manera, 15 de las 17 muestras analizadas presentan valores de pH moderadamente alcalinos. A través de la interpolación de los datos en el mapa de pH, el área de estudio presenta un pH homogéneo a excepción de las dos muestras mencionadas anteriormente. Sin embargo, no es posible encontrar una explicación certera para la presencia de valores elevados de pH en relación a la salinidad ya que el proceso de salinización puede presentar un rango de pH variado dependiendo de si se trata de un suelo salino, salino-sódico o sódico.

Con respecto a la conductividad eléctrica, se considera que es el parámetro de mayor importancia para esta investigación ya que permite determinar de manera directa la presencia de procesos de salinización en los suelos del área de estudio. Para el análisis de los resultados de conductividad eléctrica se tomó como referencia la clasificación de la salinidad de los suelos de Dahnke y Whitney (1988).

Al observar el mapa de conductividad del suelo se ve un patrón interesante en los resultados obtenidos. El mapa muestra una tendencia de incremento de la conductividad (y por ende de la salinidad de los suelos) al acercarse al mar en dirección sur-oeste. Esto refleja una tendencia natural de la salinidad de los suelos relacionada a la intrusión del agua salina y la menor profundidad de la napa freática en las zonas que limitan con el océano. Ambos factores disminuyen hacia el interior del valle lo cual se ve reflejado en los resultados y en el mapa de conductividad. Esta primera observación sobre el mapa permite plantear que existe una correlación entre estos factores y la distribución geográfica de la conductividad eléctrica.

De forma más específica, al observar la tabla 16 se ve que las mediciones de conductividad eléctrica se encuentran dentro del rango de 0.47 – 14.43 mS/cm. De tal forma que, nueve de las diecisiete muestras de suelo analizadas pueden ser calificadas como no salinas (0-1.1mS/cm) y cinco como ligeramente salinas (1.2-2.4mS/cm). Sólo dos muestras, la 1m y la 9m, fueron clasificadas como moderadamente salinas (2.5-4.4mS/cm) y una muestra, 8m, fue calificada como extremadamente salina (>9mS/cm).

La única muestra de suelo calificada como extremadamente salina (8m) fue tomada muy cerca al mar, en el área de la desembocadura cerca al dren principal, y se trata de un área que nunca ha sido cultivada, con presencia de grama salada (un indicador natural de salinidad). Para el caso de las dos muestras calificadas como moderadamente salinas se observa lo siguiente: la muestra 1m fue tomada igualmente muy cerca al mar, en un área que nunca ha sido cultivada. Por su parte, la muestra 9m presenta un caso especial ya que se trata de un área cercana al mar donde se ha buscado expandir las áreas cultivables con la siembra de cebolla a través del riego tecnificado (ver tabla 08).

Las muestras calificadas como ligeramente salinas fueron cinco y se encuentran en la sección media del área de estudio. Los puntos de muestreo en esta área corresponden a cultivos de frejol y alfalfa así como tierras de descanso y en preparación para el cultivo. En relación a las nueve muestras restantes consideradas no salinas, podemos señalar que se trata de muestras tomadas al interior del valle en zonas cultivadas o en reposo.

Como se puede observar, a través del análisis de conductividad, tres muestras presentaron resultados que evidencian condiciones extremadamente salinas y moderadamente salinas que podrían afectar el desarrollo de la mayoría de cultivos, llevando al abandono de las tierras como consecuencia de muy bajos rendimientos. Sin embargo, dos de estas tres muestras fueron tomadas en áreas que nunca han sido cultivadas y sólo una muestra fue tomada en un área de cultivo de cebolla recientemente incorporado a la producción agrícola (sería interesante observar si se mantiene este cultivo en el tiempo ya que probablemente presente rendimientos muy bajos). Las muestras restantes presentan condiciones ligeramente salinas o se trata de muestras calificadas como no salinas. Para el caso de las muestras ligeramente salinas es evidente que el abandono de tierras de cultivo no se justificaría ya que la selección adecuada de cultivos permitiría el mantenimiento de la producción agrícola.

En ese sentido, los resultados del análisis de conductividad eléctrica (y, en general, de los demás parámetros analizados) sugieren que la pérdida de tierras de cultivo en el periodo 1980-2003 no se relaciona a procesos de salinización ya que, en general, el valle presenta suelos no salinos y ligeramente salinos.

En relación a los valores de salinidad (en gramos por litro) medidos *in situ*, los valores obtenidos fueron bastante bajos, de 0.03 a 0.59 g/L, y no reflejaron una distribución espacial lógica con respecto a la cercanía al mar o a la menor profundidad de la napa freática (ver tabla 12 y figura 07). Debido a que no se contó con estándares para clasificar estos resultados, los valores obtenidos fueron tomados de forma referencial. Se debe tomar en cuenta que una posible fuente de error en las mediciones de salinidad en campo puede deberse a la variabilidad del contenido de agua en el suelo, la cual puede conllevar a una subestimación de los valores de salinidad.

Como se puede observar, a lo largo de esta investigación tanto el análisis cartográfico espacial - temporal como el análisis de muestras en el laboratorio permitieron identificar que la pérdida de tierras de cultivo en el periodo 1980-2003 no se relaciona al proceso de salinización de suelos. Por lo tanto, la hipótesis planteada debe ser rechazada. Se debe considerar que esto no significa que no exista una tendencia a la salinización de los suelos en esta sección del valle; sino que, los procesos de salinización no han alcanzado tal magnitud como para poder vincularse directamente a la pérdida de tierras de cultivo en este periodo.

Al analizar las características del área de estudio es posible identificar algunos factores que contribuyen a que los procesos de salinización no sean tan graves en esta sección del valle. Principalmente, debemos considerar que la construcción de drenes ha tenido un impacto positivo al impedir el incremento de la napa freática. De igual forma, algunas características naturales de los suelos como la textura gruesa favorecen el lavado de sales.

Otros estudios que permitirían una mejor comprensión de los procesos de salinización en esta sección del valle incluyen el análisis del nivel de la napa freática y de la calidad del agua utilizada para el regadío. Así como también, la aplicación de análisis de laboratorio que permitan diferenciar entre suelos salinos y sódicos ya que cada uno presenta características particulares.

Finalmente, los resultados de este estudio son respaldados por los testimonios de los agricultores y autoridades entrevistadas en las Comisiones de Regantes de Jequetepeque y Limoncarro, quienes afirmaron que no encontraban problemas de salinidad significativos en el área.

## 7. Conclusiones

En primer lugar, a través del análisis cartográfico espacial-temporal se puede concluir que en el periodo 1980-2003 se ha dado una pequeña ampliación de la superficie agrícola en el área de estudio de 42.19 ha (1.79%) desde el establecimiento de la represa Gallito Ciego. Sin embargo, se perdieron 256.19 ha de áreas de cultivo. A través de la interpretación de las fotografías aéreas e imágenes satelitales es posible afirmar que la pérdida de estas áreas de cultivo se debe, principalmente, a cambios en el cauce del río y posiblemente a la expansión urbana en los alrededores del pueblo de Jequetepeque.

Por otro lado, el análisis de muestras de suelo en el laboratorio permitió la caracterización de los suelos a través del análisis de textura, materia orgánica y pH. Los resultados del análisis textural permitieron identificar que la mayor parte de los suelos presentan texturas gruesas que favorecen el lavado de sales. El contenido de materia orgánica, por su parte, se encuentra dentro del rango promedio para los suelos en general de 2 a 11%. Los resultados del análisis de pH se encuentran en el rango de 7.83 - 8.88, presentando la mayor parte de las muestras un pH moderadamente alcalino.

De igual forma, la conductividad eléctrica medida en laboratorio permitió identificar que en el área de estudio la mayor parte de las muestras analizadas pueden ser calificadas como no salinas o ligeramente salinas. De tal forma, que si bien las condiciones de salinidad de los suelos podrían afectar en cierto grado la productividad de algunos cultivos sensibles, a nivel general, no tendrían un impacto tan grave como para ocasionar el abandono y consecuentemente la pérdida de tierras de cultivo.

De esta manera, a través de las observaciones del análisis cartográfico espacial-temporal y los resultados del análisis de las muestras en el laboratorio es posible concluir que, a partir del establecimiento de la represa Gallito Ciego no se ha identificado pérdidas importantes de tierras de cultivos por salinización en el periodo comprendido entre 1980-2003 en el área de estudio.

## 8. Bibliografía

- ASTM International     ASTM D422-63 “*Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils*”. Reapproved 2007.
- ASTM International     ASTM D2974-07a “*Standard Test Methods for Moisture, Ash, and Organic Matter of Peat and Other Organic Soils*”.
- Burga M., Miranda T., Rivasplata M., Silva C., Tapia M.  
(1995)     *Cuenca del Jequetepeque Diagnóstico Preliminar*. Primera edición. Chepén: CESDER
- Centro Peruano de Estudios Sociales (CEPES)  
(2010)     “Modelo que hace agua”. *La Revista Agraria*. 2010, N°117, pp. 6-11.
- Chesworth, Ward  
(2008)     *Encyclopedia of soil science*. Dordrecht: Springer.  
Consulta: 02 de febrero del 2013  
<<http://books.google.es/books?id=EOYYM0DAGQC&pg=PA271&dq=soil+pH&hl=es&sa=X&ei=YTYVUZLALYPA9QSH7oGwDA&ved=0CDkQ6AEwAQ#v=onepage&q=soil%20pH&f=false>>
- Chhabra, R.  
(1996)     *Soil salinity and water quality*. Vermont: A.A Balkerma Publishers.  
Consulta: 14 de noviembre del 2012  
<[http://books.google.com.pe/books?id=Eb3enCXYB5wC&pg=PA21&lpq=P A21&dq=saline+soils+classification+USDA&source=bl&ots=0QDWH\\_oa8V&sig=t9reudES14zJFN2Hi\\_VIU676uRg&hl=es&sa=X&ei=J9MoUZfaK8mn0gGs5IDQAg&ved=0CEsQ6AEwBA#v=onepage&q=saline%20soils%20classification%20USDA&f=false](http://books.google.com.pe/books?id=Eb3enCXYB5wC&pg=PA21&lpq=P A21&dq=saline+soils+classification+USDA&source=bl&ots=0QDWH_oa8V&sig=t9reudES14zJFN2Hi_VIU676uRg&hl=es&sa=X&ei=J9MoUZfaK8mn0gGs5IDQAg&ved=0CEsQ6AEwBA#v=onepage&q=saline%20soils%20classification%20USDA&f=false)>
- Chuvienco, Emilio  
(1996)     *Fundamentos de teledetección especial*. Tercera edición. Madrid: Ediciones Rialp.
- European Commission –Joint Research Centre  
(2012)     *European Soil Portal*  
Consulta: 11 de enero del 2013  
<<http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/library/themes/Salinization/Methodology.html>>
- European Communities  
(2009)     “Salinization and sodification”. *Sustainable Agricultural and Soil Conservation. Soil degradation processes*. 2009, Fact sheet n°4.  
Consulta: 12 de enero del 2013.  
<<http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/projects/SOCO/FactSheets/ENFactSheet-04.pdf>>

- Faithfull, Nigel T.  
(2002) *Methods in agricultural chemical analysis: a practical handbook*. Reino Unido: Cabi Publishing.
- Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO)  
(1985a) *"Irrigation Water Management: Training Manual No. 1 - Introduction to Irrigation"*. Edición provisional. Roma: FAO.  
Consulta: 12 de diciembre del 2012  
< <http://www.fao.org/docrep/R4082E/r4082e00.htm#Contents>>
- Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO)  
(1985b) *"Water Quality for Agriculture"*. Roma: FAO.  
Consulta: 20 de noviembre del 2012  
< <http://www.fao.org/docrep/R4082E/r4082e00.htm#Contents>>
- Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO)  
(1988) *"Salt affected soils and their management"*. Roma: FAO.  
Consulta: 12 de enero del 2013  
< <http://www.fao.org/docrep/x5871e/x5871e00.htm#Contents>>
- Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO)  
(1990) *"Mapa Mundial de Suelos"*. Roma: FAO.  
Consulta: 20 de agosto del 2012  
<[http://books.google.com.pe/books?id=IKwS2b81UIQC&pg=PA2&lpg=PA2&dq=mapa+del+mundo+de+los+suelos&source=bl&ots=hmJCjQKsLn&sig=Cje69yrMtyaM9KJ5KHhJdAbk7s&hl=es&sa=X&ei=WI\\_pUO\\_vl4T89gSvrlC4Cg&ved=0CEkQ6AEwBg](http://books.google.com.pe/books?id=IKwS2b81UIQC&pg=PA2&lpg=PA2&dq=mapa+del+mundo+de+los+suelos&source=bl&ots=hmJCjQKsLn&sig=Cje69yrMtyaM9KJ5KHhJdAbk7s&hl=es&sa=X&ei=WI_pUO_vl4T89gSvrlC4Cg&ved=0CEkQ6AEwBg)>
- Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO)  
(1999) *"Soil Salinity Assessment. Methods and Interpretation of Electrical Conductivity Measurements"*. Roma: FAO.
- Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO)  
(2005) *The importance of soil organic matter. Key to drought-resistant soil sustained food production*. FAO: Rome  
Consulta: 11 de febrero del 2013  
< <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/sb80e.pdf>>
- Gabriels, Donald y Deyanira Lobo  
(2006) "Métodos para determinar la granulometría y densidad aparente del suelo". *Venesuelos*. 2006, vol. 14, n°1, pp.37-48.  
Consulta: 10 de agosto del 2012.  
<[http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev\\_venes/article/view/982](http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_venes/article/view/982)>
- Gartley, Karen L.  
(2011) *Recommended Soil Testing Procedures for the Northeastern United States*. Cooperative bulletin n° 493

- Ghassemi F., Jakeman A.J., Nix H.A.  
(1995) *Salinization of land and water resources*.  
Consulta: 8 de junio del 2013  
<[http://www.plantstress.com/articles/salinity\\_i/salinity\\_i.htm](http://www.plantstress.com/articles/salinity_i/salinity_i.htm)>
- Junta de Usuarios del Subdistrito de Riego Regulado Jequetepeque (JUSDRRJ)  
(2010) *Plan de cultivo y riego campaña agrícola 2010-2011 valle Jequetepeque regulado*. Jequetepeque.
- Lauchly, André y Michael Pitman  
(2002) *Global Impact of salinity and agricultural ecosystems* Kluwer Academic  
Publishers: Países Bajos  
Consulta: 8 de junio del 2013  
<[http://xa.yimg.com/kq/groups/21666630/914623393/name/Ch1-2 Salinity+Environment+Plants+Molecules.pdf](http://xa.yimg.com/kq/groups/21666630/914623393/name/Ch1-2_Salinity+Environment+Plants+Molecules.pdf)>
- Mahmoud A. Abdelfattah  
(2009) "Soil Salinity Mapping Model Developed Using RS and GIS – A Case Study from Abu Dhabi, United Arab Emirates". *European Journal of Scientific Research*. 2009, Vol.26 No.3, pp.342-351.
- Medina González, Hanoi  
(2007) "El método del hidrómetro: base teórica para su empleo en la determinación de la distribución del tamaño de partículas de suelo". *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. La Habana, 2007, vol. 16, n°003, pp.19-24.  
Consulta: 10 de agosto del 2012.  
<<http://redalyc.uaemex.mx/pdf/932/93216305.pdf>>
- Navarro-Pedreño, J.  
(2007) "Estimation of Soil Salinity in Semi-arid Land Using a Geostatistical Model" *Land Degradation & Development*. 2007, n°18, pp. 339-353.
- Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN)  
(1982) *Clasificación de las tierras del Perú*. Lima: ONERN
- Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN)  
(1986) *Perfil Ambiental del Perú*. Lima: ONERN
- Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN)  
(1988) *Plan de Ordenamiento Ambiental de la cuenca del río Jequetepeque para la protección del reservorio Gallito Ciego y del valle agrícola*. Lima: ONERN
- Porta J., López Acevedo M., Roquero C.  
(2003) "Edafología para la agricultura y el medio ambiente". Tercera edición.  
Madrid: Mundi-prensa Libros.

- Rengasamy, Pichu  
(2006) "World salinization with emphasis on Australia". *Journal of Experimental Botany*. Australia, 2006, Vol.57, n°5, pp. 1017-1023
- Soil Survey Division Staff (SSDS)  
(1993) *Soil Survey manual. Handbook N°18*. Washington DC: United States Department of Agriculture.
- Umali, Dina L.  
(1993) "*Irrigation Induced Salinity. A growing problem for development and the environment*". Washington: The World Bank.
- United States Department of Agriculture (USDA)  
*Soil texture calculator*.  
Consulta: 10 de enero de 2013  
< <http://soils.usda.gov/technical/aids/investigations/texture/>>
- United States Department of Agriculture (USDA)  
(1998) *Soil quality information sheet. Soil quality indicators: pH*. Washington.  
Consulta: 15 de febrero del 2013  
< <http://soils.usda.gov/sqi/publications/files/indicate.pdf>>
- United States Salinity Laboratory de Riverside (USSLR)  
(1954) "*Diagnose and Improvement of saline and alkali soils*". Washington: United States Department of Agriculture.
- University of Minnesota  
(2009) *The importance of soil organic matter in cropping systems of the Northern Great Plains*. Materia de enseñanza. University of Minnesota Extension.  
Consulta: 10 de febrero del 2013  
<<http://www.extension.umn.edu/distribution/cropsystems/M1273.html#4>>
- Walworth, James L.  
(2006) "Salinity Management and Soil Amendments for Southwestern Pecan Orchards". *Arizona open repository*. Arizona, 2006, AZ1411.  
Consulta: 10 de diciembre del 2012  
<<http://arizona.openrepository.com/arizona/bitstream/10150/239609/1/az1411-2011.pdf>>