



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

FACULTAD DE LETRAS Y CIENCIAS HUMANAS

EVALUACIÓN DE PÉRDIDA DE SUELO POR SALINIZACIÓN EN LA PARTE BAJA DE LA CUENCA DEL JEQUETEPEQUE: SAN PEDRO DE LLOC (1980 – 2003)

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

ESTEFANÍA CARMELA FOX LLERENA

ASESOR: DR. CARLOS HENRIQUE TAVARES CORRÊA

LIMA, JULIO DEL 2013

Agradecimiento

El presente trabajo de investigación es el resultado de un largo proceso de aprendizaje, el cual no hubiera sido posible sin la ayuda de las siguientes personas, a las cuales quiero agradecer.

En primer lugar, quisiera agradecer a mi asesor de tesis, el Doctor Carlos Tavares Corrêa, por su esfuerzo y dedicación, quien con sus conocimientos, su experiencia, sus críticas constructivas, su paciencia y su motivación hicieron posible que la tesis de investigación fuera concluida satisfactoriamente. Además, por otorgarme el financiamiento de la investigación mediante el Proyecto Interdisciplinario PUCP DGI N° 70245-0110 “Diagnostico Ambiental de Represas en la Costa Peruana. Caso de estudio: Represa de Gallito Ciego”. También quisiera agradecer a la Dra. Nadia Gamboa y al Laboratorio de Química Ambiental de la Sección Química PUCP, el cual fue de mucha ayuda para el análisis de los parámetros utilizados para el proceso de investigación.

De igual manera, quisiera darle las gracias al Lic. Gustavo Rondón, quien junto sus aportes metodológicos con respecto a la elaboración de mapas, recolección de muestras en campo y motivación no hubiera sido posible. Por otro lado, quisiera agradecer a dos grandes amigos geógrafos que me ayudaron no solo en la realización del trabajo de campo sino en la motivación para finalizar la tesis: Gabriel Andrés Koo y Michelle Jahnsen, ya que su paciencia y sus palabras de aliento fueron indispensables. Así mismo, quisiera agradecer aquellas personas que me mostraron su apoyo en el proceso de elaboración de tesis: Michael Klug, Natalia Ríos y Renzo Matienzo, estudiantes de Química PUCP.

Por último, quisiera agradecer a mis padres, Elías y Carmela, por su valioso apoyo y paciencia durante toda mi etapa de estudiante, así también por la motivación brindada para finalizar con esta etapa universitaria satisfactoriamente; también, me gustaría agradecer a mi hermana Debra, quien me brindó su apoyo y me dio ánimos para la finalización de mi tesis. Para finalizar quisiera dedicar este trabajo de investigación a mi madre, Carmela, la cual siempre está y estará presente en mi vida. GRACIAS MAMÁ.

Índice

Índice de figuras.....	VI
Índice de tablas.....	VIII
Resumen	
1. Introducción.....	1
2. Planteamiento del problema.....	2
3. Hipótesis.....	4
4. Objetivos.....	5
5. Significancia de investigación.....	6
6. Marco Teórico.....	7
6.1 Proceso de salinización.....	7
6.2 Características de los suelos salinos.....	7
Indicadores de salinidad.....	8
a) Textura.....	8
b) pH.....	11
c) Conductividad eléctrica.....	11
6.3 Causas de salinización.....	12
6.4 Clasificación de la salinidad de los suelos con fines agrícolas.....	13
6.5 Fenómeno de salinización a nivel mundial.....	16
6.6 Fenómeno de salinización a nivel nacional.....	18

7. Área de estudio.....	19
7.1 Ubicación y extensión.....	19
7.2 Características del área de estudio.....	19
7.2.1 Recursos básicos.....	22
7.2.2 Calidad de los suelos.....	23
7.3 Características sociales.....	24
7.3.1 Demografía.....	24
7.3.2 Actividades económicas.....	26
7.4 Infraestructura.....	27
8. Metodología.....	28
8.1 Trabajo de campo.....	29
8.1.1 Toma de muestras de suelo.....	29
8.1.2 Toma de mediciones <i>in situ</i> de salinidad.....	31
8.2 Trabajo de laboratorio.....	36
8.2.1 Análisis de textura.....	38
8.2.2 Análisis de pH y conductividad eléctrica.....	39
8.2.3 Análisis de materia orgánica.....	41
8.3 Trabajo de gabinete.....	41
8.3.1 Procesamiento de los datos.....	41
8.3.2 Elaboración del mapa comparativo del área cultivada en la zona de San Pedro de Lloc (1980-2003).....	45
8.3.3 Elaboración del mapa de variación del área de cultivo de 1980 a 2003.....	46
8.3.4 Elaboración de los mapas de los parámetros: salinización, pH y conductividad eléctrica.....	46

9. Resultados.....	48
9.1 Resultados de campo.....	48
9.2 Resultados de laboratorio.....	51
9.2.1 Análisis de textura.....	51
9.2.2 Análisis de pH.....	55
9.2.3 Análisis de conductividad eléctrica.....	56
9.2.4 Análisis de materia orgánica.....	58
9.3 Análisis espacio temporal.....	60
10. Discusión.....	66
11. Conclusiones.....	79
12. Bibliografía.....	81



Índice de Figuras

Figura 1. Triángulo de clases texturales según la SSDS, 1993	10
Figura 2. Ubicación del área de estudio: distrito de San Pedro de Lloc.....	20
Figura 3. Mapa político del distrito de San Pedro de Lloc.....	21
Figura 4. Subsector bajo de áreas de cultivo. Santa Elena San Pedro de Lloc. Recolección de muestra de suelo.....	30
Figura 5. Mapa de puntos de muestreo 2011-2012. San Pedro de Lloc.....	32
Figura 6. Mapa de mediciones <i>in situ</i> de salinidad. San Pedro de Lloc.....	33
Figura 7. Medición de salinidad <i>in situ</i> en el subsector alto. San Pedro de Lloc.....	34
Figura 8. Trabajo en laboratorio de química, procedimiento de los parámetros pH y conductividad eléctrica.....	40
Figura 9. Subsector bajo de áreas de “cultivo”	42
Figura 10. Subsector bajo de Santa Elena, área de “no cultivo”	43
Figura 11. Mapa de resultados de las mediciones <i>in situ</i> de salinidad.....	49
Figura 12. Parcelas correspondiente a la muestra de suelo (2s) en el subsector bajo del sector San Pedro de Lloc.....	50
Figura 13. Vegetación grama salada en la parcela perteneciente a la muestra (2s) en el subsector bajo de San Pedro de Lloc.....	51
Figura 14. Mapa de clases texturales en San Pedro de Lloc.	54
Figura 15. Mapa de pH en San Pedro de Lloc.....	57
Figura 16. Mapa de conductividad eléctrica en San Pedro de Lloc.....	59
Figura 17. Mapa de área de estudio 1980. San Pedro de Lloc.	61
Figura 18. Mapa de área de estudio de 2003. San Pedro de Lloc.....	62
Figura 19. Mapa comparativo de áreas de cultivo 1980 – 2003 San Pedro de Lloc.	64
Figuras 20. Variación de áreas de cultivo de 1980 – 2003. San Pedro de Lloc.....	65
Figura 21. Presencia de productos agroquímicos.....	69

Figura 22. Sector balneario El Milagro, donde se puede observar la presencia de un aumento de área de cultivo para el año 2003 que no existía en 1980.....	72
Figura 23. Sector balneario Santa Elena, donde se puede observar la presencia de un aumento de área de cultivo para el año 2003 que no existía en 1980.....	73
Figura 24. Parcela de ají paprika en el subsector bajo con sistema de riego por goteo, en Puémape.....	74
Figura 25. Parcela de maíz en el subsector bajo con sistema de riego por goteo en Santa Elena.....	74
Figura 26. Subsector medio de San Pedro de Lloc, donde se puede observar que no hay cambio en la extensión de áreas de cultivo de 1980 al 2003.	75
Figura 27. Subsector alto de San Pedro de Lloc, donde se puede observar que no hay cambio en la extensión de áreas de cultivo de 1980 al 2003.....	76

Índice de Tablas

Tabla I. Superficie afectada por salinidad en los valles de la costa (1986).....	3
Tabla II. Clasificación de pH de suelos según USDA, 1971.....	11
Tabla III. Clasificación de los suelos de acuerdo a la salinidad en extracto de pasta saturada.....	13
Tabla IV. Clasificación de los suelos de acuerdo a la salinidad en extracto de agua según Dahnke y Whitney, 1988.....	15
Tabla V. Clasificación de cultivos de acuerdo al grado de salinidad.....	16
Tabla VI. Extensión de la salinización inducida por el hombre. (FAO, 1987).....	17
Tabla VII. Grado de afectación por sales en el área de la parte baja del valle del río Jequetepeque.....	24
Tabla VIII. Centros poblados en San Pedro de Lloc según censo 2007.....	25
Tabla IX. Recolección de la toma de muestras para análisis de laboratorio en San Pedro de Lloc realizadas en agosto 2011.....	30
Tabla X. Recolección de la toma de muestras para análisis de laboratorio en San Pedro de Lloc realizadas en agosto 2012.....	31
Tabla XI. Identificación de los puntos de medición <i>in situ</i> de salinidad en San Pedro de Lloc realizadas en agosto 2012.....	35
Tabla XII. Ubicación de toma de muestras de suelo en campo 2011-2012.....	37
Tabla XIII. Mediciones de salinización <i>in situ</i>	48
Tabla XIV. Mediciones totales con el hidrómetro (g/L).....	52
Tabla XV. Clases texturales de las muestras.....	53
Tabla XVI. pH de suelos en el sector San Pedro de Lloc.....	55
Tabla XVII. Análisis de conductividad eléctrica en el sector San Pedro de Lloc.....	56

Tabla XVIII. Materia orgánica en el sector San Pedro de Lloc.....	58
Tabla XIX. Área en km ² para 1980 en San Pedro de Lloc.....	60
Tabla XX. Área en km ² para 2003 en San Pedro de Lloc.....	63
Tabla XXI. Variación del área de cultivo de 1980 al 2003.....	63



Resumen

La presente tesis de investigación “Evaluación de la pérdida de uso del suelo por salinización en la parte baja de la cuenca del Jequetepeque: San Pedro de Lloc (1980 – 2003)”, tiene como objetivo principal realizar un diagnóstico de la pérdida de suelos por salinización en el sector San Pedro de Lloc, teniendo como objetivos específicos: caracterizar los usos actuales de suelo agrícola, reconocer características de los suelos mediante parámetros físicos y químicos; y realizar un análisis espacio – temporal de la variación del uso agrícola en los años 1980 y 2003.

El área de estudio es el Sector San Pedro de Lloc, ubicado al Nor-Oeste del distrito del mismo nombre en la provincia de Pacasmayo en la Región de La Libertad.

Para cumplir con los objetivos anteriormente mencionados fue necesario combinar distintas metodologías en el trabajo de campo. Se hizo un levantamiento de información, recolección de muestras de suelo y mediciones *in situ* de conductividad eléctrica y salinización; trabajo de laboratorio, donde se hizo un análisis de parámetros tales como textura, pH, conductividad eléctrica (CE) y materia orgánica (MO); y, por último, trabajo de gabinete, donde se combinaron métodos cartográficos y de teledetección y, con ayuda de fotografías aéreas e imágenes satelitales se ha determinado la variación de áreas de cultivo entre 1980 y 2003.

Con el fin de facilitar la interpretación de las características físicas y químicas de los suelos y así lograr los objetivos propuestos, se dividió el área de estudio en tres subsectores: alto, medio y bajo. Es así que en el subsector alto, a partir del análisis del extracto de suelo y agua 1:1, se identificó suelos con características de normales a ligeramente salinos ya que presentaron CE de 0.1 a 2.4 dS/m, y pH medianamente básicos, con valores de 7.4 a 7.8; mientras que en el subsector medio son ligeramente salinos a moderadamente salinos, con CE entre 1.3 a 4.7 dS/m, y un pH básico, entre 7.9 a 8.4. Finalmente, en el subsector bajo los suelos se presentaron fuerte a extremadamente salinos, con CE de 4.8 a 9.5 dS/m y pH mayor a 9.1, clasificado como alcalino a fuertemente alcalino. Así mismo, estos

resultados pudieron corroborarse en la salida de campo, en especial en el subsector bajo donde se pudo observar la presencia de acumulación de sales en la superficie en áreas de cultivo. Con respecto al análisis de textura realizado en el laboratorio se obtuvo que el área de estudio presenta una textura arenosa; sin embargo, las muestras que presentan alto contenido alcalino (muestras del subsector bajo) tienen una clasificación de suelo franco, es decir, suelo adecuado para el desarrollo de cultivo. Por otro lado, con el análisis de laboratorio se pudo determinar que la concentración de materia orgánica es variable; sin embargo, la mayor concentración se encuentra en el subsector bajo con un porcentaje mayor a 10%.

El análisis espacio-temporal permitió identificar para el 2003 un aumento de 5.26 km² en áreas de cultivo y, a la vez, una pérdida de 4.87 km² con respecto al año 1980. Como resultado de un balance, se obtuvo un ligero aumento de 0.39 km² de las áreas de cultivo de 1980 al año 2003. Dicho aumento se pudo observar en los límites del área de estudio, en especial en el subsector bajo, cercanos a los balnearios de El Milagro y Santa Elena. Corresponden a nuevas áreas de cultivo, las cuales emplean métodos de riego tecnificado, dedicadas a la producción de ají paprika, maíz, entre otros. Con respecto a las áreas con pérdidas, parte de estas se localizan principalmente en los subsectores bajo y medio del área de estudio.

Los resultados alcanzados de CE, pH y salinidad sugieren que existe un proceso de salinización del suelo más avanzado, en especial en el subsector bajo en comparación con el resto de los subsectores del área de estudio. Se pudo observar que algunas parcelas ubicadas en el subsector bajo se encontraban en estado de abandono y cubiertas de grama salada y sales cristalizadas. Es posible que esta situación se encuentre relacionada con la pérdida de áreas de cultivo. Sin embargo, no se puede llegar a determinar con exactitud el alcance y dimensión de su influencia en dicho proceso. Cabe todavía la posibilidad de cierta influencia marina, debido a la proximidad de aquellas parcelas en donde se obtuvo altos contenidos de salinidad.

Finalmente, lo que se busca es una toma de conciencia en cuanto al sistema de riego en la zona, ya que no es el adecuado. Se podría intentar abrir paso al nuevo sistema de riego, el cual está siendo practicado en el subsector bajo, que consiste en riego tecnificado, donde se obtiene una serie de beneficios tales como: uso eficiente del recurso agua, no se desgasta las propiedades del suelo, diversificación de cultivos y además se obtiene un buen rendimiento de los productos.



1. INTRODUCCIÓN

La salinización es un problema que por mucho tiempo ha sido asociado con la agricultura, ya que es vista como una consecuencia de prácticas inadecuadas. El fenómeno de salinización es “el resultado de procesos naturales y/o antrópicos presentes en todos los suelos que conducen a una acumulación de sales que pueden afectar el estado fértil del suelo” (Flores, 1996).

Hoy en día, aproximadamente el 21 % del total de áreas de cultivo en el mundo son irrigadas, ellas producen alrededor del 40% de los alimentos del mundo. Pero gran parte de estas tierras se encuentran en las regiones áridas y semiáridas, con lo que corren peligro de saturarse de sal lo que daña las tierras y trae, como consecuencia, la reducción de las cosechas (Beltrán, 2002).

Los problemas de salinización pueden darse de forma natural, especialmente en suelos bajos y planos que periódicamente son inundados por ríos, o cuando el nivel de las aguas subterráneas es poco profundo y este asciende a la superficie por capilaridad; así también puede darse la salinización por procesos antrópicos, asociados al sistema de riego (Oosterbann, 1988). Ambos procesos se dan en la costa peruana, donde al encontrarse cerca al litoral, la brisa marina e intrusión de agua salina al acuífero generan el fenómeno de salinización, el cual también es influenciado por los factores antrópicos como el uso excesivo de fertilizantes e inadecuados manejos de regadío (Eguren, 2004).

Para el presente trabajo de investigación se pretende determinar cuantitativamente la extensión de tierras de cultivo que se pierden por salinización. Se eligió como área de estudio la zona baja de la cuenca del río Jequetepeque, la cual pertenece a la Región de La Libertad, ubicada al noroeste del país y forma parte del área de influencia del Reservorio de Gallito Ciego.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los valles de la costa peruana sufren principalmente de fenómenos como la salinización de los suelos que reduce su capacidad productiva. Este es el caso, de la zona baja de la cuenca del río Jequetepeque que presenta un grave problema de salinización debido a las condiciones climáticas y al sobreuso del recurso agua. Este último está relacionado a las prácticas de riego del cultivo de arroz, ya que requiere de altos volúmenes de agua. Sin embargo, es importante mencionar que en la zona del valle del río Jequetepeque, el problema de salinización puede deberse también a la presencia de la represa Gallito Ciego, construida en 1977. Ésta asegura la oferta de agua para el valle y ha permitido que se de más de una campaña agrícola al año (campaña grande y chica). Cabe la posibilidad de cierta influencia en la calidad de los suelos, ya que si bien, los proyectos de irrigación incrementan las áreas cultivadas también producen pérdida de tierras de cultivo por salinización, esto influenciado también por los malos manejos del recurso hídrico, como señala el Grupo Permanente De Estudio Sobre Riego (GPER, 1993).

Como bien se mencionó anteriormente, el valle de Jequetepeque, en especial la cuenca baja, se caracteriza por el cultivo de arroz, el cual necesita de grandes cantidades de agua, lo que sumado al mal manejo del recurso hídrico y a las características climáticas que posee la zona, originan la acumulación de sales en el suelo afectando el desarrollo de la agricultura. Según la Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN) (Girón, 2003) el área de estudio que presenta mayores problemas de salinización es la parte baja del valle del Jequetepeque siendo el más afectado el sector de San Pedro de Lloc al Sur-Oeste.

La ONERN, 1986, presentó la superficie afectada por salinidad en los valles de la Costa mostrando que de una superficie cultivada total de 775 431 hectáreas. El 40% de la superficie cultivada está afectada por el proceso de salinización. Asimismo, para el valle de Jequetepeque, del área total cultivable (47 300 hectáreas), el 28.5% se encuentra afectada por salinización (Tabla I).

Las causas principales del problema de salinización ocurren principalmente por las condiciones particulares que posee la costa peruana, la elevación de los niveles freáticos, exceso del agua de riego y las altas tasas de evaporación (ONERN, 1986).

Tabla I: Superficie afectada por salinidad en los valles de la costa (1986). ONERN, 1986.

Grado de Afectación		Valle de Jequetepeque		Valles de la Costa	
		Superficie Afectada (Hectáreas)	Porcentaje %	Superficie Afectada (Hectáreas)	Porcentaje %
Ligeramente salino		7 200	15.2	115 493	15
Salinidad	Moderado	3 030	6.4	53 360	7
	Fuerte	3 230	6.9	137 848	18
Total Afectado		13 460	28.5	306 701	40
Superficie Total Cultivada		47 300	100	775 431	100

En el periodo 1984 – 1986, el suelo afectado por salinización es 28.5% del área de cultivo del valle del Jequetepeque, que corresponde a 13 460 hectáreas, siendo el 15.2% ligeramente salino. (ONERN, 1986).

Es importante mencionar, que en los informes publicados por el Ministerio de Agricultura (MINAG), los datos de salinidad para los zonas agrícolas son estimaciones y no existe un inventario actualizado desde 1988 (ONERN).

3. HIPÓTESIS

El sector San Pedro de Lloc (unidad de regadío de la Junta de Usuarios de Jequetepeque) presenta una disminución de tierras de cultivo, debido al problema de salinización.



4. OBJETIVOS

El objetivo general del presente trabajo es realizar un diagnóstico de la pérdida de suelos por salinización en el sector San Pedro de Lloc.

Entre los objetivos específicos se tiene:

- Caracterizar los usos de suelo agrícola actuales.
- Reconocer las características de los suelos mediante la determinación de parámetros físicos y químicos.
- Mapear la extensión de áreas agrícolas actuales.
- Realizar un análisis temporal- espacial de la variación de áreas de uso agrícola.
- Elaborar una base de datos georeferenciados que contribuyan al monitoreo de la degradación de suelos.

5. SIGNIFICANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación tiene como principal interés determinar la cantidad de hectáreas que se pierden por el fenómeno de salinización y contribuir al conocimiento del estado actual de los suelos degradados por la salinización. Asimismo, se busca crear una conciencia en la población y en las autoridades sobre el deterioro de los suelos y del efecto negativo que trae consigo en la producción agrícola y en la economía del país.

Por último, cabe señalar que la falta de información actualizada dificulta la puesta en práctica de técnicas de conservación y rehabilitación de tierras conforme a nuestra realidad.



6. MARCO TEÓRICO

6.1 Proceso de salinización

La salinización es un fenómeno que consiste principalmente en la acumulación en el suelo de sales solubles en agua, tales como sales de potasio (K^+), magnesio (Mg^{2+}), calcio (Ca^{2+}), cloruro (Cl^-), sulfato (SO_4^{2-}), carbonato (CO_3^{2-}) y bicarbonato (HCO_3^-)- Estas sales tienen efectos negativos en las propiedades químicas y físicas de los suelos, así también, como en las raíces de las plantas, lo cual afecta su crecimiento, desarrollo y productividad (García, 2006).

6.2 Características de los suelos salinos

El término salino se aplica a suelos cuya conductividad del extracto de saturación es mayor de 4 dS/m a 25°C y presenta un pH mayor a 8.5 (Hilgard, 1906).

Una característica física de los suelos salinos es la presencia de costras blancas de sal en su superficie. Dichos suelos se encuentran principalmente en climas áridos o semiáridos. Esto ocurre debido a que hay menor precipitación para lavar y transportar las sales, y por la elevada evaporación que tiende a concentrar las sales en los suelos y en el agua superficial (Allison *et al.* 1954).

Uno de los factores relacionados al proceso de salinización es el sistema de drenaje compuesto por una red de canales que recogen y conducen el agua hacia otras zonas, además de controlar la acumulación de sales en el suelo (FAO, 1992). Por lo tanto, un drenaje restringido contribuye a la salinización de los suelos, ya que puede llevar consigo la presencia de una capa freática poco profunda o una baja permeabilidad del suelo. Este último puede deberse a la textura o presencia de capas endurecidas que pueden estar constituidas por arcilla (Postel, 1989).

Es importante resaltar que, después de todo proyecto de irrigación, el agua es abundante, lo que genera una tendencia de usarla en exceso que acelera la elevación de la capa freática produciendo la salinización (Allison, *et al.* 1954).

- Indicadores de salinidad

Los análisis físicos y químicos permiten evaluar las propiedades y las características de los suelos.

a) *Textura*

La textura indica el contenido relativo de partículas de diferente tamaño menores a 2 mm éstas son la arena, el limo y la arcilla (Zavaleta, 1992).

- Arena (2- 0.05 mm). Son partículas de tamaño grande e irregular. Poseen una textura áspera y moldeable cuando está húmeda, sin embargo, se seca rápidamente. Los poros que presentan dichas partículas son de tamaño grande, por lo tanto, son de alta permeabilidad para el agua y aire.
- Limo (0.05-0.002 mm). Son partículas de tamaño mediano; cuando el suelo está húmedo presenta limitada plasticidad y pegajosidad, son fácilmente moldeables; sin embargo, al secarse se deshace fácilmente. El limo tiene alta capacidad de retención de agua.
- Arcilla (< 0.002 mm). Son partículas pequeñas que solo pueden ser observadas con microscopio electrónico. Se caracteriza por ser plástica y pegajosa cuando se humedece y cuando está seca se endurece. La arcilla retiene una gran cantidad de agua.

- Análisis textural

La textura de los suelos se determina por el procedimiento de laboratorio conocido como análisis de granulometría, en donde se determina la distribución porcentual de las partículas de arena, limo y arcilla. El método utilizado es el del hidrómetro o de Bouyoucos, el cual se basa en la sedimentación en un determinado tiempo, donde la densidad es mayor en el fondo a comparación de la superficie.

Para este método se recomienda hacer dos lecturas con el hidrómetro. Los hidrómetros Bouyoucos están calibrados para medir gramos de partículas primarias por litro de suspensión de suelo. (Zavaleta, 1992). La primera lectura es a las 40 segundos, el cual determina los gramos de limo y arcilla que permanecen en suspensión y de arena (2.00 a 0.05 mm) que se ha sedimentado. La segunda lectura se da a las 2 horas, el cual determina los gramos de arcilla (< 0.002 mm) que se han sedimentado en la muestra. El limo (0.05-0.002) se calcula por diferencia de $100 - (\% \text{arena} + \% \text{de arcilla})$ (Porta, *et al.* 2003; White, 1997).

- Clases texturales

Las clases texturales se basan en las diferentes combinaciones de arena, limo y arcilla. Según el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (SSDS, 1993) existen doce clases texturales básicas que se enumeran en orden de incremento de la fracción de partículas de arena, limo y arcilla (Zavaleta, 1992). Dentro de las clases texturales se tiene tres tipos de clasificaciones: suelos arenosos, francos y arcillosos. Los suelos arenosos se caracterizan por tener el contenido de arena (superior a 80%), no retienen el agua y tienen muy poca materia orgánica. Los suelos francos están compuestos por arena (45%), limo (40%) y arcilla (15%). La proporción de su composición puede variar si su contenido de arena es mayor a 45% se le considera como franco arenoso; mientras que si el contenido de arcilla es mayor a 15% se le considera franco arcilloso. Los suelos francos se caracterizan por su elevada productividad agrícola debido al contenido de arena; así también, tienen gran capacidad de retención de humedad por el contenido de arcilla. Los suelos arcillosos, poseen gran capacidad de retención del agua, pero al secarse suelen formar una capa dura e impermeable (Soil Survey Division, 1999).

- Triángulo textural

Las clases texturales se observan gráficamente en el triángulo textural (Figura 1). La base representa la arena de 0 a 100%, el lado izquierdo representa el porcentaje de arcilla de 0 a 100% y el lado derecho representa el limo de 0 a 100%.

La clase textural se determina por la combinación de las tres fracciones obtenidas en el análisis de granulometría; la suma equivale a 100% (Zavaleta, 1992).

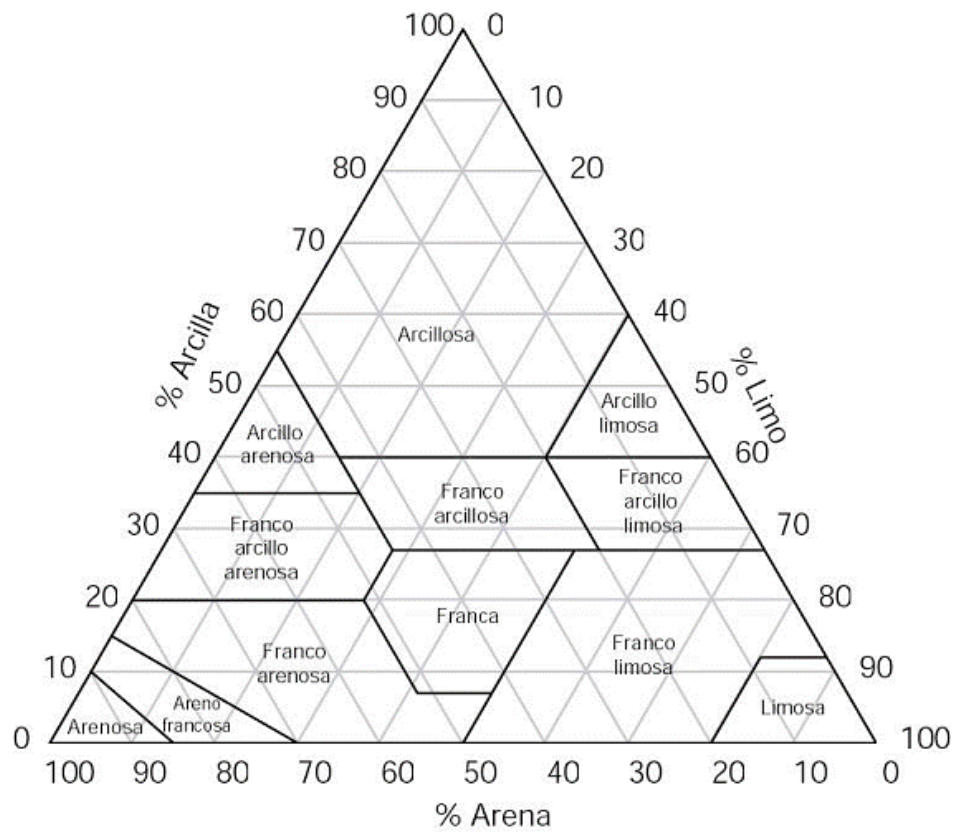


Figura 1. Triángulo de clases texturales según la SSDS, 1993 y nomenclatura en español según Zavaleta, 1992

b) pH

El pH es una medida de la acidez o alcalinidad de una solución; mide la proporción de iones H^+ e OH^- señalando el grado de acidez o alcalinidad en la solución. Si hay mayor concentración de iones H^+ , se dice que la solución es ácida, pero si hay más iones OH^- , la solución es alcalina. Si la concentración de iones (H^+ , OH^-) es la misma, la solución y el pH es neutra. La escala está dentro de los valores 0 a 14 a $25^\circ C$ (Tabla II), es el logaritmo negativo en base 10 de la concentración molar de iones H^+ , donde 7 es neutra, menor a 7 es ácida y mayor a 7 es alcalina (Zavaleta, 1992).

Tabla II. Clasificación de pH de suelo según la USDA, 1971.

pH	Clasificación
< 4.5	Extremadamente ácido
4.5 – 5	Muy fuertemente ácido
5.1 - 5.5	Fuertemente ácido
5.6 – 6	Medianamente ácido
6.6 - 7.3	Neutro
7.4 - 7.8	Medianamente básico
7.9 - 8.4	Básico
8.5 – 9	Ligeramente alcalino
9.1 - 10	Alcalino
> 10	Fuertemente alcalino

Fuente: Porta. J; López. M (2005)

c) Conductividad eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica es la capacidad de un cuerpo de permitir el paso de la corriente eléctrica a través de sí. También es definida como la propiedad natural característica de cada cuerpo que representa la facilidad con la que los electrones pueden pasar por él. Varía con la temperatura (Zavaleta, 1992).

En suelos salinos la conductividad eléctrica (CE) se mide en una solución extraída de una pasta de suelo saturado con agua, donde el resultado se expresa en deciSiemens (dS) por metro (m), es decir, (dS/m) (Delatorre, 2010).

6.3 Causas de salinización

El desarrollo de los suelos salinos es debido a una acumulación de sales solubles originadas, en un principio, por la intemperización de los minerales; sin embargo, es una causa de acumulación de sales poco dañina. Para la formación de suelos salinos las sales tienen que ser transportadas y concentradas siendo los agentes principales el agua y el viento (Buringh, 1960.b).

Considera la USDA, 1954 que los suelos salinos se originan en:

- Sales del agua subterránea. Esta es una de las importantes fuentes de acumulación de sales en regiones áridas y semiáridas, ya que al momento en el que el agua subterránea se encuentra a pocos metros de la superficie, hay propensión a que el agua con contenido de sales ascienda a la superficie por capilaridad, lo que genera la acumulación de sales en la superficie.
- Sales del agua de riego. Toda irrigación trae consigo la recarga del agua subterránea, debido a que las parcelas al inundarse generan el aumento de estas aguas, con la consecuente acumulación de sales en las áreas de cultivo.
- Sales del agua de mar. Son una causa importante de la salinización del suelo en zonas costeras donde el área es inundada con agua de mar o donde partículas de sal son depositadas en las áreas de cultivo por acción del viento.
- Sales por factores antrópicos. Es uno de los factores que influyen en la concentración de sales en los suelos debido a que generan la elevación de la capa freática por filtración de canales y depósitos sin revestir. También ocurre por la distribución desigual del agua de riego, inadecuados métodos de regadío y drenaje. Y por hacer uso de fertilizantes y otros insumos, especialmente en zonas de agricultura intensiva.

6.4 Clasificación de la salinidad de los suelos con fines agrícolas

La salinidad de los suelos es considerada uno de los procesos que afecta a la mayoría de los países, por lo que Van Hoorn y Van Alphen (1994) plantean una clasificación de los suelos afectados por sales, que toma en cuenta la tolerancia de los cultivos. Está basado en la escala de salinidad señalada por el USSLS – USDA (1954) respecto a la tolerancia de los cultivos a las sales, en base a la clasificación de suelos con contenido salino en extracto de pasta saturada (Villafañe, FAO-UNESCO, 1999)(Tabla III).

Tabla III. Clasificación de los suelos de acuerdo a la salinidad en extracto de pasta saturada. FAO- UNESCO, 1999.

Categorías	Conductividad eléctrica	Características
	(dS/m)	
Normal	<2	Ningún cultivo es afectado
Ligeramente salino	2-4	Afectado los cultivos ligeramente tolerantes
Salino	4-8	Afectados a los cultivos moderadamente tolerantes
Fuertemente salino	8-16	Posible sólo cultivos tolerantes
Extremadamente salino	>16	Pocos cultivos son posibles

- Suelos normales, cuando estos se secan no presentan afloramiento de manchas salinas. El proceso de germinación y desarrollo de los cultivos es de forma normal, ya que no muestran ningún tipo de alteración física por lo que poseen un buen rendimiento (MINAG, 1973). En el análisis de laboratorio se obtiene valores de salinidad menores a 2 dS/m.

- Suelos ligeramente salinos, son suelos que presentan manchas aisladas de sales (blancas) en la superficie cuando están secos. Se afecta significativamente el rendimiento de los cultivos, especialmente aquellos que son muy sensibles a la salinidad como las hortalizas. La vegetación, en este caso, presenta una malformación en su crecimiento (MINAG, 1973). En el análisis de laboratorio se obtiene valores de salinidad de 2 -4 dS/m.
- Suelos salinos, son suelos que presentan acumulación de sales en todo su perfil; son de color blanquecinos cuando se secan. Cuando están ligeramente húmedos, forman grumos salinos en la superficie. No son aptos para cultivos sensibles a la salinidad. El rendimiento en estos suelos es de 15 a 30% (MINAG, 1973). En el análisis de laboratorio se obtiene resultados de 4-8 dS/m.
- Suelos fuertemente salinos, son suelos que presentan una fuerte acumulación de sales en todo el perfil y costras salinas en su superficie. Estos suelos suelen ser abandonados o son usados como pastizales naturales (MINAG, 1973). En el análisis de laboratorio se obtiene resultados de 8-16 dS/m.
- Suelos extremadamente salinos, estos suelos poseen una alta concentración salina, se hallan aislados y en completo abandono, con algunas especies halófitos, tales como la grama salada, verdolaga, entre otras. Presenta valores mayores a 16 dS/m (MINAG, 1973).

Por otro lado, existe una clasificación realizada por Dahnke y Whitney en 1988 (cit. Porta y López, 2005) donde se analiza la relación 1:1 de la cantidad de muestra de suelo con agua, por lo que se crea una calificación basada en el extracto de agua, donde la relación de la conductividad eléctrica y el crecimiento de los cultivos varía con la textura del suelo (Tabla IV) (Porta. J y López, M, 2005).

Tabla IV. Clasificación de los suelos de acuerdo a la salinidad en extracto de agua según Dahnke y Whitney, 1988. (Porta. J y López, M, 2005)

Categorías	Conductividad eléctrica (dS/m)
No salino	0 - 1.2
Ligeramente salino	1.3 - 2.4
Moderadamente salino	2.5 - 4.7
Fuertemente salino	4.8 - 9.4
Extremadamente salino	< 9.5

Existen cultivos que al crecer en suelos salinos muestran una disminución progresiva en el crecimiento y en la producción a medida que el grado de salinidad va aumentando. El fenómeno de salinización afecta a los cultivos en sus hojas, tallos y frutos, ya que se reduce su tamaño, así también genera una reducción en el rendimiento sin que el agricultor se de cuenta de que la salinidad es la causa (Bernestein, 1964). Dentro de los cultivos tolerantes a la salinidad se tiene cultivos que pueden tolerar hasta de 10 gramo/litro; los moderadamente tolerables, hasta 5 gramos/litro; y por último, los ligeramente tolerantes hasta 2.5 gramos/litro (Leidi y Pardo, 2002) (Tabla V).

Tabla V. Clasificación de cultivos de acuerdo al grado de salinización. (Leide y Pardo, 2002)

	Salinidad (gramos/litro)	Cultivos
Cultivos tolerables	5 a 10 gramos/litro	Espinaca, espárragos, cebada, caña de azúcar y algodón
Cultivos Moderadamente tolerables	2.5 a 5 gramos/litro	Arroz, maíz, cebollas, olivo, alfalfa, trigo, pepinos, ajos y zanahorias
Cultivos Ligeramente tolerables	0 a 2.5 gramos/litro	Frutales

6.5 Fenómeno de salinización a nivel mundial

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 1987), la salinización es uno de los procesos de degradación del suelo más extendido en todo el planeta. En Europa, hay tierras salobres en Hungría, Rumanía, Grecia, Italia y la Península Ibérica. En los países nórdicos, los tratamientos antihielo a base de sal ocasionan la salinización. Se estima que en la Unión Europea la salinización del suelo afecta aproximadamente a 3 millones de hectáreas.

La salinización se considera una causa importante de la desertificación y constituye, por lo tanto, la forma más grave de degradación del suelo. Con el aumento de las temperaturas y el descenso de las precipitaciones que se están registrando en los últimos años, el problema de la salinización en Europa es cada vez más grave (Tóth, 2006). En España se calcula que unas 800 mil hectáreas están afectadas por salinización.

A nivel mundial la cifra se eleva a 76 de millones de hectáreas (lo que representa alrededor del 5% de las tierras cultivadas) las áreas que están siendo afectadas por salinización (Tabla VI).

Tabla VI. Extensión de la salinización inducida por el hombre. (FAO, 1987)

Salinización (datos en millones de hectáreas)						
	Débil	Moderada	Fuerte	Extrema	TOTAL	Suelos cultivable TOTAL
África	4.7	7.7	2.4	-	14.8	165
Asia	26.8	8.5	17	0.4	52.7	451
Norte América	0.3	1.5	0.5	-	2.3	274
Sur América	1.8	0.3	-	-	2.1	142
Europa	1	2.3	0.5	-	3.8	140
TOTAL	34.6	20.8	20.4	0.8	76.6	1474

Se estima que existen aproximadamente 1 500 millones de hectáreas cultivadas a nivel mundial (Deininger et Byerlee, 2011). La FAO señala que mundialmente existen alrededor de 327 millones de hectáreas regadas, de las cuales aproximadamente 30 millones sufren de salinización. Además, se ha determinado que 80 millones de hectáreas están siendo afectadas en cierto grado. Se ha determinado que se pierde anualmente 1.5 millones de hectáreas por salinización (FAO, 1987), siendo Estados Unidos (28%), China (23%), Paquistán (21%), India (11%) y México (10%), los países con mayor porcentaje de áreas regadas que sufren de dicho problema (FAO, 1995).

Hoy en día, aproximadamente el 21 % del total de áreas de cultivo en el mundo cuenta con irrigación; en ellas se produce alrededor de 40% de los alimentos del mundo. Pero gran parte de estas tierras se encuentran en las regiones áridas y semiáridas, con lo que corren peligro de saturarse de sal, lo que reduce las cosechas y puede dañar las tierras e impedir la recuperación de las mismas (Beltrán, 2010).

6.6 Fenómeno de salinización a nivel nacional

El Perú posee una superficie de 128.5 millones de hectáreas, de las cuales solo 5.4 millones de hectáreas son áreas cultivadas, mientras que 2.2 millones de hectáreas que no están siendo usadas tienen potencial para ser áreas de cultivo (MINAG, 2010). Por lo tanto, el total de áreas con capacidad a ser áreas cultivables es de 7.6 millones de hectáreas, de las cuales 16% se encuentra en la costa, 52% en la sierra y 32% en la selva (INEI, 2007).

Se considera que las mejores tierras de cultivos del Perú se encuentran en la Costa donde la agricultura es intensiva y practicada en los fondos de los valles, ya que cuenta con orientación técnica, tecnología e inversiones de grandes capitales; es por ello que son tierras de alta productividad. No obstante, por la escasez de agua existente, en la Costa se obtiene, por lo general, sólo una cosecha al año; pero en aquellos casos en que se han realizado obras de riego se obtiene hasta dos cosechas, aumentando al mismo tiempo la producción agrícola. Sin embargo, se ha determinado que en las zonas costeras hay aproximadamente unas 350 mil hectáreas que registran problemas de salinización, especialmente en las áreas donde se cultiva arroz (Barrena *et al.*, 2010).

Estos problemas de salinización pueden darse de forma natural, especialmente en suelos bajos y planos que periódicamente son inundados por ríos o cuando el nivel de las aguas subterráneas es poco profundo y este asciende a la superficie por capilaridad. También puede darse la salinización por procesos antrópicos, asociados al sistema de riego (Oosterbann, 1988). Ambos procesos se dan en la costa peruana, donde al encontrarse cercano al litoral, la brisa marina e intrusión de agua salina al acuífero generan el fenómeno de salinización, el cual también es influenciado por los factores antrópicos como el uso excesivo de fertilizantes e inadecuados manejos de regadío (Eguren *et al.*, 2004).

7. ÁREA DE ESTUDIO

7.1 Ubicación y extensión

El sector San Pedro de Lloc está ubicado al noroeste del distrito del mismo nombre, en la Región de La Libertad en la provincia de Pacasmayo. Comprende la parte baja del valle del Jequetepeque. El distrito de San Pedro de Lloc presenta una superficie de 698.42 km² (INEI, 2003) (Figuras 2 y 3). Geográficamente está comprendida dentro de 07° 23' 55" y 07° 28'48" latitud sur; 79° 33' 49" y 79°28' 32" longitud oeste.

7.2 Características del área de estudio

Desde un punto de vista edáfico el valle del Jequetepeque presenta 18 tipos de suelos, de los cuales 16 son de origen aluvial mientras que los otros 2 son de origen eólico (Dirección de Manejo de Cuencas, 1977). El sector San Pedro de Lloc presenta un tipo de suelo arenoso y de alta permeabilidad, con una clase textural de franco, arena- franca, arenoso y franco- arenoso (Junta de Usuarios del Sub-Distrito de Riego Regulado Jequetepeque, 2010).

El clima de San Pedro de Lloc se caracteriza por ser semiárido, ya que corresponde a una zona desértica donde las precipitaciones son escasas (menos de 200 mm al año), excepto cuando se produce el evento El Niño, en que las lluvias son abundantes (Girón, CONDESAN, 2003). La temperatura máxima es de 27.80°C y la mínima es de 16.80 °C. La humedad promedio anual es del 78.5%, los vientos que siguen una dirección de norte a sur, tienen una velocidad promedio de 19.60 km/h (Junta de Usuarios del Sub-Distrito de Riego Regulado de Jequetepeque, 2010).

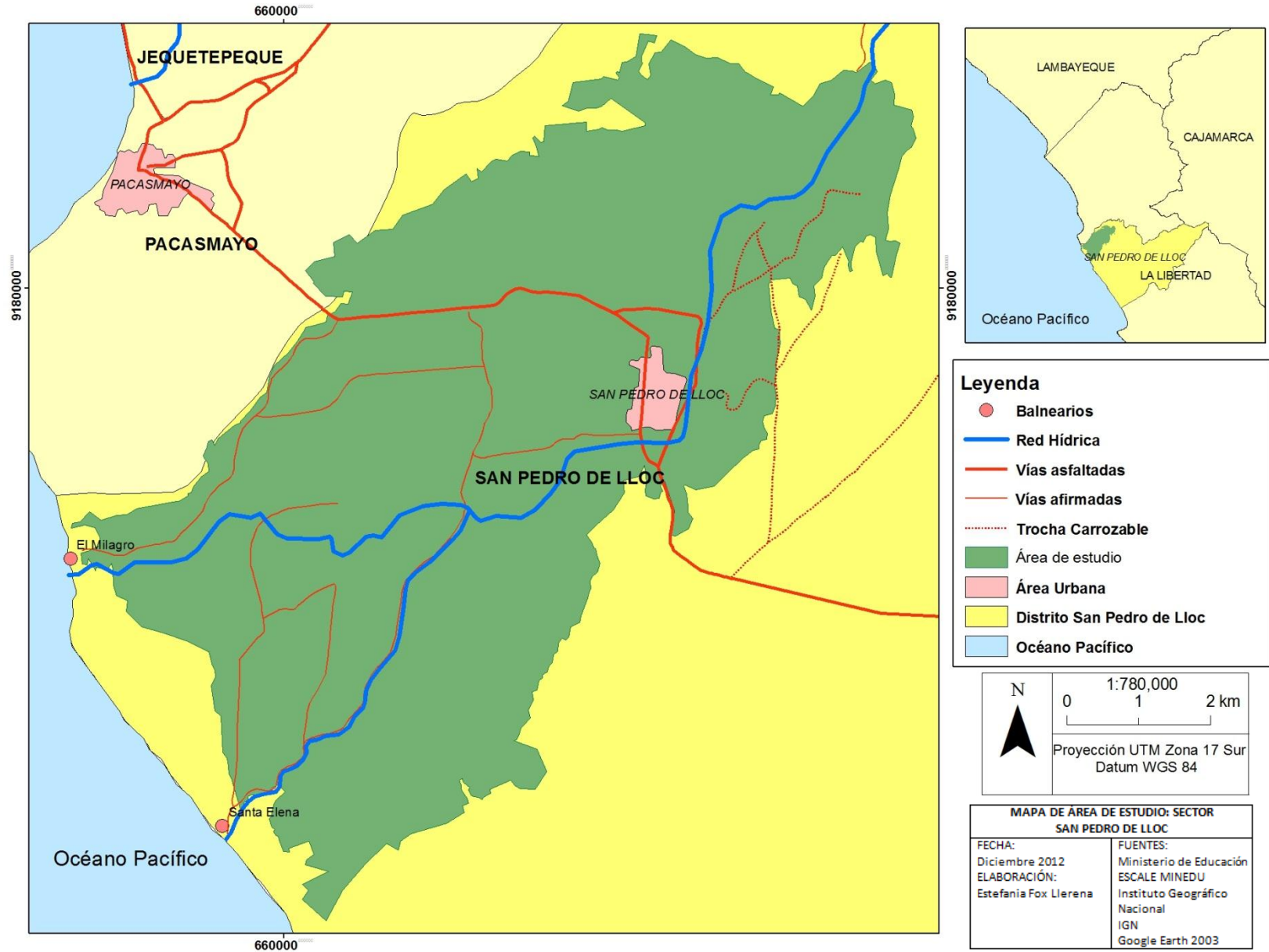


Figura 2. Ubicación del área de estudio: distrito de San Pedro de Lloc

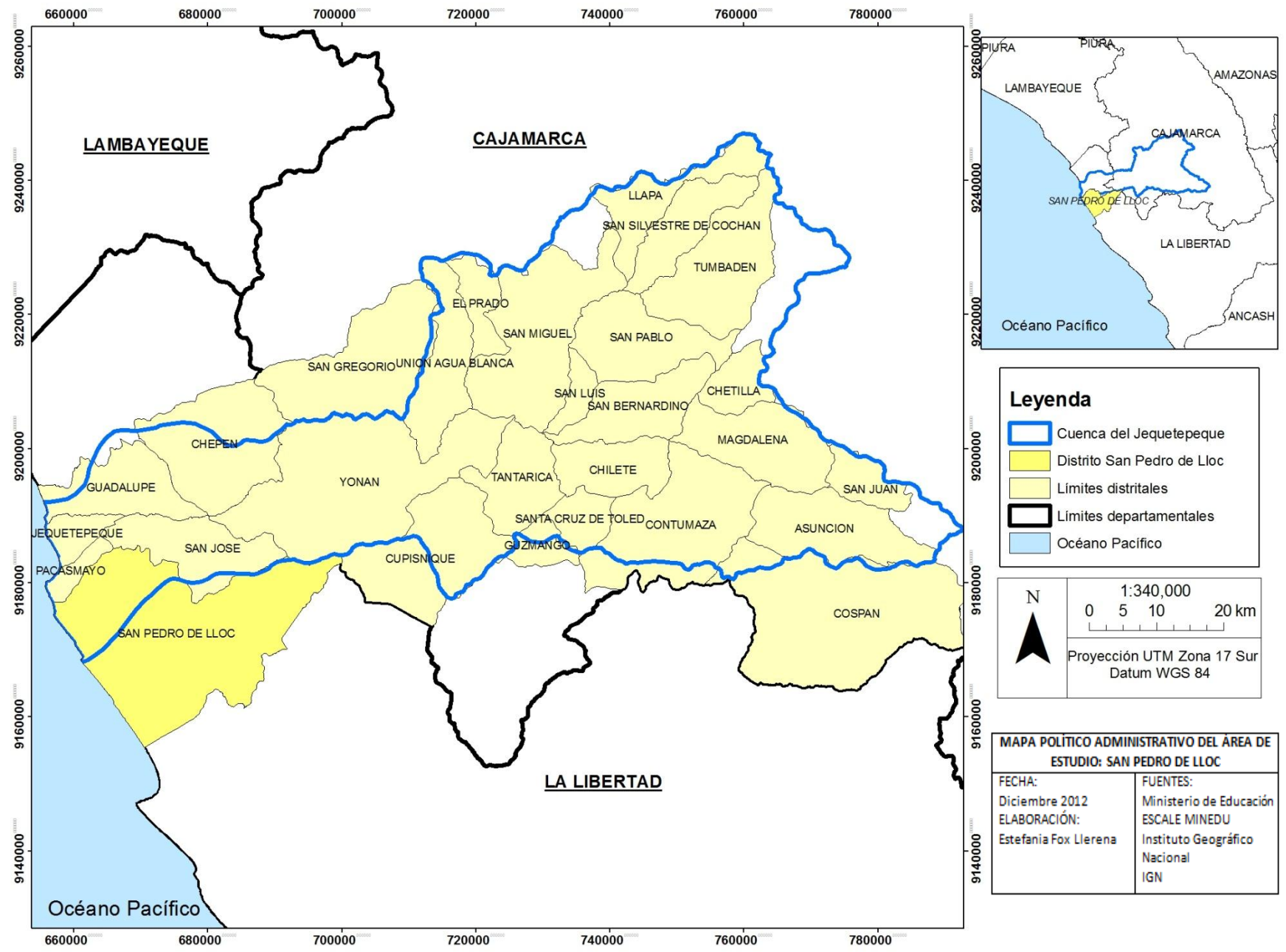


Figura 3. Mapa político del distrito de San Pedro de Lloc

7.2.1 Recursos básicos

- *Agua*

Naturalmente, las aguas del río Jequetepeque no transcurren directamente en el área de estudio, por lo que esta zona se encuentra irrigada mediante la captura y desviación de las aguas del río Jequetepeque a través de la Bocatoma San Pedro de Lloc, cuya función es regular el caudal del agua necesaria para las actividades agrícolas del sector. Es importante mencionar que el canal San Pedro- San José es un canal sin revestir y distribuye agua a los sectores de riego de San Pedro de Lloc y San José; su capacidad de conducción es de $11.10 \text{ m}^3/\text{s}$ desde la bocatoma (Junta de Usuarios del Sub-Distrito de Riego Regulado de Jequetepeque, 2010).

En el sector San Pedro de Lloc, 67.63% del recurso hídrico es utilizado con fines agrícolas, domésticos, industriales o pecuarios, siendo de uso principal el sector agrícola; 27.46% no es utilizado pero podría serlo y 4.91% es no apto para uso (Vinelli, 2011). Con respecto a la calidad de aguas superficiales, corresponden a características naturales, de buena calidad para la irrigación; sin embargo, los parámetros de pH y conductividad eléctrica muestran indicios de salinización en el subsector Santa Elena, lo cual altera los procesos reproductivos de los cultivos (Quispe, 2008. Pag 65). Es importante mencionar, con respecto a la calidad de aguas residuales que tiene como resultado una gran cantidad de hierro, plomo y cadmio, seguido de gran presencia de plaguicidas, que son aplicados a los cultivos.

La encargada de la distribución del agua en la cuenca baja del río Jequetepeque es la Junta de Usuarios, la cual está ubicada en el distrito de Guadalupe. Su función es distribuir cierta cantidad de agua a cada Comisión de Regantes de cada distrito. En el caso del distrito de San Pedro de Lloc, este presenta su propia junta de regantes, el cual lleva el conteo de la cantidad de agua que se le proporciona a cada usuario, así como el tipo de cultivo que cosecha.

- *Suelos*

Los suelos del Sector San Pedro de Lloc son de tipo aluvial- eólico; estos últimos son la acumulación de material transportado por el viento y están constituidos por arenas finas sueltas y pobres en calcio (Girón, Condesan, 2003).

La vegetación natural es escasa en dicha zona, debido a la sobreutilización por el uso doméstico, agrícola y ganadero. En San Pedro de Lloc, 43% del área total es “tierra sin uso”, ya que pertenece a la gran extensión de desierto que presenta tierras eriazas o degradadas que han sido abandonadas. Por otro lado, el 50% del área total (Girón, Condesan, 2003) está dedicada a los cultivos transitorios; dentro de esta están caña de azúcar, arroz, hortalizas, jacaranda, ciruela, palo santo, tara, algarrobo, chope, sapote, pájaro loco, etc (Tavares, 2005).

7.2.2 Calidad de los suelos

- *Erosión*

En la zona de la cuenca baja del río Jequetepeque se puede observar un gran problema de salinización debido al uso inadecuado del recurso hídrico, el cual ha sido afectado en un 28% del área de riego. Según el estudio del Proyecto REHATIC, 2004, las actividades agrícolas, ganaderas y forestales son las causantes del proceso de deterioro del suelo, ya que se no solo se da el uso intensivo, sino también, una fuerte deforestación presente en la zona. Según la ONERN (1986) 13 460 hectáreas (28.5%) se encuentran afectadas por el problema de salinización como se observa en la tabla VII (De la Torre, REHATIC 2004).

En la cuenca baja del Jequetepeque, 71.5% del área presenta suelos normales con grado de afectación mínimo o casi nulo, mientras que 28.5% presenta suelos afectados que van desde suelos ligeramente salinos a fuertemente salinos (Tabla VII) (INRENA, REHATIC 2004).

Tabla VII. Grado de Afectación por Sales en el área de la parte baja del valle del río Jequetepeque (1988)

Situación Actual	Superficie		Grado de Afectación	Superficie	
	Ha	%		Ha	%
Suelos Normales	33 840	71.5	Sin problema a muy ligeramente salinos	33 840	71.5
Suelos Afectados	13 460	28.5	Ligeramente salinos	7 200	15.2
			Moderadamente salinos	3 030	6.4
			Fuertemente salinos	3 230	6.9
Total	47 300	100		47 300	100

Fuente: "Plan de Ordenamiento Ambiental de la Cuenca del Río Jequetepeque para la Protección del Reservorio Gallito Ciego y del Valle Agrícola". ONERN, 1988

La ONERN (1986) señala que el sector de San Pedro de Lloc es la zona que presenta las tasas más altas de salinización de la costa, ya que por las características climáticas y procesos antrópicos que presenta la zona, genera que se incrementen problemas tales como la salinización (INRENA, REHATIC 2004).

7.3 Características sociales

7.3.1 Demografía

El distrito de San Pedro de Lloc tiene una población de 16 149 habitantes según el censo del INE (2007), donde 50 % es población masculina. La mayoría de su población es de tipo urbano 90%, mientras que 10% es rural (Instituto Nacional de Estadística, INEI, 2007).

El 80% de la población de San Pedro de Lloc posee una vivienda de tipo particular. La mayoría de viviendas presentan material de adobe o tapia (68%) y 65% de los servicios básicos completos. El 86% tiene alumbrado eléctrico y 47% poseen servicio de alcantarillado dentro de vivienda. El 87% de las viviendas se encuentran ubicadas en los centros poblados urbanos (Tabla VIII).

Tabla VIII. Centros poblados en San Pedro de Lloc según censo 2007

Nombre	Área	Viviendas	Porcentaje Viviendas (%)	Porcentaje según urbano o rural (%)
San Pedro de Lloc	Urbano	3394	69.25	86.96
Masanca	Urbano	246	5.02	
Santonte	Urbano	134	2.73	
Chocofan	Urbano	315	6.43	
El Hornito	Urbano	173	3.53	
Cavour	Rural	34	0.69	13.04
Chascarrape	Rural	29	0.59	
Jatanca	Rural	66	1.35	
Cruce el Hornito	Rural	31	0.63	
Pueblo Libre	Rural	31	0.63	
El Milagro	Rural	76	1.55	
San Demetrio	Rural	65	1.33	
Buenos Aires	Rural	101	2.06	
Puémape	Rural	43	0.88	
Cerro Chilco	Rural	1	0.02	
El Solano	Rural	11	0.22	
La Constancia	Rural	10	0.20	
Santa Elena	Rural	102	2.08	
Cala	Rural	21	0.43	
Dios Te de	Rural	18	0.37	
TOTAL		4901	100	100

El valle del Jequetepeque se organiza en la Junta de Usuarios y consta de 14 158 usuarios distribuidos en 14 sectores de riego o comisiones de regantes. Dicha junta se encarga del control, la operación y la distribución del agua para las actividades agrícolas atendiendo alrededor de 1 863 usuarios en el Sector San Pedro, cuyo número de predios es de 1 861 (Vinelli, 2011).

7.3.2 Actividades económicas

Las buenas condiciones de aptitud del suelo y la disponibilidad del recurso hídrico (reservorio Gallito Ciego) caracterizan al valle del Jequetepeque con buenas posibilidades de inversión y desarrollo que, complementado con la incorporación de tecnologías apropiadas, puede permitir una producción eficiente.

Actualmente, con el reservorio Gallito Ciego se ha logrado incrementar en aproximadamente 50% la producción agrícola en la parte baja de la cuenca del Jequetepeque, alcanzando una producción promedio de 250 000 T.M. /año, con un valor de 30.8 a 80.6 millones de dólares (Girón, Condesan, 2003). Hoy en día, el cultivo de arroz ocupa 68 % del área cultivada; esta se incrementó en un 15% con respecto a los últimos 3 años.

El Proyecto de Cuencas Andinas se ha determinado que 42 836 hectáreas cultivables constituyen el área de influencia de los canales existentes en el distrito de Riego Regulado Jequetepeque. Alrededor de 36 000 hectáreas son utilizadas dependiendo de la disponibilidad de agua (Girón, Condesan, 2003).

En la cuenca baja predomina el cultivo de arroz, seguido del maíz de grano grueso. Los monocultivos son los que han provocado que se vaya degradando el suelo de manera tal que ha provocado el aumento de problemas de salinización en la zona.

El arroz es el principal producto por su rentabilidad y extensión cultivada en la zona, representa el 70% del área total cultivada. Es un cultivo de tipo intensivo y consume un total de 80% del agua utilizada para la agricultura (Quispe 2008). En San Pedro de Lloc alcanza un rendimiento de hasta 7 500 kg. por hectárea, lo que convierte a San Pedro de Lloc en uno de los principales centros arroceros de Pacasmayo (Girón, Condesan, 2003).

Es importante mencionar que el sector de San Pedro de Lloc presenta tres campañas agrícolas: la principal, la chica y la complementaria (Quispe, 2008).

- *Campañas agrícolas principales:* esta campaña tiene una duración de 8 meses, se da en los meses de setiembre – abril. El cultivo que presenta mayor cantidad de siembra es el arroz, ya que se cultiva alrededor de 3 485 hectáreas de un total de 3 858 hectáreas.
- *Campaña agrícola chica:* empieza en el mes de abril y finaliza en agosto. El cultivo con mayor predominancia es el maíz amarillo ya que se cultiva alrededor de 238.66 hectáreas de un total de 319.77 hectáreas.
- *Campaña complementaria:* abarca los meses de febrero a julio. En este periodo se cultiva maíz, cebolla, alcachofa, ajo, entre otros. El área total cultivada corresponde a 48.03 hectáreas.

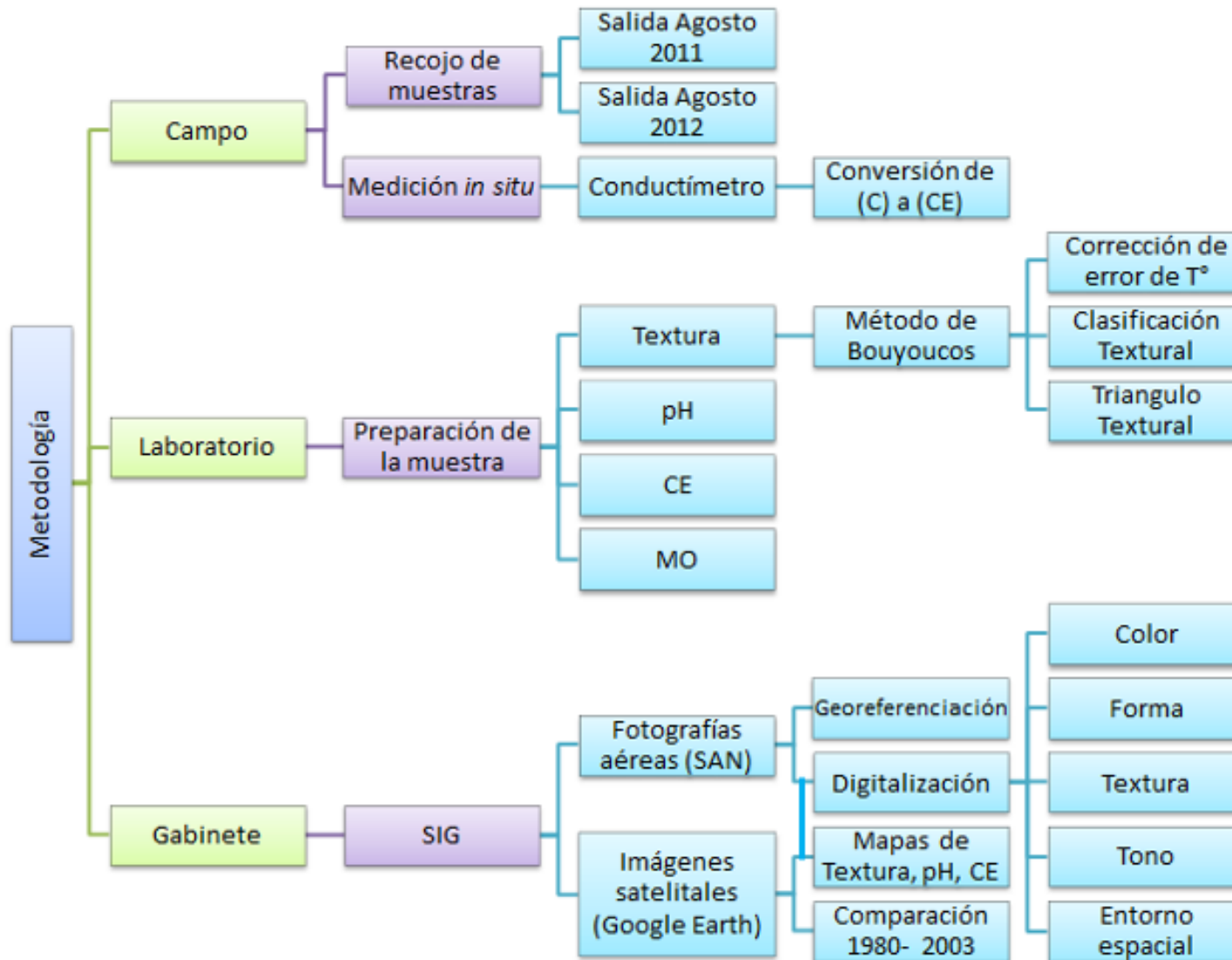
Con respecto a la producción pecuaria en la zona de la cuenca baja, la principal es la producción lechera. Se tiene un total de 61 580 vacunos, de los cuales el 59 % corresponde a vacas que producen 13 680 TM de leche/año. Por otro lado, se cuenta con 66 084 ovinos, 20 430 porcinos, 27 268 caprinos y 14 920 equinos (ADOPESA, 1994). Es importante mencionar que la pesca es practicada de forma eventual, la principal especie es la trucha usada sobre todo para el autoconsumo.

7.4 Infraestructura

Actualmente, San Pedro de Lloc cuenta con una carretera de doble vía completamente asfaltada desde Pacasmayo hasta Cajamarca. Al interior de los distritos, las vías de comunicación son escasas, predominando las trochas carrózales.

En la parte baja de la cuenca, el sistema de riego correspondiente a los valles Jequetepeque – Chamán está constituido principalmente por el Reservorio de Gallito Ciego. La bocatoma Talambo – Zaña posee 3 canales; Canal Talambo- Zaña, canal de empalme Guadalupe y canal San Pedro- San José. Este último es el que distribuye el agua al área de estudio (Junta de usuarios del sub-distrito de riego regulado de Jequetepeque, 2010)

8. MATERIALES Y METODOLOGÍA



Para el desarrollo de la presente investigación la metodología propuesta consta de tres partes:

8.1 Trabajo de campo

Para identificar las coberturas del suelo fue necesario realizar dos salidas de campo a la zona de estudio, San Pedro de Lloc, siendo la primera salida en agosto del 2011 y la segunda en agosto del 2012, en las cuales se hizo una recolección de muestras, para luego ser analizadas en el laboratorio y mediciones de salinidad *in situ*.

8.1.1 Toma de muestras de suelo

En la primera salida del campo, agosto 2011, se hizo un reconocimiento del área de estudio, y se escogió de forma aleatoria 6 puntos de muestreo de áreas representativas de toda la zona de estudio de acuerdo a material cartográfico, imagen obtenida de Google Earth, San Pedro de Lloc 2003 (Tabla IX). Se obtuvo una muestra de suelo subsuperficial de 15 cm de profundidad con ayuda de una pala de plástico (Figura 4). Luego, dichas muestras fueron colocadas en una bolsa de plástico (ziploc), estas fueron selladas, se anotó con un marcador el número de muestra, el nombre de la zona, la hora y las coordenadas tomadas con GPS Magellan. Después fueron analizadas en el laboratorio de suelos y se identificó los parámetros de conductividad eléctrica, pH, materia orgánica y textura.

Así mismo, se obtuvo registro fotográfico de cada punto de muestreo de suelo y se anotó las características representativas del área (tipo de cultivo, tipo de riego, tipo de suelo y estado en el que se encontraba el área). Por otro lado, se realizó una entrevista con la Sra. Susana Escobar Ramírez, representante de la Junta de Regantes de San Pedro de Lloc, quien brindó información sobre las campañas de siembra.



Figura 4. Subsector bajo de áreas de cultivo. Santa Elena, San Pedro de Lloc. Recolección de muestra de suelo en un orificio de 15 cm de profundidad en una bolsa Ziploc, en un área de cultivo de suelo salino con vegetación de grama salada.

Tabla IX. Recolección de la toma de muestras en San Pedro de Lloc realizadas en agosto 2011 para el análisis de laboratorio.

N°	Código de muestra	Nombre	Coordenadas UTM	
			Zona 17 Sur	
			E	N
1	2 SSP	El Milagro	658398	9175533
2	4 SSP	Santa Elena	660420	9173738
3	5 SSP	Puémape	663383	9173362
4	10 SSP	San Pedro	663899	9177947
5	12 SSP	San Pedro	665823	9178908
6	15 SSP	San Pedro	664546	9179750

En la segunda salida de campo, agosto 2012, se tomó muestras de suelo complementarias, las cuales fueron analizadas en el laboratorio junto con las muestras obtenidas en la salida de agosto 2011 (Tabla X) (Figura 5).

Tabla X. Recolección de la toma de muestras para análisis de laboratorio en San Pedro de Lloc realizadas en agosto 2012.

N°	Código de muestra	Nombre	Coordenadas UTM	
			Zona 17 Sur	
			E	N
7	1 SSP	El Milagro	657489	9176265
8	3 SSP	Santa Elena	660045	9174799
9	6 SSP	El Milagro	660048	9177871
10	7 SSP	Santa Elena	661978	9176705
11	8 SSP	Puémape	663622	9175621
12	9 SSP	San Pedro	661779	9178557
13	11 SSP	San Pedro	663152	9179983
14	13 SSP	San Pedro	663477	9181287
15	14 SSP	San Pedro	664751	9180314
16	16 SSP	San Pedro	665898	9182499

8.1.2 Toma de mediciones *in situ* de salinidad

Se realizó mediciones *in situ* de salinidad del suelo en 23 puntos, los cuales fueron elegidos de forma aleatoria en base a la imagen de Google Earth 2003 (Figura 6).

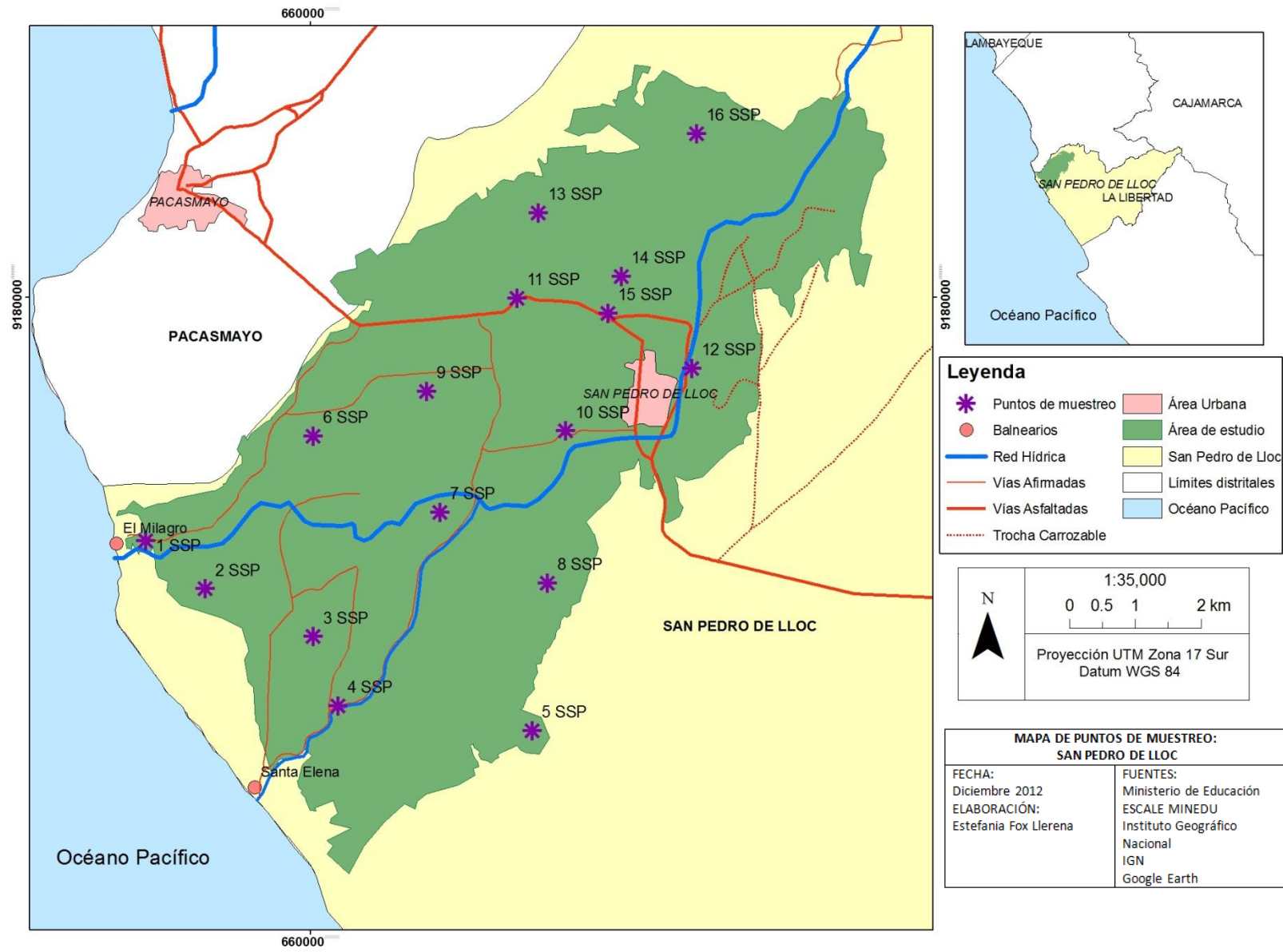


Figura 5. Mapa de puntos de muestreo 2011-2012. San Pedro de Lloc. Elaboración propia

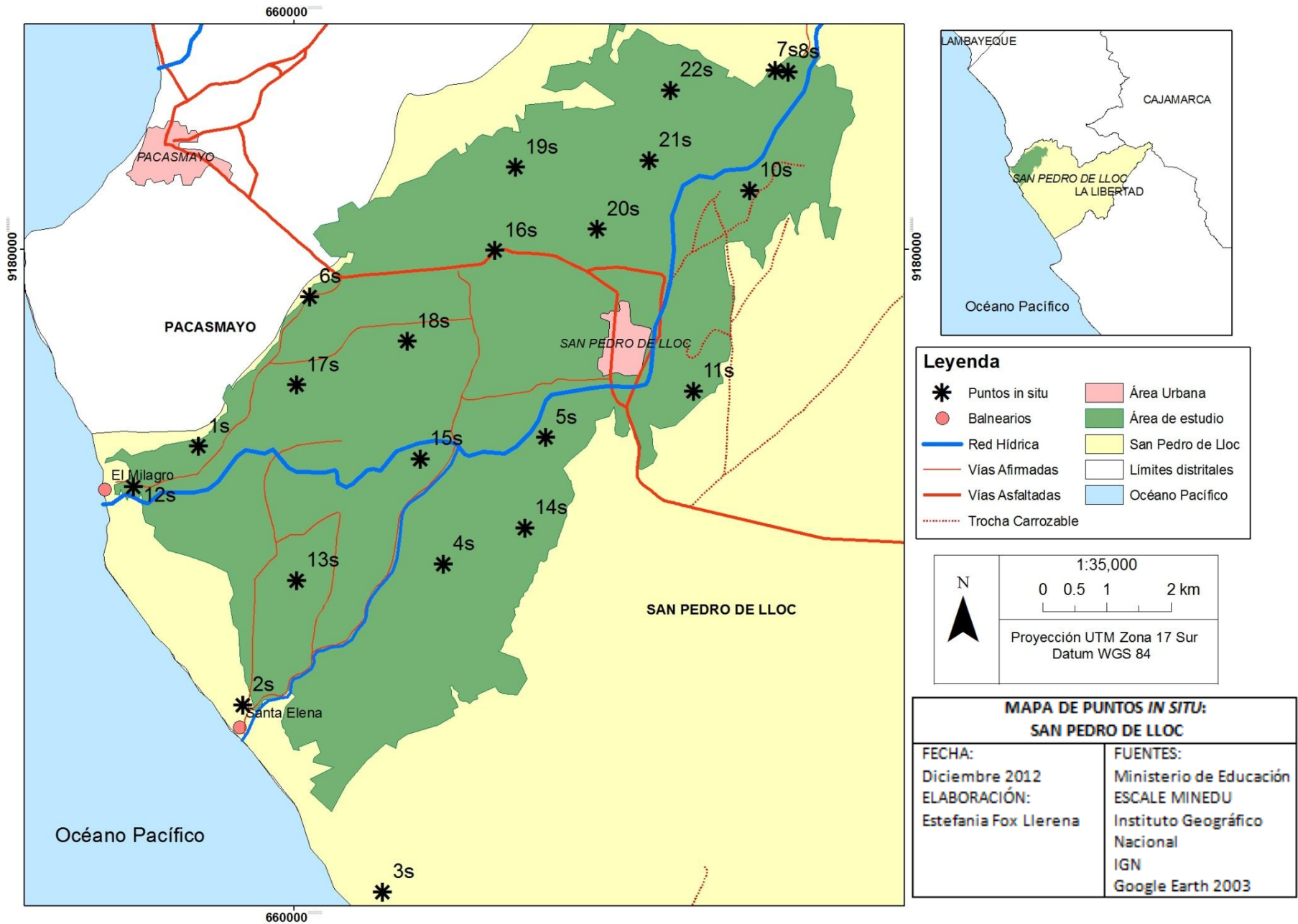


Figura 6. Mapa de mediciones *in situ* de salinidad. San Pedro de Lloc. Elaboración propia

Para la medición de conductividad (mS/cm) y salinidad se empleó un conductímetro Hanna Instruments N° HI 8341, instrumento diseñado para medir directamente del suelo (gramos/litro) (Figura 7). El sensor posee una punta cónica de acero inoxidable para mediciones directas de suelo y, para ello se introdujo la punta a 15 cm de profundidad para obtener el nivel de salinidad. Igualmente, se tomó muestras de suelo para ser analizadas en el laboratorio (Tabla XI).



Figura 7. Medición de salinidad *in situ* con ayuda del conductímetro (Hanna Instruments N° HI 8341) en el subsector alto en San Pedro de Lloc, en una parcela en descanso.

Tabla XI. Identificación de los puntos de medición *in situ* de salinidad en San Pedro de Lloc realizadas en agosto 2012.

N°	Código de muestra	Coordenadas UTM Zona 17Sur	
		E	N
1	1s	658507	9176904
2	2s	659200	9172841
3	3s	661391	9169907
4	4s	662344	9175057
5	5s	663947	9177045
6	6s	660244	9179256
7	7s	667537	9182811
8	8s	667743	9182783
9	9s	668947	9184775
10	10s	667142	9180923
11	11s	666259	9177773
12	12s	657489	9176265
13	13s	660045	9174799
14	14s	663622	9175621
15	15s	661978	9176705
16	16s	663152	9179983
17	17s	660048	9177871
18	18s	661779	9178557
19	19s	663477	9181287
20	20s	664751	9180314
21	21s	665564	9181393
22	22s	665898	9182499
23	23s	668189	9181224

Es importante mencionar, que no se cuenta con una clasificación de suelos salinos en gramos/litro, por lo que se hizo una conversión de contenido de sales (C) en gramos/litro a conductividad eléctrica (CE) en dS/m.

La FAO, 1987 plantea que la relación entre contenido de sales (C) y conductividad eléctrica (CE) está expresada en la siguiente formula:

$$C = 0,64 \times C.E$$

- C = Contenido salino (g/L)
- CE = Conductividad eléctrica (dS/m)

Para el análisis de dichos resultados de salinidad *in situ* corresponden a la clasificación de suelos salinos en base al extracto de pasta saturada.

8.2 Trabajo de laboratorio

Para hacer una caracterización general de San Pedro de Lloc se juntó las muestras tomadas en las salidas de campo 2011 y 2012, con lo que se tuvo un total de 16 muestras de suelo para ser analizadas en el laboratorio.

Además, para hacer una mejor caracterización del área de estudio y un mejor análisis de las muestras de suelo, se le dio un código a cada muestra con la terminación “SSP”, el cual significa “Sector San Pedro de Lloc”, es importante mencionar que para un mejor análisis de los resultados obtenidos se dividió el sector San Pedro de Lloc en 3 subsectores, según la distribución de las muestras obtenidas; en el subsector bajo (cercano al litoral) se encuentran las muestras 1 SSP, 2 SSP, 3 SSP y 4 SSP; en el subsector medio forman parte las muestras 6 SSP, 7 SSP, 8 SSP, 9 SSP y 10 SSP; y en el subsector alto están las muestras 11 SSP, 12 SSP, 13 SSP, 14 SSP, 15 SSP y 16 SSP (Tabla XII).

Tabla XII. Ubicación de toma de muestras de suelo en campo 2011-2012

Código de muestra	Coordenadas UTM Zona 17 Sur		Subsectores
	E	N	
1 SSP	657489	9176265	BAJO
2 SSP	658398	9175533	
3 SSP	660045	9174799	
4 SSP	660420	9173738	
5 SSP	663383	9173362	
6 SSP	660048	9177871	MEDIO
7 SSP	661978	9176705	
8 SSP	663622	9175621	
9 SSP	661779	9178557	
10 SSP	663899	9177947	
11 SSP	663152	9179983	ALTO
12 SSP	665823	9178908	
13 SSP	663477	9181287	
14 SSP	664751	9180314	
15 SSP	664546	9179750	
16 SSP	665898	9182499	

El trabajo en laboratorio consistió en el análisis de 4 parámetros; textura, pH, conductividad eléctrica (CE) y materia orgánica. Es importante mencionar que, para los procedimientos que se explicarán a continuación, se hizo un tratamiento previo a la muestra de suelo, el cual consistió en lo siguiente:

En primer lugar, se colocó la muestra en una estufa Memmert a 105°C por 24 horas. De esta manera se elimina todo tipo de humedad que podría generar cierta variación al momento de analizar la muestra. Luego se dejó secar la muestra en un desecador de vidrio (CSN SIMAX) por 24 horas. Después, se pesó la muestra seca en una balanza

analítica Adventurer OHAUS N°AR2140, con precisión de 4 decimales, para luego tamizarla en una malla de 2 mm. Posteriormente se cuarteo la muestra para obtener aproximadamente 80 gramos de material para analizar el parámetro de textura, 40 gramos para conductividad eléctrica y pH y 1 gramo para materia orgánica. Es importante mencionar que, estas cantidades fueron seleccionadas de acuerdo al método empleado para cada análisis.

8.2.1 Análisis de textura

Para identificar las clases texturales se empleó una adaptación de la norma ASTM Internacional D422-63, método de prueba estándar para el análisis de tamaño de partículas de suelo. Para este procedimiento de análisis de textura se utilizó el método del hidrómetro para obtener los datos del proceso de sedimentación, con lo que se hizo uso de aproximadamente 80 gramos de muestra seca de suelo.

Se depositó la muestra de suelo en un vaso de 250 mL y se le agregó 125 mL de solución dispersante de hexametáfosfato de sodio, cuya concentración fue de 40 gramos de sal en 1 litro de agua destilada. Dicha mezcla se dejó descansar por 24 horas; luego se revolvió en una cocinilla con agitador magnético (Thermo Scientific N°SP121220-33) por un periodo de 2 minutos, posteriormente se vació la mezcla en una probeta (1000 mL) y se agregó agua destilada hasta que el volumen alcance 1000 mL. Paralelamente, se vertió en la probeta (1000 mL) 125 mL de la solución de hexametáfosfato de sodio y agua destilada se uso para calibrar el hidrómetro. Con la ayuda de una varilla se procedió a mover la mezcla en la probeta con movimientos verticales por 1 minuto, con el propósito de homogeneizar la concentración de partículas en la probeta, para después tomar las lecturas del hidrómetro ASTM 152H N°24-4640 (g/L) en los siguientes intervalos de tiempo: 40 segundos, 2 minutos, 5 minutos, 15 minutos, 30 minutos, 1 hora, 2 horas, 4 horas, 10 minutos y 24 horas. Se tuvo como resultado que a los 40" sedimenta la arena, mientras que a las 2h el limo y, finalmente, a las 24 h sedimenta la arcilla. Después de cada lectura, se tomó la temperatura de la suspensión con ayuda del termómetro.

Para efecto de corregir el error por temperatura se sumó 0.36 g/L por cada 1° C por arriba de los 20° C, ya que el hidrómetro es calibrado en una temperatura de 20 °C (Medina-García- Núñez, 2007).

$$[(T^{\circ}\text{C}-20^{\circ}\text{C}) \times 0.36 \text{ g/L}] + \text{Lectura del hidrómetro g/L} = \text{Lectura del hidrómetro corregida g/L}$$

La clasificación textural de las muestras se hizo en función de los siguientes cálculos:

- % limo más arcilla = $\frac{\text{Lectura del hidrómetro corregida a los } 40\text{sgs} \times 100}{\text{Peso seco de suelo}}$
- % de arcilla = $\frac{\text{Lectura del hidrómetro corregida a las } 2\text{hrs} \times 100}{\text{Peso seco de suelo}}$
- % de arena = $100 - \% \text{ limo} + \text{arcilla}$

Seguidamente, con ayuda del triángulo textural (SSDS, 1993) se determinó el tipo de clase textural al que correspondían las muestras de suelo y se adoptó la nomenclatura en español según FAO (2010) y Zavaleta (1992).

8.2.2 Análisis de pH y conductividad eléctrica (CE)

El análisis de conductividad eléctrica y pH fue realizado en base a la relación suelo: agua en una proporción 1:1 en masa: volumen, es decir, misma proporción de agua y muestra de suelo. Se hizo uso de 40 gramos de muestra seca de suelo, la cual se mezcló con 40 mL de agua destilada en un beaker (250mL). Luego, se revolvió en la cocinilla con agitador magnético (Thermo N° SP131320-33) por 5 minutos. Se dejó reposar la muestra por 24 horas para que sedimente el suelo; a continuación, se vertió el líquido en 3 tubos de ensayo para luego colocarlo en la centrífuga (Hettich EBA8S). La centrífuga es un equipo que pone en rotación la muestra para acelerar la decantación o sedimentación de sus

componentes, es decir, se da una separación de la parte sólida de la líquida (Cao, W y Demeler, B.2008), por acción de la fuerza centrífuga.

Dicho líquido es vertido en un tubo de ensayo (30 mm x 150 mm) para medir el pH con ayuda del pHmetro (Hanna Instrument HI 89128 (pHep5) (Figura 8).

Posteriormente, el mismo líquido fue usado para medir la conductividad eléctrica, salinidad y total de solidos disueltos (TDS) con ayuda del conductímetro (InoLab Cond730, WTW).



Figura 8. Trabajo en laboratorio de química, procedimiento de los parámetros pH y conductividad eléctrica.

8.2.3 Análisis de materia orgánica

Materia orgánica es todo residuo o desecho de organismos vivientes (Zavaleta, 1992). Para el análisis de materia orgánica se empleó la norma ASTM Internacional D2974-07, por la cual se determina el porcentaje de materia orgánica en el suelo.

En primer lugar, se colocó 1 gramo de muestra seca de suelo en un crisol de porcelana, que fue pesado en la balanza analítica (Adventurer OHAUS N°AR2140, con precisión en 4 decimales). Después fue colocado en la mufla (Shimaden LST023-00) a 450°C por 4 horas; luego, se retiró y se dejó secar en el desecador de vidrio (CSN SIMAX) por 4 horas, para finalmente pesar la muestra y determinar el porcentaje de materia orgánica.

8.3 Trabajo de gabinete

Con el propósito de identificar la pérdida de suelo agrícola en el área de San Pedro de Lloc, se realizó un análisis espacio- temporal de la zona de cultivo de 1980 y 2003. Con este análisis, se procedió a comparar y determinar la variación de la superficie cultivada de un año con otro y predecir cuál sería la tendencia de las áreas de cultivo.

Para reconstruir la superficie cultivada de 1980 (antes de la construcción de la represa Gallito Ciego) se utilizó 26 escenas que corresponden a las fotografías aéreas de 1980 levantadas en el proyecto 320-80-A por el Servicio Aero fotográfico Nacional (SAN), a una escala de 1/ 20000. Por otra parte, se obtuvo la superficie cultivada recientemente a partir de las imágenes satelitales obtenidas de Google Earth, 2003.

8.3.1 Procesamiento de los datos

Para el procesamiento de datos; en primer lugar se hizo un análisis visual del área de estudio tanto en campo como en las imágenes satelitales y fotografías aéreas, luego se procedió a clasificar el área de estudio de acuerdo a los distintos elementos presentados en las fotografías aéreas (SAN, 1980) y en la imagen satelital (GoogleEarth, 2003) comparando dichas imágenes con lo observado en campo. Luego se procedió a la digitalización de los elementos de “cultivo” y “no cultivo” que fueron necesarios para el

análisis de las imágenes (Figuras 9 y 10); para ello, los criterios y elementos de interpretación que se trabajaron en el proceso de interpretación visual fueron los siguientes: forma, donde se tomó en cuenta el límite del objeto, además del tamaño del mismo; tono, hace referencia a la intensidad de energía registrada por el sensor en una determinada banda; color, importante para la interpretación de una determinada imagen; textura, hace referencia a la suavidad o dureza que presentan ciertas áreas de una imagen; y por último, el entorno espacial, el cual se basa en la observación que se hace en campo que permite interpretar la información obtenida en la digitalización. (Chuvieco, 1990).



Figura 9. Subsector bajo de áreas de cultivo. Santa Elena, San Pedro de Lloc. En se muestra la categoría de "cultivo"



Figura 10. Subsector bajo de Santa Elena, San Pedro de Lloc. En la imagen se muestra la categoría de “no cultivo

Las fotografías aéreas fueron georeferenciadas manualmente siguiendo el método seguido por Santiago (2006) y se desarrolló con el utilizó el programa ArcMap 9.3. Para ello, se utilizó la imagen de Google Earth del área de estudio, como referencia para la obtención de coordenadas. Es importante mencionar que, las imágenes de Google Earth 2003 fueron sometidas al mismo procedimiento que las fotografías de 1980.

Para realizar esta labor se procedió de la siguiente forma:

- En el menú Tools de la barra de herramienta del programa ArcMap, se hizo click en “Customize” y se activó la herramienta “Georeferencing”.
- En el menú “Georeferencing” se desactivó la opción “Auto Adjust” y se seleccionó la opción “Add Control Points”. Luego se ingresaron las coordenadas reales a la imagen, mediante puntos que fueron definidos previamente. Se buscó identificar la mayor cantidad de puntos de referencia para obtener así una mayor precisión a la hora de georeferenciar la imagen.

- Cuando se terminó de colocar todos los puntos en la fotografía se utilizó la opción “Rectify”, en el menú “Georeferencing”. Con esto se terminó la georeferenciación de las fotografías aéreas.
- Al desplazarse todas las fotos aéreas se obtuvo un mosaico que cubría toda la el área de estudio.

Para continuar con el procesamiento de las imágenes se procedió a digitalizar las áreas de cultivo. Los criterios para definir la digitalización de las áreas de cultivo fueron la forma, tamaño, textura y color. Una vez digitalizada las áreas de cultivo, se procedió a digitalizar la categoría “no cultivo”, donde se incluye los elementos tales como las vías de comunicación, viviendas, todo tipo de infraestructura que no sea considera como cultivo (Buringh, 1960.a).

Para ambas categorías “cultivo” y “no cultivo” se realizó el siguiente procedimiento:

- Se definió WGS84 como el Datum con el que se trabajó el proyecto.
- Se creó la cobertura digital (Shapefile) desde “ArcCatalog”, marcando botón derecho y asignándole tipo de atributo “Polygon”, y datum “WGS84”.
- Se utilizó el botón “Sketch Tool” de la herramienta “Editor” y se empezó con la digitalización de la línea de costa. Una vez terminada la digitalización se utilizó la opción “Finish Sketch” y “Stop Editing”, en el menú “Editor”.
- Una vez realizado este procedimiento se obtuvo los shapes de ambas categorías digitalizadas, las cuales estarán listas para ser trabajadas.

8.3.2 Elaboración del mapa comparativo del área cultivada en la zona de San Pedro de Lloc (1980-2003)

Como resultado de una síntesis de todos los datos obtenidos en los procesos anteriores se realizó un mapa comparativo del área cultivada en la zona de San Pedro de Lloc (1980-2003).

Para esto se utilizó el siguiente procedimiento mediante el software ArcGis 9.3:

- Se definió WGS84 como el Datum con el que se trabajó el proyecto.
- Se creó la cobertura digital (Shapefile) desde “ArcCatalog”, marcando botón derecho y asignándole tipo de atributo “polygon”, y datum “WGS84”.
- Se insertó las fotografías aéreas georeferenciadas (1980) para el análisis visual en la imagen satelital. Para esto se hizo click en el ícono “Add Data”, luego se rutea la imagen satelital y si hace click en “Add”.
- Una vez insertada la imagen se utilizó el botón “Sketch Tool” de la herramienta “Editor” y se empezó con la digitalización de las áreas de cultivo teniendo en cuenta los criterios de forma, tamaño, textura y color. Una vez terminada la digitalización, “Finish Sketch” y “Stop Editing”, salvando los cambios.
- Una vez que fueron digitalizadas las áreas de cultivo (1980), se debió agregar el atributo correspondiente, ya que se creó un “shapefile” vacío, los cuales fueron ingresados manualmente abriendo la tabla de atributos del “shape”, haciendo click con el botón derecho sobre el mismo y eligiendo la opción “Open Attribute Table”. En ese menú resultante se dirige “Options” haciendo click en “Add Field”; donde fue creado el campo para poner ponerle el atributo correspondiente.
- Finalmente se hizo una comparación de la variación de las áreas de cultivo en las distintas zonas del área de estudio. Para ello, después de haber creado el “shapefile” de Áreas de cultivo (1980), se procedió a superponerlo sobre la imagen de Google Earth (2003) para el análisis cartográfico. Para esto se hizo click en el

ícono “Add Data”, luego se rutea la imagen satelital y si hace click en “Add”, para dar inicio con la comparación visual.

8.3.3 Elaboración del mapa de variación del área de cultivo de 1980 a 2003.

Para el mapa de variación del área de cultivo de 1980 al 2003 se empleó la herramienta “Erase” de “Spatial Analyst”. Una vez seleccionada en “Input Features” se colocó el “Shapefile” de 1980 y en “Erase Features” se colocó el “Shapefile” de 2003, con lo que se pudo obtener un nuevo “Shape” de las áreas de cultivo de 1980 que se habían perdido para el 2003. Por otro lado, se hizo el mismo procedimiento colocando en “Input Features” el “Shapefile” de 2003 y en “Erase Features” se colocó el “Shapefile” de 2003, con lo que se obtuvo las áreas de cultivo que habían aumentado para el año 2003.

8.3.4 Elaboración de los mapas de los parámetros: salinización, pH y conductividad eléctrica.

Para los mapas de los parámetros se utilizó el siguiente procedimiento:

- Se definió WGS84 como el Datum con el que se trabajó el proyecto.
- Se creó la cobertura digital (Shapefile) desde “ArcCatalog”, marcando botón derecho y asignándole tipo de atributo “point”, y datum “WGS84”.
- En hizo click en “Open attribute table” donde se creó campos para colocar los parámetros analizados en laboratorio e insertar los resultados, por lo que se hizo click en “Options” y luego en “Add field”. De esta forma se hizo para insertar todos los parámetros.
- Una vez que ya están insertados todos los resultados en el “Open attribute table” del “shapefile”, se procedió a insertarlo con “add data” para poder trabajar con él.
- Es importante mencionar que para hacer un análisis espacio temporal de los parámetros se hizo uso de la herramienta “Kriging”, la cual presupone que la distancia o la dirección entre los puntos de muestra reflejan una correlación

espacial que puede utilizarse para explicar la variación en la superficie (Argis resource center) Es decir, hace un análisis teniendo en cuenta todos los resultados en conjunto.

- Para ello, se seleccionó dentro de “Arctoolbox”, “Spatial Analyst tools” la herramienta “Kriging”. Una vez seleccionada, se colocó dentro de “input Point Features” el “Shapefile” de *puntos de muestreo*; mientras que en “Z Value Field” se seleccionó el parámetro que se usaría: Salinidad, pH o Conductividad eléctrica.
- Es importante mencionar que, en el caso del parámetro conductividad eléctrica y Salinidad, se reclasificaron los valores, por lo que dentro de “Arctoolbox” se hizo click en “Spatial Analyst tools”, se seleccionó la herramienta “Reclassify”, seguidamente en “Input Raster” se colocó el “Shape” de conductividad previamente trabajado con la herramienta “Kriging”, para luego seleccionar “Reclassification manual” y colocar el número de clases que se necesitó. Para el caso del parámetro de pH se trabajó solo con la herramienta “Kriging”.

Mapa de textura:

- Para el caso del parámetro textura el procesamiento fue diferente, ya que no se interpoló, por lo que se tenía una clasificación de acuerdo a la clasificación textural de los tipos de suelo. Para este caso se hizo uso de la herramienta “Buffer” con un área de influencia de 500 metros. Aparte de ello, se hizo una clasificación con “Reclassification manual” y se colocó el número de clases que se necesitó.

9. RESULTADOS

6.3 Resultados de campo

En la tabla XIII se presenta los resultados de las mediciones de salinidad *in situ* de 23 muestras de las cuales se obtuvo, mediante la conversión de salinidad (g/L) a conductividad eléctrica (ds/m), los siguientes resultados (Figura 11):

Tabla XIII. Mediciones de salinización *in situ*

Código de muestra	Coordenadas UTM Zona 17 Sur		Salinidad (g/L)	Conductividad eléctrica (ds/m)
	E	N		
1s	658507	9176904	0.06	0.09
2s	659200	9172841	1.68	2.63
3s	661391	9169907	0.15	0.23
4s	662344	9175057	0.01	0.02
5s	663947	9177045	0.41	0.64
6s	660244	9179256	0.29	0.45
7s	667537	9182811	0.21	0.33
8s	667743	9182783	0.45	0.70
9s	668947	9184775	0.41	0.64
10s	667142	9180923	0.33	0.52
11s	666259	9177773	0.02	0.03
12s	657489	9176265	0.01	0.02
13s	660045	9174799	0.11	0.17
14s	663622	9175621	0.24	0.38
15s	661978	9176705	0.2	0.31
16s	663152	9179983	0.01	0.02
17s	660048	9177871	0.09	0.14
18s	661779	9178557	0.13	0.20
19s	663477	9181287	0.05	0.08
20s	664751	9180314	0.26	0.41
21s	665564	9181393	0.56	0.88
22s	665898	9182499	0.32	0.50
23s	668189	9181224	0.38	0.59

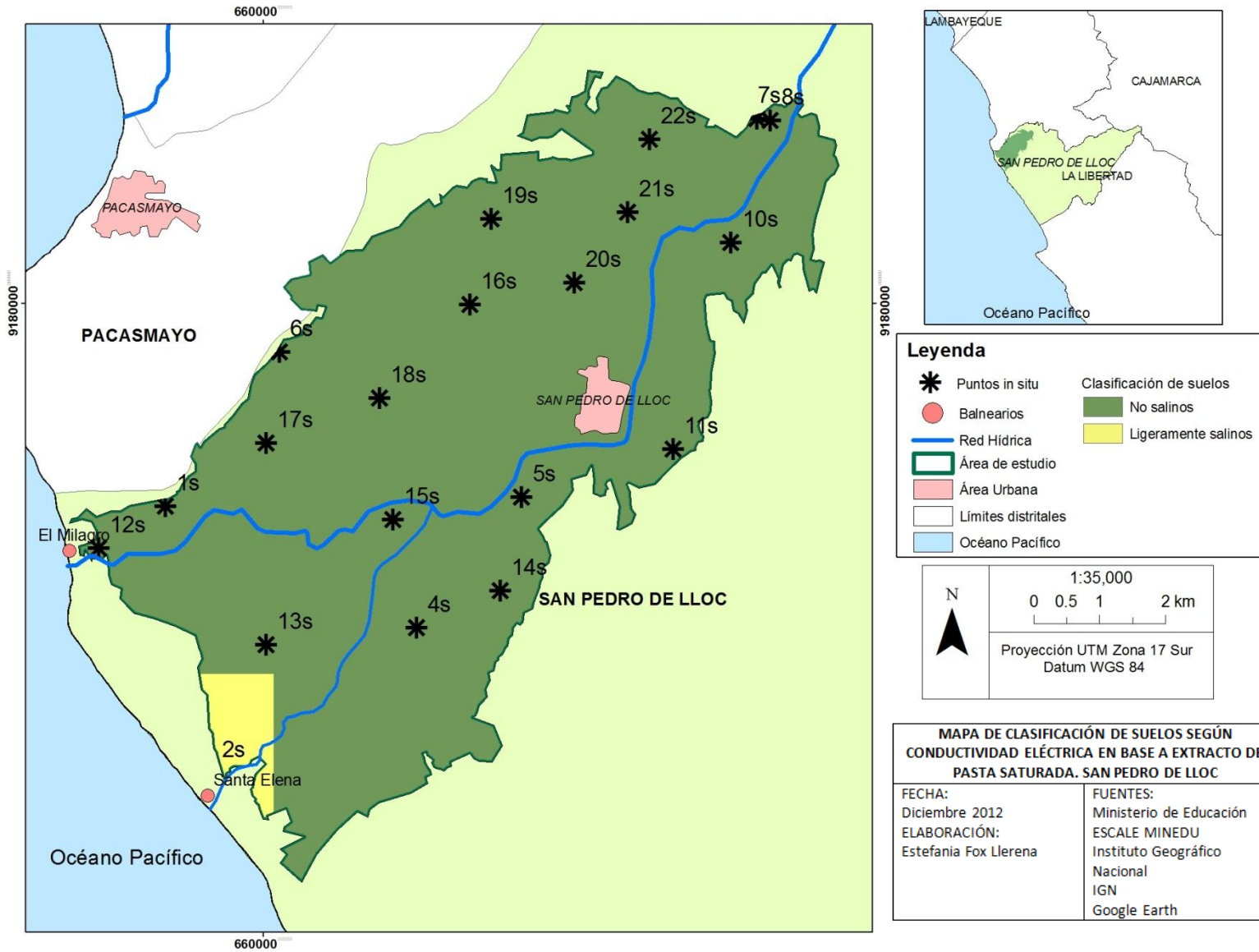


Figura 11. Mapa de resultados de las mediciones *in situ* de salinidad en base a conductividad eléctrica en base a extracto de pasta saturada. San Pedro de Lloc.

Elaboración propia.

Se puede observar en la figura 11 que la muestra que presenta un mayor grado de conductividad eléctrica es la muestra 2s ubicada en el subsector bajo del área de estudio. Esta presenta un valor de 2.63 dS/m lo que equivale a 1.68 gr/L. Es importante mencionar que en el trabajo de campo se observó la presencia de suelo cubierto de sal con grama salada en la parcelas cercanas a la muestra 2s (Figuras 12 y 13). Por otro lado, tanto el subsector medio como alto presentan una conductividad eléctrica menor que corresponde a “suelos normales”, según la clasificación de suelos en base a conductividad eléctrica en extracto de pasta saturada.



Figura 12. Parcelas cercanas a la muestra de suelo (2s) en el subsector bajo del sector San Pedro de Lloc. Evidente la presencia de una corteza salina en el suelo. Presencia de vegetación: grama salada.



Figura 13. Vegetación grama salada en la parcela perteneciente al subsector bajo de San Pedro de Lloc.

9.1 Resultados de laboratorio

9.1.1 *Análisis de textura*

La temperatura del agua durante el análisis varió entre 20°C y 23°C, y el peso seco de 88 a 120 gramos de suelo (Tabla XIV). Es importante mencionar que se han adoptado las mediciones a los 40 segundos y 2 horas como tiempos de sedimentación porque definen los intervalos correspondientes a arena/limo y limo/arcilla, respectivamente. Esto permite determinar la clase textural a la que corresponden las muestras de suelo (Tabla XV).

Tabla XIV. Mediciones totales con el hidrómetro (g/L)

Código de muestra	Peso seco (g)	T (C°)	Tiempos de lectura (t)									Sector
			40"	2'	5'	15'	30'	1 h	2 h	4 h10'	24h	
1 SSP	105.2	20	6	5	5	5	5	5	5	5	5	BAJO
2 SSP	97.7	23	32	29	27	25	23	22	20	20	13	
3 SSP	91.6	20	17	16	15	14	13	13	12	11	9	
4 SSP	93	23	29	26	21	18	18	17	13	18	18	
5 SSP	116.5	22	14	11	9	8	8	8	8	7	7	
6 SSP	97.4	20	14	14	13	12	12	12	11	11	9	MEDIO
7 SSP	97.1	20	14	13	12	12	11	11	10	10	9	
8 SSP	73	20	18	16	15	13	12	11	10	10	8	
9 SSP	97.1	20	18	17	16	14	14	13	12	12	10	
10 SSP	88.1	22	33	27	23	21	18	17	15	14	11	
11 SSP	101.8	20	8	7	7	7	7	6	6	6	6	ALTO
12 SSP	97.5	22	14	10	9	8	7	7	7	6	6	
13 SSP	92.4	20	20	18	16	14	14	13	12	11	9	
14 SSP	73.6	20	24	22	21	20	18	17	16	14	11	
15 SSP	91.5	22	27	23	20	26	15	14	13	11	10	
16 SSP	70.7	20	23	21	20	19	17	16	15	13	10	

T: Temperatura (°C)

Se puede observar que en la mayoría de muestras hay una textura de tipo arena, franco arenoso y arena franca (Tabla XV). Sin embargo, se ha podido identificar que en el sector bajo y sector alto hay muestras (2SSP, 15SSP y 16SSP) con una clase textural “franco arcilloso arenoso” con lo que se determina suelos de tipo “arcillosos” con una textura “moderadamente fina” (Zavaleta, 1992).

Tabla XV. Clases texturales de la muestras de suelo.

Código de muestra	Peso seco (g)	T (C°)	Arena	Arcilla	Limo	Textura	Sector
			%	%	%		
1 SSP	105.2	20	94.3	4.8	1.0	ARENA	BAJO
2 SSP	97.7	23	66.1	21.6	12.3	FRANCO ARCILLO ARENOSO	
3 SSP	91.6	20	81.4	13.1	5.5	ARENA FRANCA	
4 SSP	93	23	67.7	15.1	17.2	FRANCO ARENOSO	
5 SSP	116.5	22	87.4	7.5	5.2	ARENA	
6 SSP	97.4	20	85.6	11.3	3.1	ARENA FRANCA	MEDIO
7 SSP	97.1	20	85.6	10.3	4.1	ARENA FRANCA	
8 SSP	73	20	75.3	13.7	11.0	FRANCO ARENOSO	
9 SSP	97.1	20	81.5	12.4	6.2	ARENA FRANCA	
10 SSP	88.1	22	61.7	17.8	20.4	FRANCO ARENOSO	
11 SSP	101.8	20	92.1	5.9	2.0	ARENA	ALTO
12 SSP	97.5	22	84.9	7.9	7.2	ARENA	
13 SSP	92.4	20	78.4	13.0	8.7	FRANCO ARENOSO	
14 SSP	73.6	20	67.4	21.7	10.9	FRANCO ARCILLO ARENOSO	
15 SSP	91.5	22	69.7	15.0	15.3	FRANCO ARENOSO	
16 SSP	70.7	20	67.5	21.2	11.3	FRANCO ARCILLO ARENOSO	

T: Temperatura (°C)

Como se puede apreciar (Figura 14), el subsector medio muestra una clase textural de tipo franco arenoso, mientras que en el subsector bajo y medio las clases texturales son variadas.

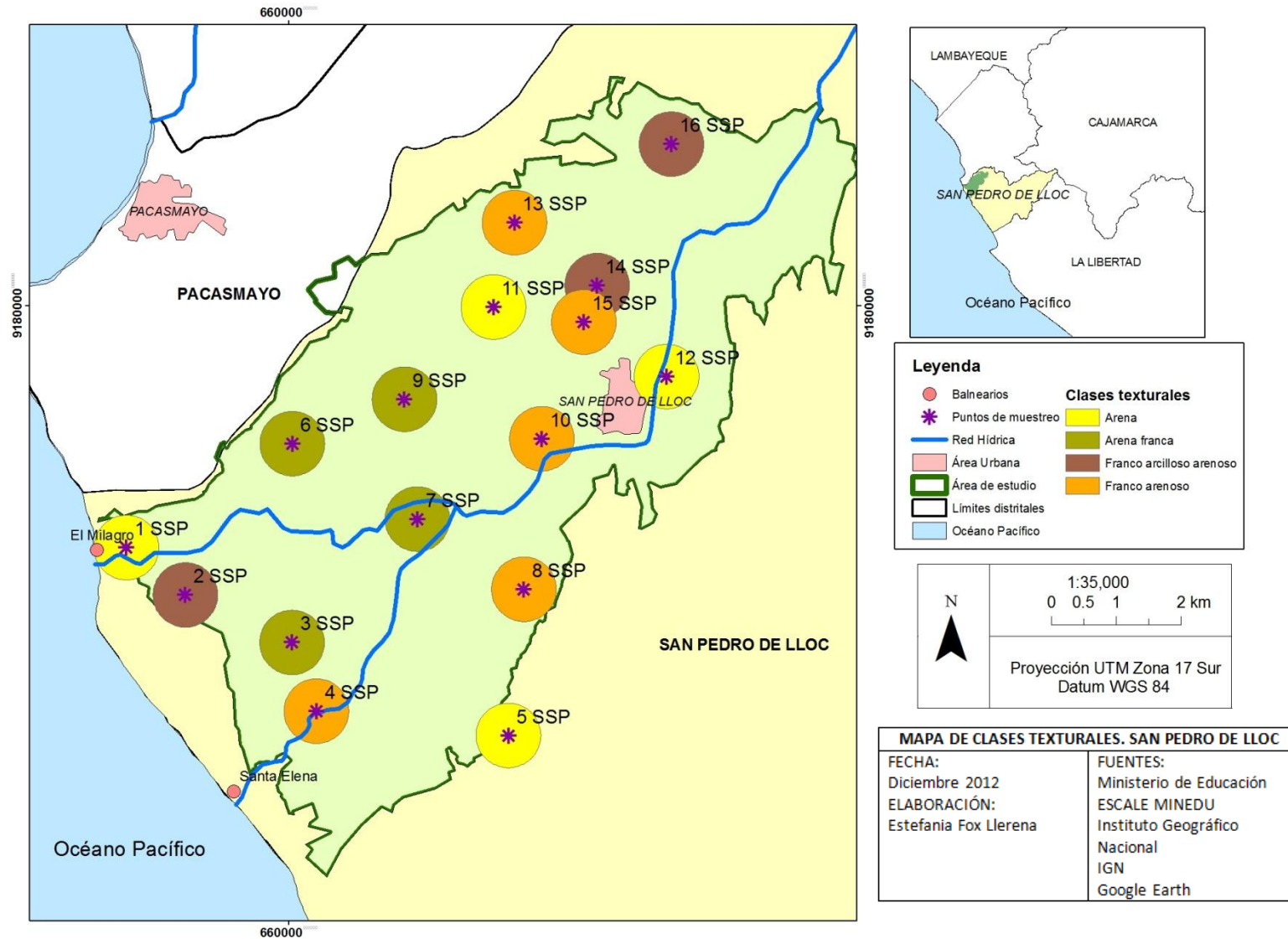


Figura 14. Mapa de clases texturales en San Pedro de Lloc. Elaboración propia

9.1.2 Análisis de pH

El pH en el sector San Pedro de Lloc presenta alcalinidad en el área de estudio, ya que presenta un pH que varía de 7.50 a 9.80, además, según la clasificación de pH las muestras del subsector bajo van de “ligeramente alcalino” a “alcalino”; mientras que el subsector medio a alto, poseen una clasificación de “medianamente básico” a “básico”. Es importante resaltar que el pH se midió en una muestra de 40 gramos y todas ellas presentaron una temperatura que varía entre de 20°C y 23°C (Tabla XVI).

Tabla XVI. pH de suelos en el sector San Pedro de Lloc

Código de muestra	T(°C)	pH	Sector
1 SSP	22	8.27	BAJO
2 SSP	22	9.86	
3 SSP	23	8	
4 SSP	22	9.79	
5 SSP	22	8.26	
6 SSP	23	8.11	
7 SSP	20	8.34	MEDIO
8 SSP	20	8.21	
9 SSP	20	7.84	
10 SSP	20	7.95	
11 SSP	20	7.51	
12 SSP	20	7.78	
13 SSP	20	8.31	ALTO
14 SSP	20	8.08	
15 SSP	20	7.79	
16 SSP	20	8.03	

T: Temperatura (°C)

Se puede observar que en el área de estudio (Figura 15) el subsector bajo presenta un pH mayor a 8.5 con una clasificación de “alcalino”, mientras que en el subsector medio y alto presentan un pH menor a 8.5.

9.2.3 Análisis de conductividad eléctrica

Con respecto a la conductividad, esta varía en los diferentes puntos de muestreo siendo la mayor en la muestra 4SSP en el sector bajo con una conductividad de 89.6 dS/m, seguido de la 2SSP con una conductividad de 19.48 dS/m y la menor 0.4 dS/m, está última presente en el subsector medio (Tabla XVII).

Tabla XVII. Análisis de conductividad eléctrica en sector San Pedro de Lloc

Código de muestra	T(°C)	Conductividad eléctrica (ds/m)	Sector
1 SSP	22	0.81	BAJO
2 SSP	22	19.48	
3 SSP	23	1.46	
4 SSP	22	89.60	
5 SSP	22	1.58	
6 SSP	23	0.99	MEDIO
7 SSP	20	0.41	
8 SSP	20	0.40	
9 SSP	20	1.60	
10 SSP	20	0.48	
11 SSP	20	2.83	ALTO
12 SSP	20	2.09	
13 SSP	20	0.66	
14 SSP	20	3.88	
15 SSP	20	2.50	
16 SSP	20	0.85	

T: Temperatura (°C)

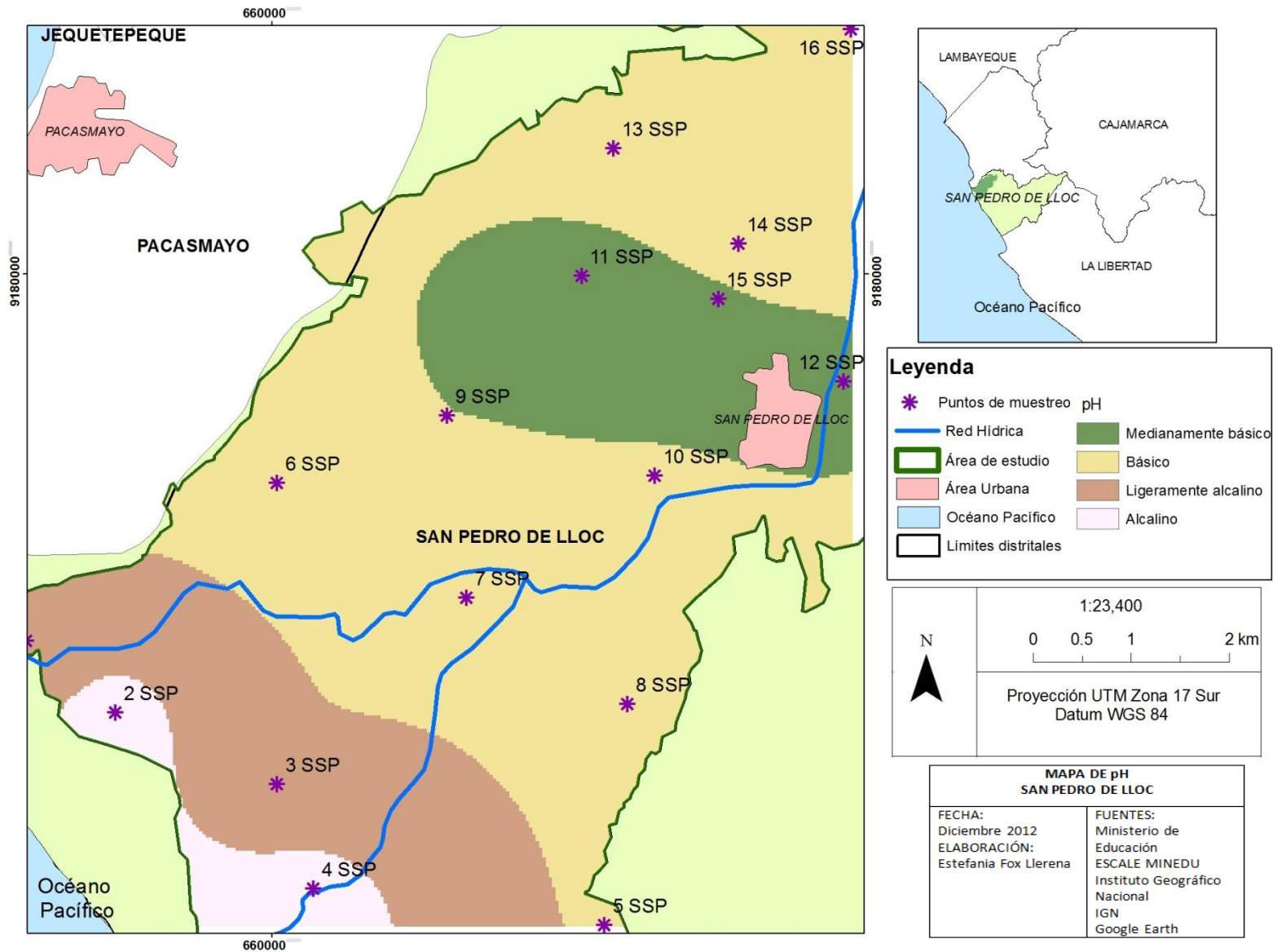


Figura 15. Mapa de pH en San Pedro de Lloc. Elaboración propia.

Para un mejor análisis se puede observar (Figura 16) que en el subsector bajo hay suelos que van de “moderadamente salinos” a “extremadamente salinos”; en los subsectores medio y alto tienen una clasificación de suelos “normales” a “ligeramente salinos”.

9.2. 4 Análisis de materia orgánica

Para el análisis de materia orgánica se hizo uso de 1 gramo de muestra de suelo, con la que se pudo determinar que la concentración de materia orgánica es variable. Sin embargo, la mayor concentración está en la muestra 2SSP la cual pertenece al subsector bajo con un porcentaje de 35.7% de materia orgánica, seguido de 15.4% de la muestra 15SSP de sector alto (Tabla XVIII).

Tabla XVIII. Materia orgánica en el sector San Pedro de Lloc

Código de muestra	Materia orgánica (%)	Sector
1 SSP	3.0	BAJO
2 SSP	35.7	
3 SSP	2.7	
4 SSP	10.4	
5 SSP	1.3	
6 SSP	2.2	MEDIO
7 SSP	2.5	
8 SSP	3.3	
9 SSP	3.6	
10 SSP	5.5	
11 SSP	1.8	ALTO
12 SSP	4.3	
13 SSP	3.7	
14 SSP	5.2	
15 SSP	15.4	
16 SSP	4.9	

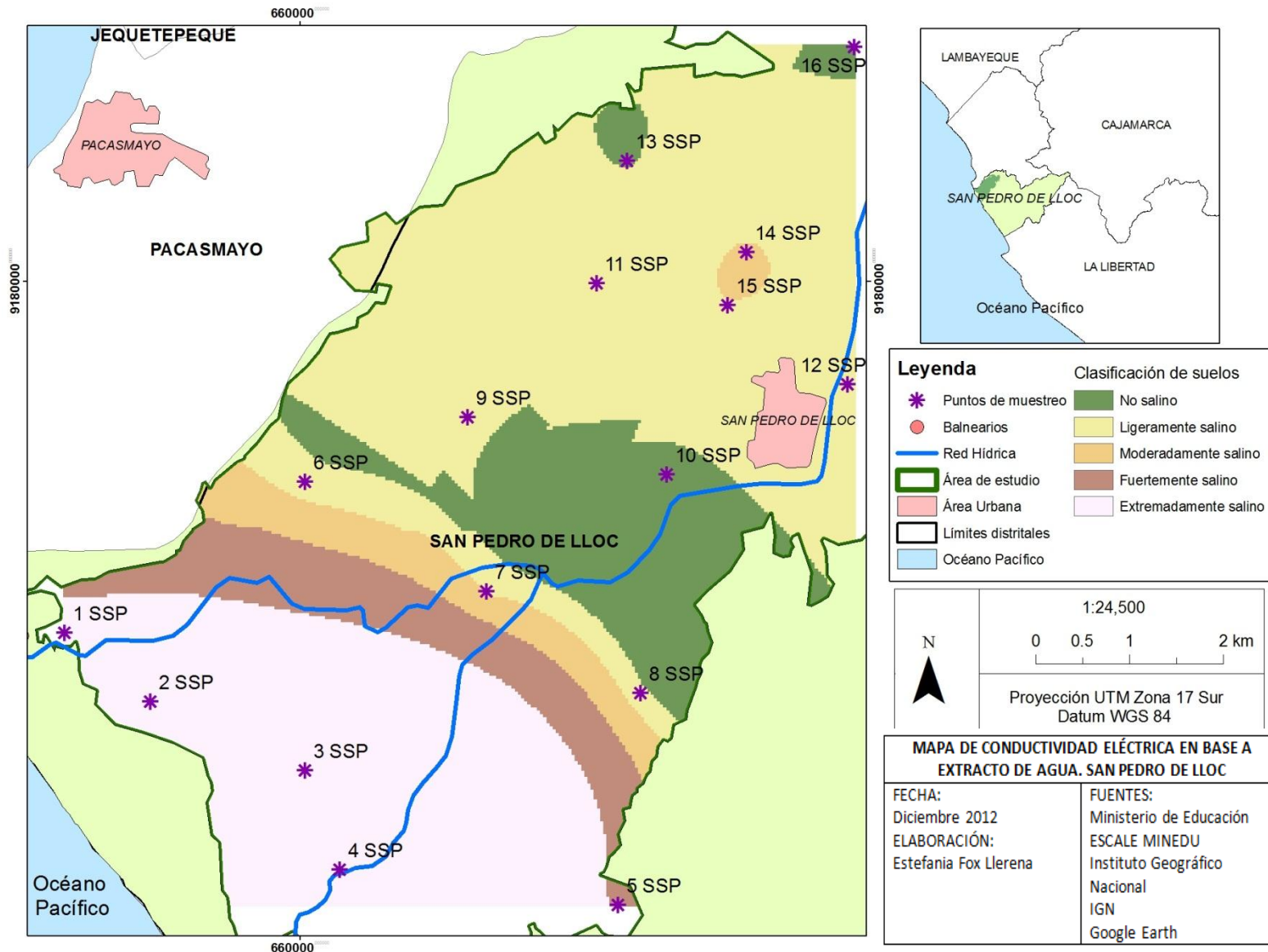


Figura 16. Mapa de conductividad eléctrica en San Pedro de Lloc. Elaboración propia.

9.3 Análisis espacio temporal

En la figura 17 se puede observar el área de estudio en 1980, donde se presenta las áreas de “cultivo” y “no cultivo”, con una superficie total de 52.69 km², y el área de “cultivos” tiene una extensión de 36.63 km² (Tabla XIX). Por otro lado, en el año 2003 (Figura 18) se presenta un área total de 56 km², donde la clasificación “cultivos” tiene una extensión de 37.02 km² (Tabla XX).

Por otra parte, al tener el área de cultivos de 1980 y 2003 se procedió a hacer una comparación (Figura 19) en la que se presenta la comparación de las áreas de cultivo de los años 1980 y 2003. El área de color verde correspondiente a los cultivos del 2003 y el área con el tramado a rayas corresponden a los cultivos de 1980. Así mismo, se puede observar el área urbana de San Pedro de Lloc. Es importante mencionar que los balnearios de Santa Elena y El Milagro se encuentran dentro del área de estudio.

Tabla XIX. Área en km² para 1980 en San Pedro de Lloc.

Área (km ²) 1980	
Cultivos	36.63
No Cultivos	16.06
Total	52.69

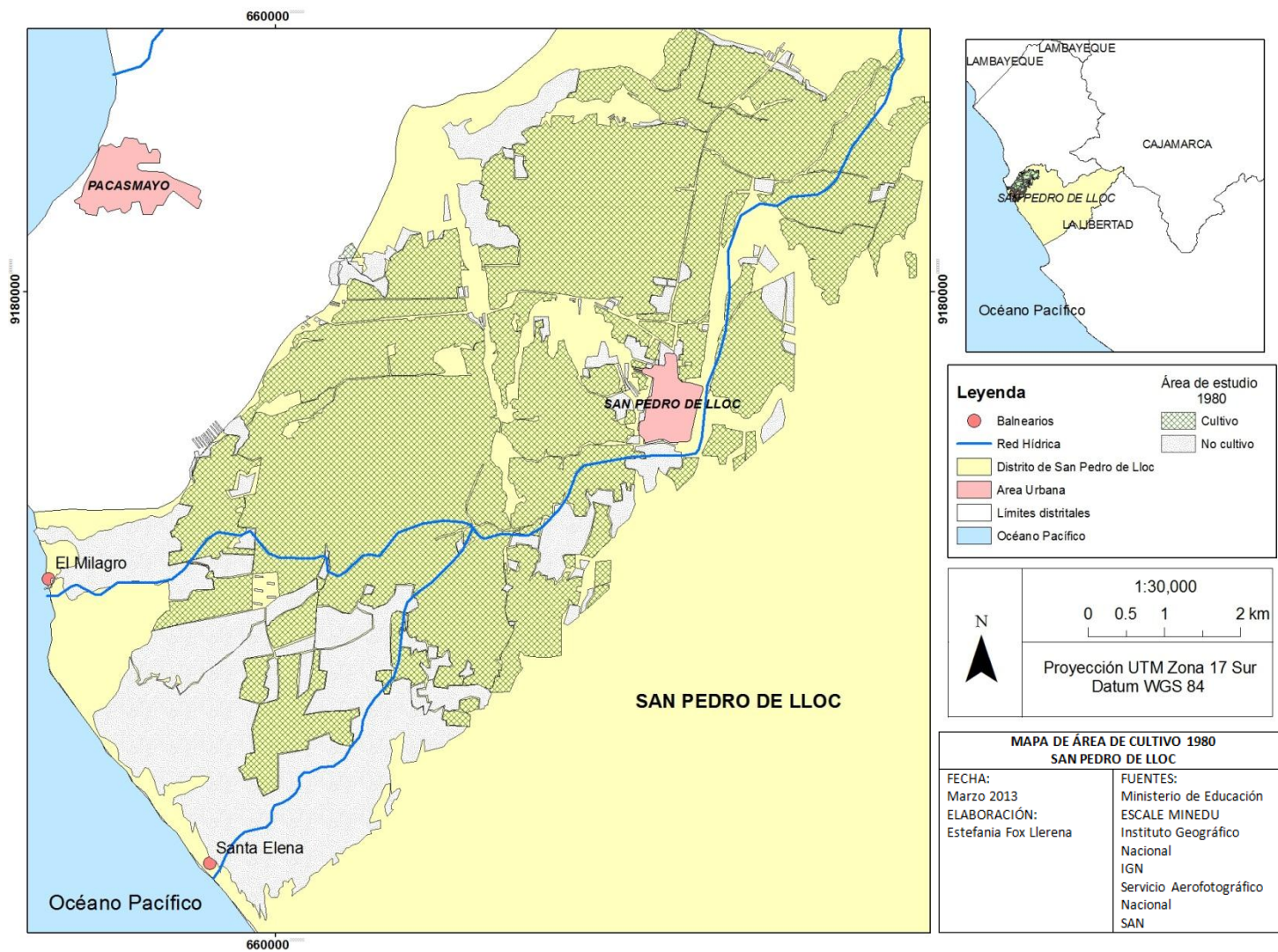


Figura 17. Mapa de área de estudio 1980. San Pedro de Lloc. Elaboración propia.

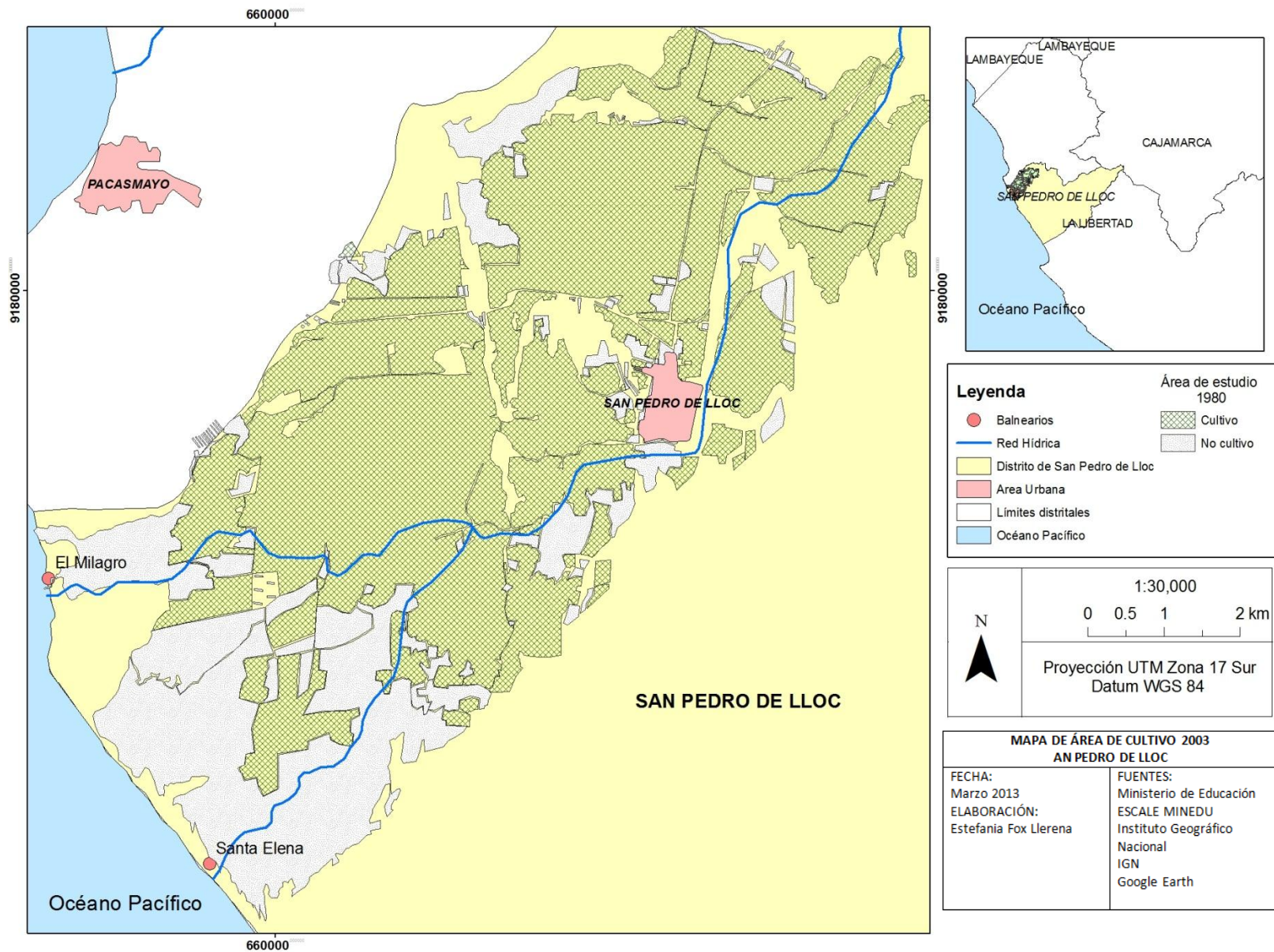


Figura 18. Mapa de área de estudio de 2003. San Pedro de Lloc. Elaboración propia.

Tabla XX. Área en km² para 2003 en San Pedro de Lloc.

Área (km ²) 2003	
Cultivos	37.02
No Cultivos	18.98
Total	56.00

Es importante mencionar que a partir de la comparación de áreas de cultivo (1980 – 2003) se pudo obtener un mapa de variación de cuánto ha aumentado y cuánto se ha perdido de 1980 al año 2003 (Figura 20). Resultando una pérdida de áreas de cultivo corresponde a 4.87 km² de 1980 a 2003 y un aumento de 5.26 km² de áreas de cultivo de 1980 al año 2003 (Tabla XXI). Se puede observar en la figura 20, el área de color rojo representa el área que ha disminuido en un periodo de 23 años, mientras, que el área de color verde presenta el aumento de áreas de cultivo de 1980 al año 2003.

Tabla XXI. Variación del área de cultivo de 1980 al 2003

Área (km ²) 1980-2003	
Aumento	5.26
Pérdida	4.87

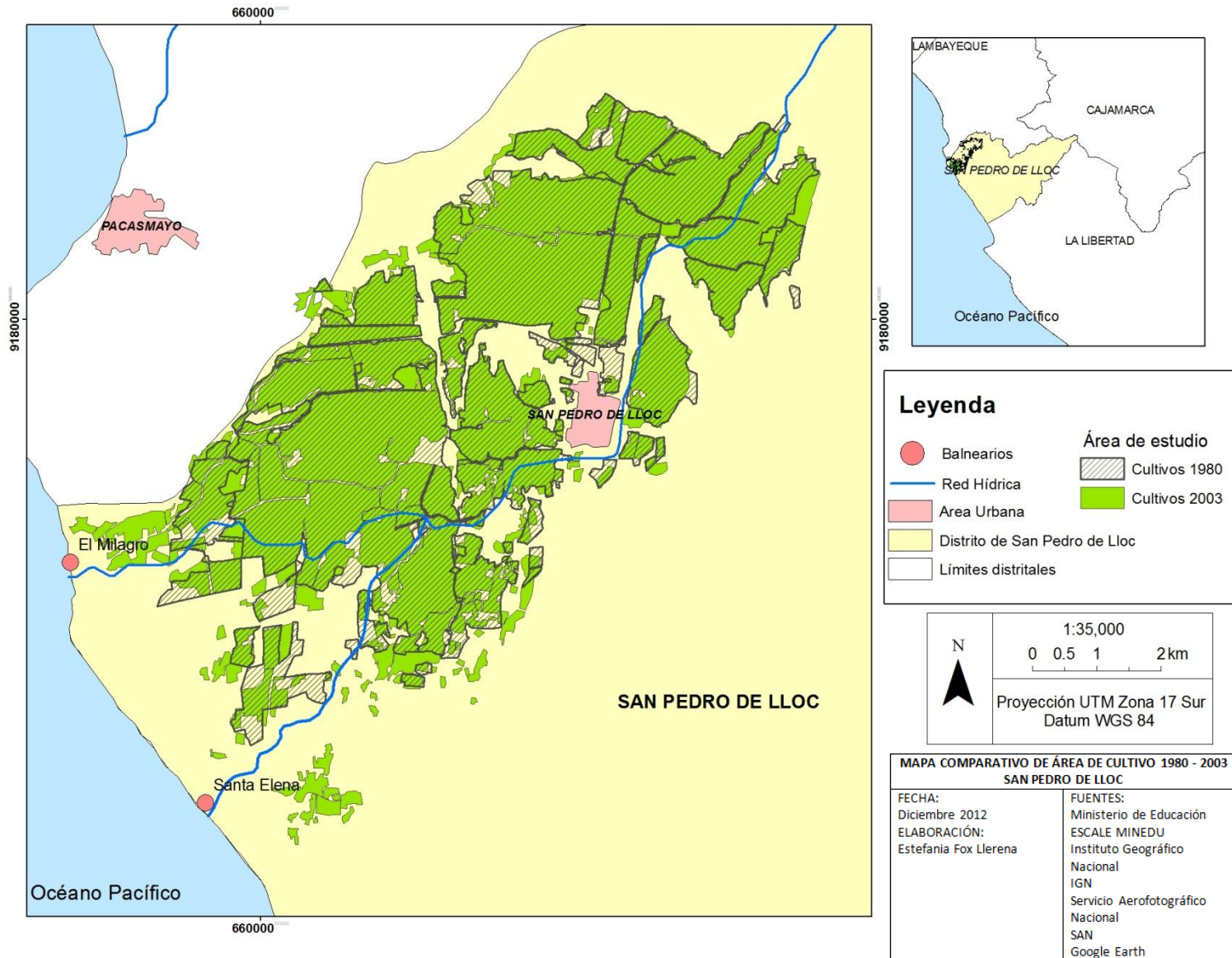
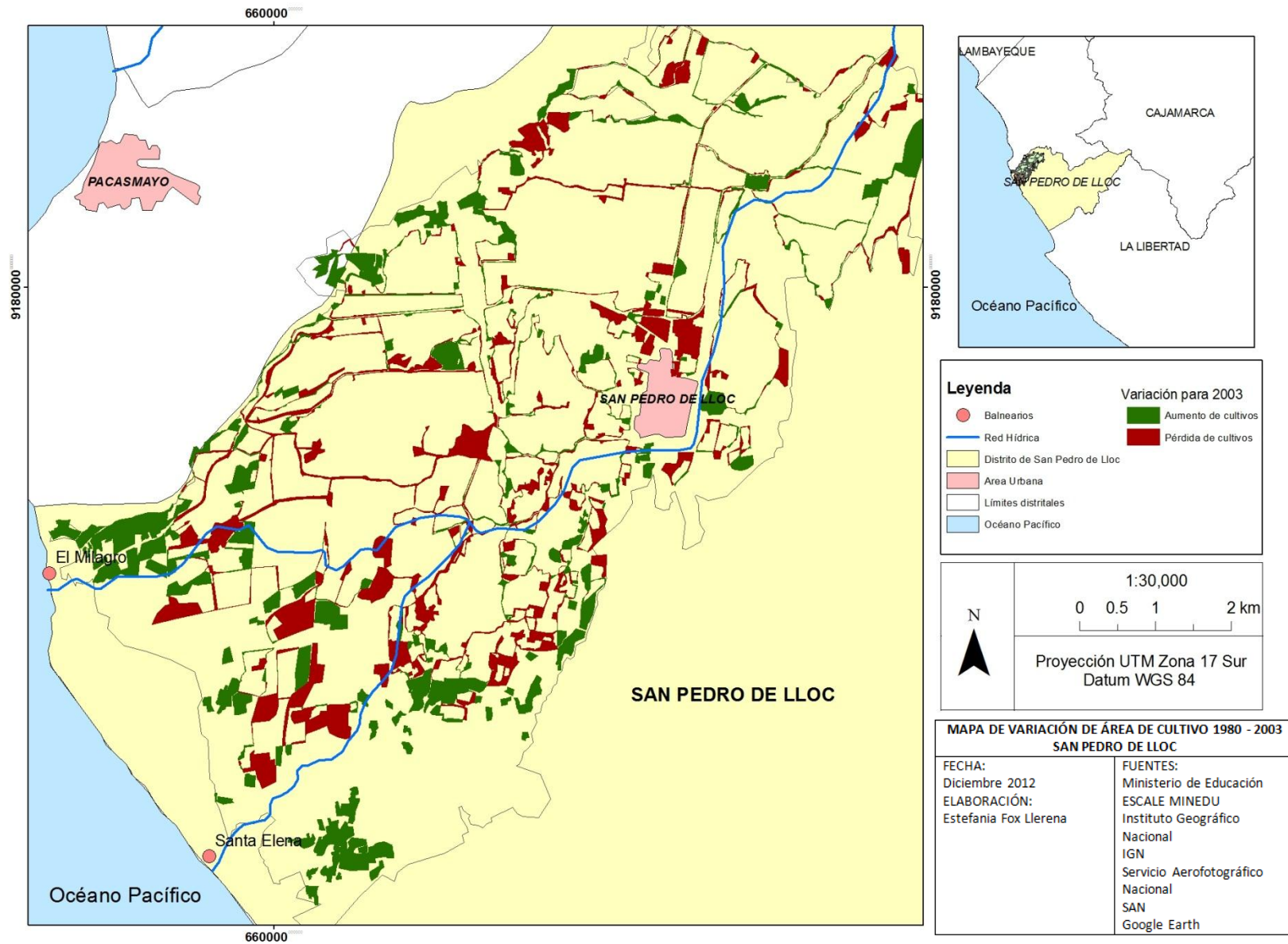


Figura 19. Mapa comparativo de áreas de cultivo 1980 – 2003 San Pedro de Lloc. Elaboración propia



Figuras 20. Variación de áreas de cultivo de 1980 – 2003. San Pedro de Lloc. Elaboración propia.

10. DISCUSIÓN

La presente investigación tiene como hipótesis que el sector San Pedro de Lloc presenta una disminución de tierras de cultivo debido al problema de salinización. Es importante resaltar que para el estudio y análisis de los resultados se dividió previamente el sector San Pedro de Lloc en 3 subsectores: alto, medio y bajo. De acuerdo a los parámetros químicos y físicos analizados se ha podido determinar que el subsector bajo presenta características de suelos de tipo “extremadamente salino” a “fuertemente salino”, ya que presenta una conductividad eléctrica de 89.6 dS/m (muestra 4SSP) y 19.48 dS/m (muestra 2SSP) (Tabla XVII), lo que se considera como “extremadamente salino” (mayor 9.5 dS/m) según la clasificación de Dahnke y Whitney (1988) (Figura 17). Este tipo de suelos se caracteriza por tener un bajo rendimiento y presenta cultivos propensos a tener problemas en su crecimiento. Por lo general las parcelas con este tipo de suelos suelen encontrarse en abandono. Esto último se pudo corroborar en la salida de campo, donde se observó que las parcelas cercanas a la muestra 2SSP se encontraban en dicho estado, cubiertas de grama salada y con suelo de color blanquecino debido a la acumulación de sales en su superficie (Figuras 12 y 13).

Por otro lado, el subsector medio, según las tendencias observadas a partir de la interpolación realizada (Figura 17), presenta una clasificación de suelos “moderadamente salino” a “ligeramente salino”, los cuales se caracterizan por presentar manchas de sales cuando estas se secan (Allison, 1954). Además, a nivel productivo estos tipos de suelos afectan significativamente el rendimiento de cultivos muy sensibles como las hortalizas (Tabla V). Por otro lado, el subsector alto presenta una clasificación de suelos “ligeramente salinos” a “suelos normales” (Figura 17). Este último se considera como suelo que no presenta ningún tipo de afloramiento de manchas salinas; por el contrario, se caracteriza por ser suelos con un buen rendimiento y productividad.

Con respecto a los resultados obtenidos de la medición de salinidad *in situ* se pudo obtener datos de salinidad en gramos/litro; sin embargo, es importante resaltar que, al no tener una clasificación oficial que determine el grado de afectación de salinidad en los suelos, se hizo la conversión de contenido de sales (C) a conductividad eléctrica (CE), con lo que se pudo obtener que la muestra 2s presenta una conductividad eléctrica de 2.63 dS/m, lo que de acuerdo a la clasificación de suelos de la USSLA-USDA (1954), corresponde a suelos “ligeramente salinos” (Figura 11). Dichos resultados concuerdan con los datos obtenidos en laboratorio, en donde el subsector bajo es considerado “extremadamente salino”, según la clasificación Dahnke y Whitney (1988) (Figura 17).

Otro parámetro indicador de salinidad es el pH, y acuerdo a la escala de pH, el subsector bajo presenta una clasificación de “ligeramente alcalino” a “alcalino”, ya que las muestras 2SSP y 4SSP presentan un pH de 9.86 y 9.79, respectivamente; mientras que el subsector medio y alto presentan una clasificación de “medianamente básico” a “básico”, ya que las muestras de dichos sectores poseen un pH menor a 8.5 (Figura 15).

Es importante resaltar que aquellos suelos con pH alcalinos presentan un porcentaje considerable de arcilla y poseen una baja capacidad de infiltración y lenta permeabilidad. Estos suelos no son los adecuados para la agricultura de cultivos variados, ya que por su baja infiltración del agua hace que esta se estanque en la superficie. Por ello, este tipo de suelos se restringe al cultivo de arroz o gramíneas, pues estos cultivos son resistentes a grandes cantidades de agua (Allison, 1954). Sin embargo, en el análisis de textura realizado en el laboratorio se observó que las muestras que presentan alto contenido alcalino (2SSP y 4SSP) tienen una clasificación de suelo franco; franco arcillo arenoso y franco arenoso, respectivamente (Tabla XV) (Figura 14).

Tres de las muestras trabajadas (2SSP, 14SSP y 16SSP) en el laboratorio presentan una textura franco arcillo arenoso. Esto quiere decir que al tener una clasificación franco, son adecuadas para la actividad agrícola debido a la presencia textural de arena y gran retención de humedad por el contenido de arcilla que poseen (Soil Survey Division, 1999). Sin embargo, al ser franco arcillo arenoso quiere decir que su contenido de arcilla es mayor a 15%; es decir, la proporción en la que se encuentra la arcilla es elevada por lo que provoca que, cuando estos reciben un fuerte lavado sufren endurecimiento, pierden su poder productivo y su capacidad de filtración de agua, lo que genera que se forme una capa impermeable y el estancamiento de agua, y las sales quedan en la superficie y afecta a los cultivos (Figura 14).

Por otro lado, las muestras de suelo 1SSP, 5SSP, 11SSP y 12SSP presentan una clasificación de suelo arenoso; es decir, poseen una textura que varía de gruesa a moderadamente gruesa (Zavaleta, 1992). Los suelos arenosos se caracterizan por ser secos, ya que no almacenan agua y tampoco los nutrientes necesarios para ser un suelo productivo, lo que puede traer como consecuencia el sobreuso de fertilizantes buscando potencializar el rendimiento del suelo a nivel productivo. Es importante recordar que los suelos arenosos requieren grandes cantidades de agua, ya que al tener una gran capacidad de filtración no almacenan la cantidad necesaria para cultivos altamente demandantes como el arroz (FAO, 2010) (Figura 21).



Figura 21. En el recorrido al área de estudio se pudo encontrar diversos envases de productos agroquímicos. (Insecticidas, bionutrientes, herbicidas, abonos)

Con respecto al contenido de materia orgánica presente en el suelo, las muestras 2SSP, 4SSP y 15SSP presentan respectivamente 35.7%, 10.4% y 15.4% de materia orgánica. Lo que se puede considerar como elevado (Tabla XVIII). Es importante resaltar que la presencia de materia orgánica mejora las condiciones físicas del suelo (impide el deterioro), ya que lo nutre, lo hace fértil y le da las condiciones necesarias para ser un suelo productivo de alto rendimiento (Allison 1954). De este modo, el alto contenido de materia orgánica puede explicar la presencia de cultivos tales como el arroz, maíz, espinaca, caña de azúcar en suelos que presentan altos valores de conductividad eléctrica y pH, con clasificación como “ligeramente salino”, “salino”, “fuertemente salino” y “extremadamente salino”.

El análisis espacio – temporal desarrollado en el Sistema de Información Geográfico (SIG) permitió determinar la variación de la superficie cultivada en km^2 entre los años 1980 y 2003 (Figura 19). A partir de esta comparación se obtuvo un aumento de la superficie cultivada de 5.26 km^2 (Figura 20); sin embargo, se obtuvo una pérdida de 4.87 km^2 , con lo que se concluye que a nivel total, el área de estudio presentó un aumento poco significativo de 0.39 km^2 (Tabla XXI) (Figura 20). Por otro lado, se pudo observar en el 2003

la presencia de nuevas áreas de cultivo en el subsector bajo (Figura 22 y 23), que no existían en 1980. Además, para el 2003 se pudo observar el estado de parcelas en abandono que, para 1980, formaban parte de las áreas de cultivo. Es importante resaltar que esto último se corroboró en la salida de campo, ya que se pudo observar la presencia de parcelas con presencia de grama salada y en estado de abandono (Figura 12 y 13).

Una probable explicación para el aumento de tierras de cultivo hacia el 2003 es la presencia de nuevas parcelas con cultivos transitorios como ají paprika y maíz (Figura 24 y 25). Estos cultivos se riegan con agua subterránea, ya que en esa zona no llegan los canales de regadío, por lo que el riego es de tipo tecnificado. Es importante mencionar que los suelos de textura típicamente arenosa, tales como los que se encuentran en el subsector bajo cercanos al litoral, son ideales para el riego por goteo según la USSLA-USDA (1954).

Por otro lado, en los subsectores medio y alto, la diferencia entre 1980 y 2003 es mínima. A grandes rasgos se puede determinar que la extensión de las áreas de cultivo sigue siendo la misma (Figura 26 y 27). Cuantitativamente, se ha determinado que para el año 1980 el área de estudio abarcaba 52.69 km^2 con una área de cultivo de 36.63 km^2 , mientras que, para el año 2003, el área de estudio se extendió a 56.01 km^2 con un área de cultivo de 37.02 km^2 . Es importante resaltar que el año 2003 presentó un aumento en el área de cultivo de 5.26 km^2 . Parte de este aumento se puede observar en la zona del subsector bajo, en El Milagro y Santa Elena (Figuras 22 y 23), donde se pudo apreciar, en la salida de campo, cultivos como ají paprika y maíz con ayuda de riego tecnificado (Figura 24 y 25).

Sin embargo, el año 2003 presentó una disminución de 4.87 km² en su área de cultivo; parte de esta disminución puede observarse en la parte de los bordes del subsector bajo y medio, donde el estado de algunas áreas de cultivo era de abandono, y que pudo corroborarse en la salida de campo (Figura 12). Es importante mencionar que dicha disminución de áreas de cultivo puede deberse a diversos factores, tales como la salinización, entre otros.

Por lo tanto, a partir de los resultados obtenidos se puede concluir que hay un problema de salinización en la zona, pero no se puede determinar que haya llevado a una pérdida de campos de cultivo. Como se mencionó anteriormente, se ha identificado la presencia de nuevas áreas de cultivo (1980 - 2003).

Es importante mencionar que este problema de salinización se da por una serie de factores antrópicos, como el sobreuso del recurso agua. Así también el uso de fertilizantes, por el inadecuado sistema de drenaje que posee, ya que es un canal sin revestir, que ocasiona infiltraciones y elevaciones del manto freático en las parcelas. Por otro lado, tenemos la influencia marina, ya que este se encuentra muy cercano al litoral. A pesar de las condiciones salinas que presentan estos suelos, es importante resaltar que los cultivos de arroz se desarrollan adecuadamente en este tipo de suelos salinos, en especial, en su etapa de germinación, por lo que de alguna forma se puede concluir que el cultivo de arroz no presenta problemas en su producción. Sin embargo, es importante tener en cuenta que las técnicas de cultivar arroz producen desgaste en la calidad de suelo, ya que sufren un fuerte lavado, lo que hace que se pierdan los nutrientes del mismo y no sean adecuados para otros cultivos.

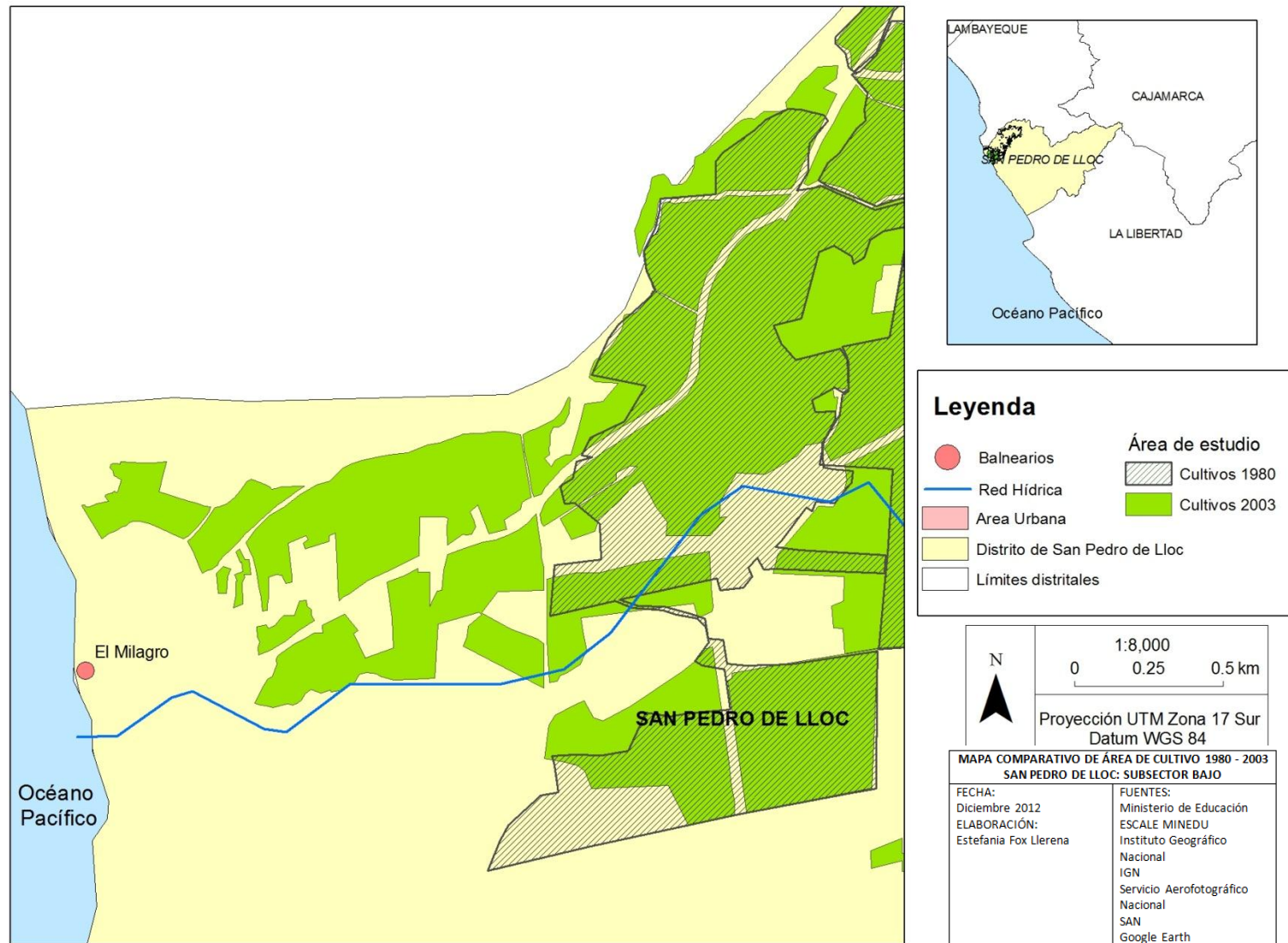


Figura 22. Sector balneario El Milagro donde se puede observar la presencia de un aumento de área de cultivo para el año 2003 que no existía en 1980; además, se puede observar que hay áreas de cultivo de 1980 que ya no existían en el 2003.

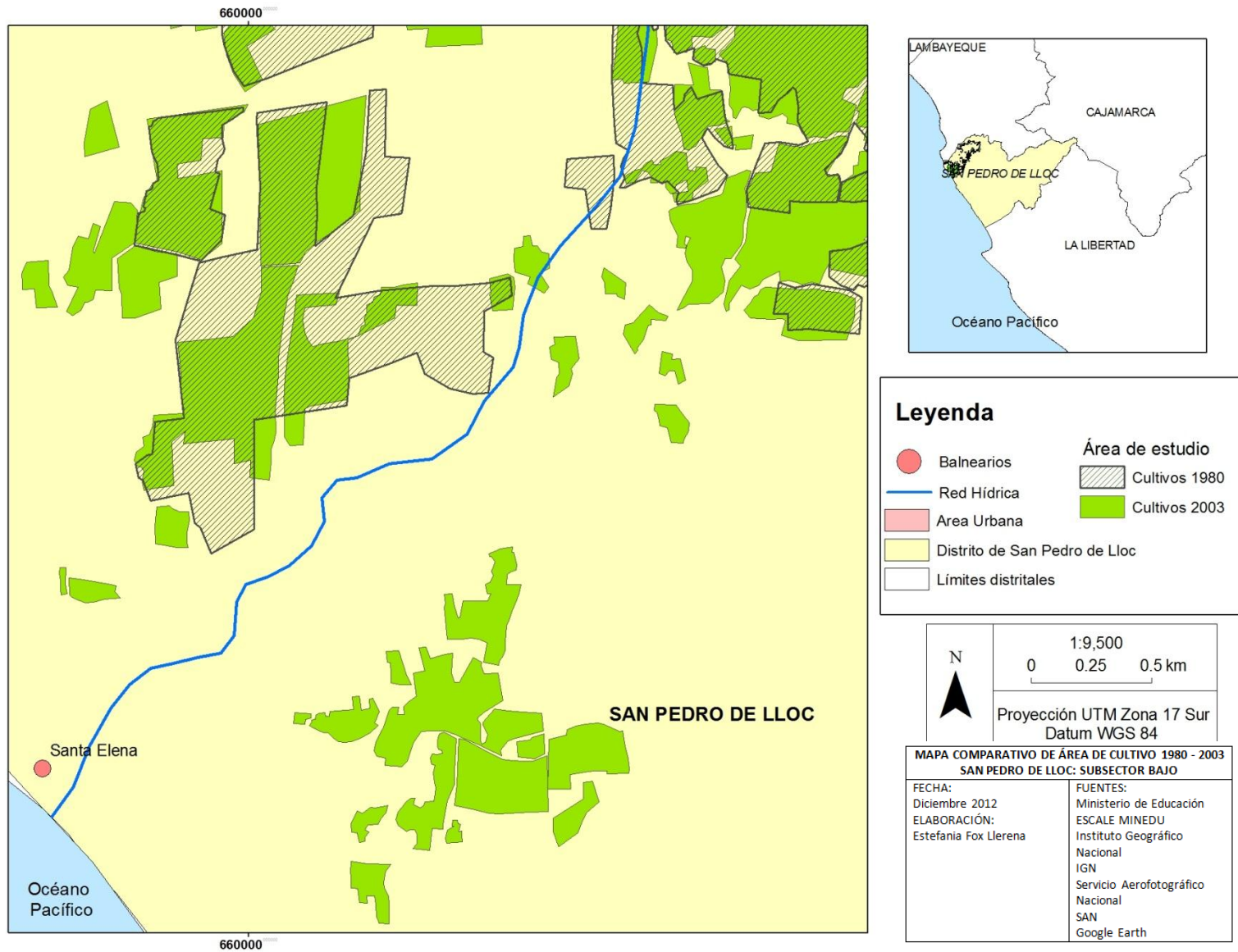


Figura 23. Sector balneario Santa Elena donde se puede observar la presencia de un aumento de área de cultivo para el año 2003 que no existía en 1980.



Figura 24. Parcela de ají paprika en el subsector bajo con sistema de riego por goteo, en Puémape



Figura 25. Parcela de maíz en el subsector bajo con sistema de riego por goteo en Santa Elena

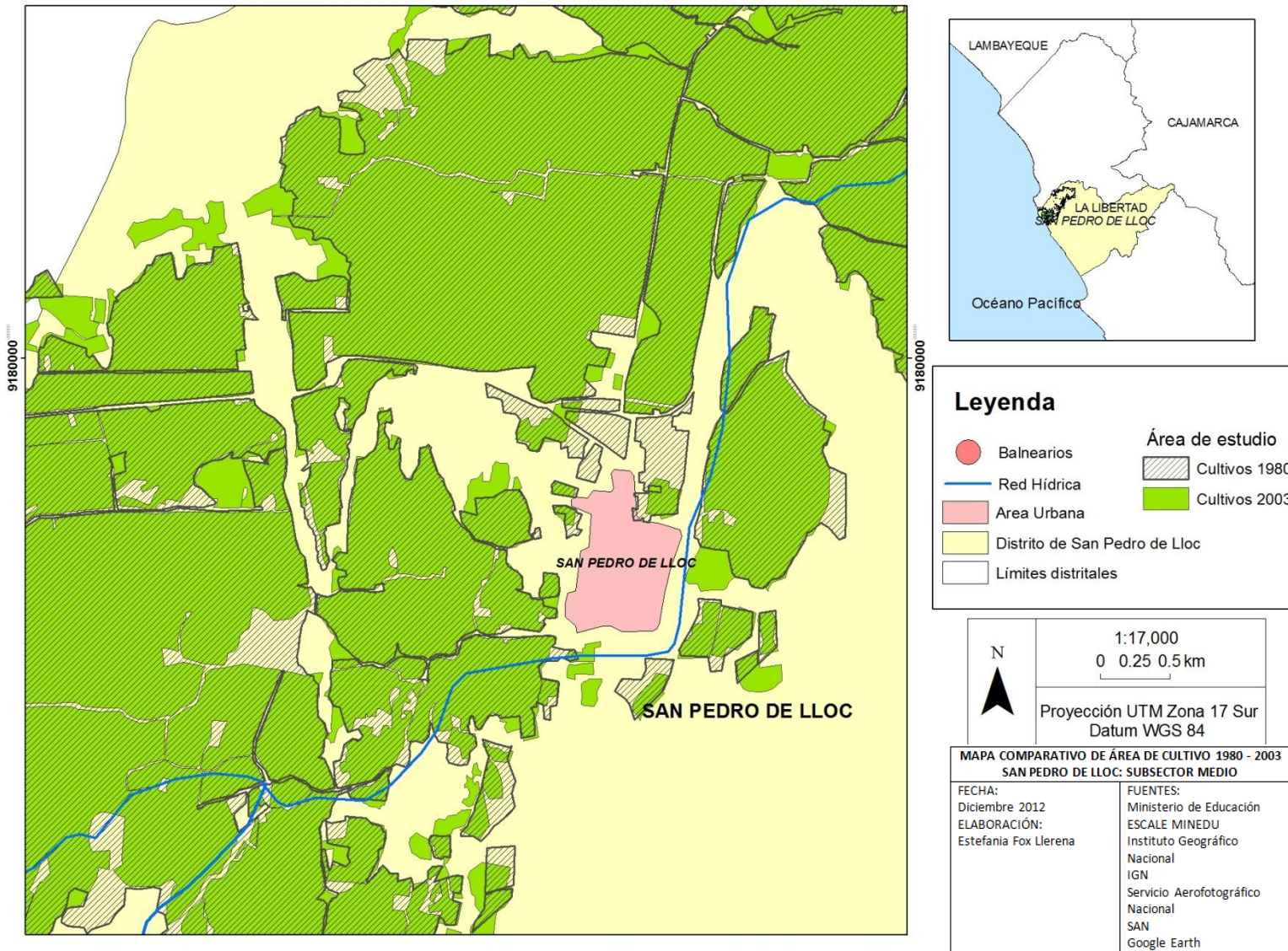


Figura 26. Subsector medio. San Pedro de Lloc donde se puede observar que no hay un cambio en la extensión de áreas de cultivo de 1980 al 2003.

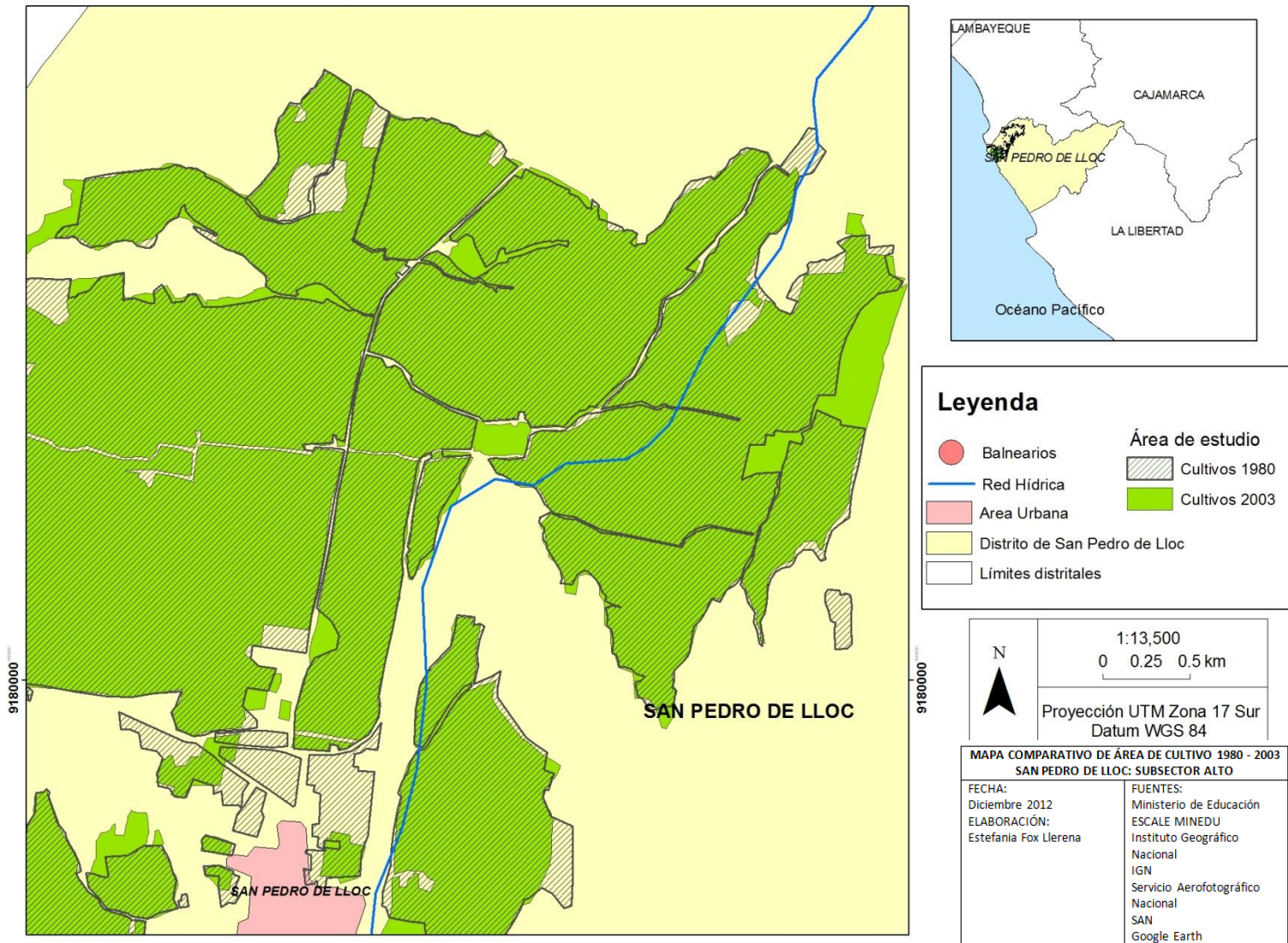


Figura 27. Subsector alto. San Pedro de Lloc donde se puede observar que no hay un cambio en la extensión de áreas de cultivo de 1980 al 2003.

A partir del trabajo de campo y gabinete se ha podido determinar que muchas áreas cultivadas en 1980, se encuentran, hoy en día, en descanso, abandonadas o sin usar. Esto podría estar relacionado a los altos valores de conductividad eléctrica y pH análisis de laboratorio. Así mismo, se observó nuevas áreas de cultivo en zonas donde no hay fácil acceso al agua de riego (Figuras 22 y 23), por lo que hacen uso de bombas hidráulicas para captar agua subterránea para el riego de cultivos. Estas nuevas áreas de cultivo utilizan el sistema de riego tecnificado (Figuras 24 y 25), que es más adecuado a los suelos arenosos típicos de la zona. Se cultiva principalmente maíz y ají paprika durante las campañas chicas (meses de abril – agosto).

A nivel general, se puede determinar que en el área de estudio los suelos del sector San Pedro de Lloc presentan problemas de salinización, pero, en especial, en las zonas del subsector bajo. Al estar ubicadas cercanas al litoral pueden sufrir la intrusión de agua salina en la napa freática. Otros factores tales como el viento, que aporta los aerosoles marinos ricos en sales a las áreas de cultivo próximos al litoral, el clima árido de la costa y la fuerte evaporación, contribuyen a la salinización de los suelos.

Por otro lado, la presencia de suelos con textura franco arcillo arenoso, con elevado contenido de arcilla, puede provocar un mal drenaje de los suelos cuyo resultado es la acumulación el agua en superficie y el endurecimiento de las capas de suelo, esto impide el crecimiento de las raíces de los cultivos. Por último, se tiene una gran influencia del uso de fertilizantes para potenciar la productividad del suelo, acompañado del inadecuado sistema de regadío como es el del cultivo de arroz, ya que inundan las tierras de cultivo con grandes cantidad de agua, lo que genera que se desgaste la productividad del suelo, ya que le quita nutrientes.

Finalmente, lo que se busca es que haya una toma de conciencia en cuanto al sistema de riego empleado en la zona, ya que no es el adecuado, debido a que al inundarse las parcelas de agua se desgasta las propiedades del suelo y solo se restringe al cultivo de arroz. Por lo que se podría intentar abrir paso al nuevo sistema de riego, el cual está siendo practicado en el subsector bajo, que consiste en riego tecnificado, donde por medio de mangueras se sumista el agua necesaria para cada cultivo, donde se obtiene una serie de beneficios tales como: uso eficiente del recurso agua, no se desgasta las propiedades del suelo, diversificación de cultivos y además se obtiene un buen rendimiento de los productos.



11. CONCLUSIONES

Existe un aparente equilibrio en cuanto a la ganancia y a la pérdida de áreas cultivos en el periodo 1980-2003 en el sector San Pedro de Lloc; ya que hubo un aumento de 5.26 km² y una pérdida de 4.87 km², con lo que se obtiene un poco significativo aumento de total áreas de cultivo de 0.39 km² para el año 2003.

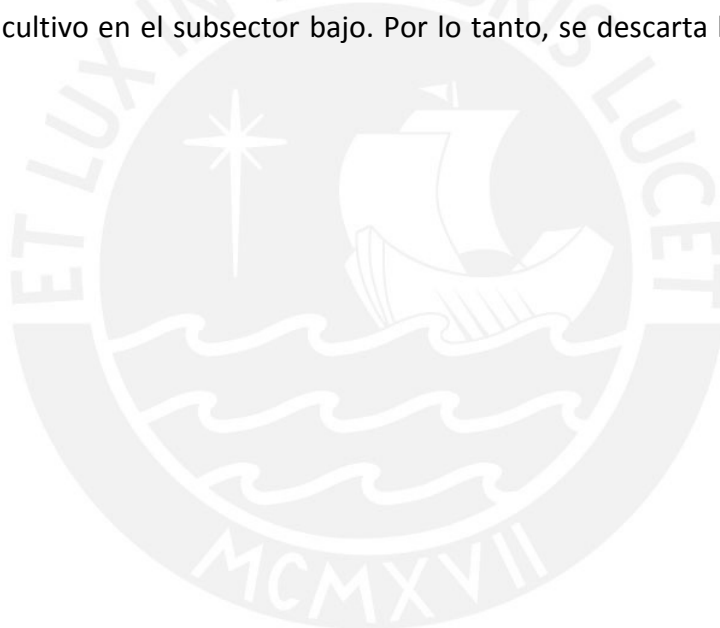
Según el análisis realizado en campo los suelos en la zona Santa Elena del subsector bajo se clasifican como “ligeramente salinos” (USSL-USDA, 1954), lo que quiere decir, que aquellas especies más sensibles a la salinidad verán afectado su crecimiento. Sin embargo, los subsectores medio y alto presentan una clasificación de suelo “normal”, es decir, son suelos que presentan un buen desarrollo y alto rendimiento.

Del mismo modo de acuerdo a los resultados de la zona del subsector bajo presenta un suelo entre “fuertemente salino” y “extremadamente salino”. Por otro lado, el subsector medio presenta una clasificación de suelo de “ligeramente salino” a “moderadamente salino” y el subsector alto presenta una clasificación de “ligeramente salino” a “no salino”.

Ambos análisis coinciden que la zona del subsector bajo presenta una mayor salinidad en comparación con el resto de los subsectores del área de estudio, lo cual se corrobora con la salida de campo en donde se observó que parte de las parcelas pertenecientes a dicho subsector se encontraban en estado de abandono y cubiertas de grama salada. Es posible que esta situación se encuentre relacionada con la pérdida de áreas de cultivo; sin embargo, no se puede llegar a determinar con exactitud el alcance y dimensión de su influencia en dicho proceso. Cabe la posibilidad de una cierta influencia marina, debido a la localización de aquellas parcelas con resultados de alto contenido de salinidad.

Con el uso de la herramienta de análisis espacio – temporal en el trabajo de gabinete se demostró que no presenta una disminución de áreas de cultivo. El Sistema de Información Geográfica, permitió determinar que no hay un aumento significativo del total de área de estudio. Fue de gran utilidad el uso de las imágenes satelitales y las fotografías aéreas, ya que aseguraron una mayor precisión y confianza con respecto a las fuentes cartográficas.

Si bien la hipótesis es que el Sector San Pedro de Lloc presenta una disminución de tierras de cultivo, debido al problema de salinización, este fenómeno no afecta a la disminución de áreas de cultivo, ya que como se ha podido demostrar se está dando la presencia de nuevas áreas de cultivo en el subsector bajo. Por lo tanto, se descarta lo planteado en la hipótesis.



12. BIBLIOGRAFÍA

1. ALLISON, L; BROWN, J; HAYWARD, H; RICHARDS, L; BERNTEIN, L; FIREMAN, M; PEARSON, G. (1954). Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Rama de Investigación sobre conservación del suelo y agua. Servicio de investigación agrícola. Personal de laboratorio de salinidad de los Estados Unidos de América. Manual de Agricultura No 60.
2. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM International D2974-07), D2974-07a Standard Test Methods for Moisture, Ash, and Organic Matter of Peat and Other Organic Soils.
3. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM INTERNACIONAL) Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils Designation: D422 – 63 (Reapproved 2007).
4. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM) D4308 - 12 Standard Test Method for Electrical Conductivity of Liquid Hydrocarbons by Precision Meter.
5. BARRENA, V; GIANELLA, J; GARCIA, H. *et al.* (2010). Análisis de recursos biomásicos leñosos y de residuos para uso combustible. Bioenergía y seguridad alimentaria. FAO. En la web:
<http://www.fao.org/docrep/013/i1712s/i1712s05.pdf>. Fecha de consulta: domingo 29 de enero 2012.
6. BELTRÁN, J (2002). La sal de la tierra: peligro para la producción de alimentos. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y alimentación FAO. En la web:
<http://www.fao.org/worldfoodsummit/spanish/newsroom/focus/focus1.htm>
Fecha de consulta: lunes 2 de julio 2012.
7. BERNSTEIN, L (1964). Salt tolerance of plants. USDA Agricultural Information Bulletin 283. 23 p
8. BURINGH, P. (1960.a). Application of aerial photographs in soil surveys. Manual of photographic interpretation. Washington. En la web:
<http://resources.arcgis.com/es/help/main/10.1/index.html#//00q8000000mw000000>. Fecha de consulta: jueves 13 de diciembre 2011.
9. BURINGH, P (1960.b). Soils and soil condition in Iraq. Baghdad. Ministry of Society of America, Vol. 6 n°1.

10. CAO, W. AND DEMELER.B. (2008). Modeling analytical ultracentrifugation experiments with an adaptive space-time finite element solution for multi-component reacting systems.
11. CHUVIECO, E. (1990). Fundamentos de teledetección espacial. Ed. Rialp, 453pp. Madrid.
12. CONSORCIO PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DE LA ECORREGIÓN ANDINA (CONDESAN) (1994). Cuencas andinas: Cuenca del valle del r Jequetepeque. Condesan. En la web:
www.condesan.org/cuencasandinas/jequetepeque.htm. Fecha de consulta: miércoles 5 de diciembre 2012.
13. DEININGER, K y BYERLEE, D (2011). The Rise of Large Farms in Land Abundant Countries: Do they have a future? World Development, vol. 40, No. 4, págs. 701–14.
14. DELATORRE, J (2010). Salinidad de agua y suelos en ferti-riego para frutales: manejo y control. Departamento de Agricultura del Desierto, Universidad Arturo Prat. En la web:
<http://www.unap.cl/~agrodes/publicaciones/Otras/Seminariosqm/salinidad2.pdf>.
Fecha de consulta: sábado 12 de mayo 2012.
15. DE LA TORRE, A. (2004). Ministerio de Agricultura, Instituto Nacional de Recursos Naturales. La degradación de tierras por salinidad en la región desértica de la costa peruana. Programa de cooperación técnica “inventario de experiencias y desarrollo progresivo de capacidades nacionales en la evaluación y control de la degradación de suelos”.
16. DIRECCIÓN DE MANEJO DE CUENCAS (1977). Evaluación de los problemas de salinidad y drenaje: Valles de Jequetepeque y Zaña. Ministerio de Agricultura. Agrupamiento.
17. EGUREN, F; REMY, M y OLIART, P (2004). La agricultura de la Costa Peruana: el problema agrario en debate. Debate agrario N°35. CEPES. Lima. En la web:
<http://www.cepes.org.pe/debate/debate35/01-articulo-da35.pdf>. Fecha de consulta: martes 15 de mayo 2012.
18. ESCALE. MINISTERIO DE EDUCACION. Unidad de estadística educativa. En la web:
escale.minedu.gob.pe/. Fecha de consulta: viernes 9 de noviembre 2012.

19. FLORES, A. GALVEZ, V; HERNANDEZ, O; LÓPEZ, G; OBREGON, A; ORELLANA, R; OTERO, L; VALEZ, M. (1996): Salinidad un nuevo concepto. Seminario Cuba – México. La Habana, 12 pp.
20. GARCÍA, A (2006). Manejo de suelos con acumulación de sales. VIII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Universidad Nacional, Sede Palmira. A. A. 237, Palmira – Colombia. En la web:
<http://www.secsuelo.org/VIIICongreso/Simposios/5>. Fecha de consulta: miércoles 5 de diciembre 2012.
21. GIRÓN, E (2003). Andes Basin Profile: Jequetepeque River Basin. Consorcio para el Desarrollo sostenible de la Ecorregión Andina (CONDESAN). En la web:
<http://www.condesan.org/cuencasandinas/jequetepeque.htm#suelos>. Fecha de consulta: sábado 12 de mayo 2012.
22. GRUPO PERMANENTE DE ESTUDIO SOBRE RIEGO (GPER) (1993). Grandes y Pequeñas irrigaciones. Tecnología Intermedia (ITDG) Servicio Holandés de Cooperación Técnica (SNV). Lima, junio de 1993. En la web:
http://www.cepes.org.pe/pdf/OCR/Partidos/gestion_agua_crisis_institucional/gestion_agua_crisis_institucional.pdf. Fecha de consulta: viernes 6 de abril 2012.
23. HILGARD, E. (1906). Soils, Their Formation, Properties, Compositions, and Relations to Climate and Plant Growth in the Humid and Arid Regions. Macmillan, New York, US.
24. INRENA (2004). Instituto Nacional de Recursos Naturales. Ministerio de Agricultura. PROYECTO REHATIC III Información General para la formulación del perfil de proyecto. Intendencia de Recursos hídricos.
25. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA (INEI) (2003). Compendio estadístico del Perú.
En la web:
<http://www.inei.gob.pe/biblioineipub/bancopub/Est/Lib0621/Libro.pdf>. Fecha de consulta: viernes 6 de abril 2012.
26. INSTITUTO NACIONAL ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA (INEI) (2007). Bioenergía y seguridad alimentaria. En la web:
<http://www.fao.org/energy/befs/peru/es/>. Fecha de consulta: viernes 6 de abril 2012.

27. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA (INEI) (2007). Censo Nacional de población 2007. En la web:
<http://censos.inei.gob.pe/censos2007/>. Fecha de consulta: viernes 6 de abril 2012.
28. JUNTA DE USUARIOS DEL SUBDISTRITO DE RIEGO REGULADO JEQUETEPEQUE (2010). Plan de cultivo y riego: Campaña agrícola 2010-2011. Administración local de agua Jequetepeque.
29. LEIDI, E; PARDO, J (2002). Tolerancia de los cultivos al estrés salino: ¿qué hay de nuevo? Departamento de Biología Vegetal. Instituto de Recursos Naturales y Agro Biología de Sevilla, CSIC. España. Revista de Investigación de la Facultad de Ciencias Agrarias. Año 2002. Número 11. En la web:
<http://www.fcagr.unr.edu.ar/Investigacion/revista/rev2/5.htm>. Fecha de consulta: lunes 2 de enero 2012.
30. MEDINA, H; GARCIA, J; NUÑEZ, D. (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. Universidad Agraria de la Habana. En la web:
<http://redalyc.uaemex.mx/pdf/932/93216305.pdf>. Fecha de consulta: lunes 2 de enero 2012.
31. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DIRECCION GENERAL DE AGUAS (1973). Evaluación de los problemas de salinidad y drenaje: Valle Jequetepeque. Dirección de preservación y conservación. Sub dirección de rehabilitación de tierras.
32. MINISTERIO DE AGRICULTURA (MINAG) (2010). Según el compendio estadístico agrario de la oficina de estudios económicos y estadísticos (OEEE). En la web:
http://siea.minag.gob.pe/siea/sites/default/files/2010-PRODUCC-AGR%C3%8DCOLA_0.pdf. Fecha de consulta: sábado 12 de mayo 2012.
33. OFICINA NACIONAL DE EVALUACION DE RECURSOS NATURALES (ONERN) (1986). Plan de Ordenamiento Ambiental de la Cuenca del Río Jequetepeque para la Protección del Reservorio Gallito Ciego y del Valle Agrícola.
34. OOSTERBANN, R (1988). Effectiveness and Social: Environmental Impacts of Irrigation Projects. International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI). En la web:
www.waterlog.info or www.waterlog.info/articles.htm. Fecha de consulta: martes 13 de noviembre 2012.

35. ORGANIZACIÓN DE LA NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA (FAO) (1987). La calidad del agua en la agricultura. Serie Estudio FAO: Riego y Drenaje N° 29. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, 174 p. En la web:
<http://repositorio.ual.es/jspui/bitstream/10835/574/9/A5.%20AGUA%20DE%20RIEGO.pdf>. Fecha de consulta: martes 13 de noviembre 2012.
36. ORGANIZACIÓN DE NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA (FAO) (1992). Prevención de la contaminación del agua por la agricultura y actividades afines. En la web:
<http://books.google.com.pe/books?id=1->. Fecha de consulta: martes 13 de noviembre 2012.
37. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO) (1995). Dimension of need. An atlas of food and agricultura. Roma. FAO.
38. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO) (2002). Agua y cultivo, logrando el uso óptimo del agua en la agricultura. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. En la web:
ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/cropsdrops_s.pdf. Fecha de consulta: martes 13 de noviembre 2012.
39. ORGANIZACIÓN DE NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA (FAO) (2002). El cultivo protegido en clima mediterráneo. Estudio de la FAO, producción y protección vegetal. Roma. En la web:
<ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/005/s8630s/s8630s00.pdf>. Fecha de consulta: jueves 15 de noviembre 2012.
40. ORGANIZACION DE NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y ALIMENTACION (FAO) (2010). Textura del suelo. En la web:
ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO_Training/FAO.../x6706s06.htm. Fecha de consulta: jueves 15 de noviembre 2012.
41. PORTA, J; LOPEZ, M; ROQUERO, C. (2003). Edafología para la agricultura y el medio ambiente. 3ª. Edición, Ediciones Mundi-Prensa, 960 p., Madrid.
42. PORTA. J; LOPEZ. M (2005). Agenda de campo de suelos. Información de suelos para la agricultura y medio ambiente. Mundi-Prensa, Madrid.

43. POSTEL, S (1989). Water for agriculture: facing the limits. Worlwatch Institute. Washington DC.
44. QUISPE, E. (2008). Diseño de un programa de monitoreo de agua superficial en San Pedro de Lloc. Tesis para optar el grado de magister en química. PUCP. Lima
45. RUSSELL, A (1961). Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas. Eleventh edition. Logman Group UK Limited, London.
46. SANTIAGO, I (2006). Fundamentos de ArcGis. Segunda Parte. Oficina de Gerencia y Presupuesto del Estado. Puerto Rico.
47. SOIL SURVEY DIVISION STAFF (SSDS) (1993). Soil survey manual. Handbook.No. 18. United States Department of Agricultura (USDA). Washington D.C. 37 p.
48. SOIL SURVEY DIVISION STAFF (SSDS) (1999). Soil survey manual. Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture
49. TAVARES CORRÊA, C. El continuum Dunaria y el Manejo de Dunas Litorales en el Norte del Perú. Boletín de la Sociedad Geográfica de Lima, Año 113, vol N°117. Páginas 171-180.
50. TÓTH, G. (2006). Procesos de degradación del suelo. Agricultura sostenible y conservación de los suelos. En la web:
<http://agrilife.jrc.ec.europa.eu/documents/ESFactSheet-04.pdf>. Fecha de consulta: sábado 12 de mayo 2012.
51. UNITED STATES SALINITY LABORATORY STAFF (USSLS) Diagnosis and improvement of saline and alcali soils. USDA (1954)
52. VAN HOORN Y VAN ALPHEN (1994) Salinity control. In: H.P. Ritzema (Ed.), Drainage Principles and Applications, p. 533-600, Publication 16, International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), Wageningen, The Netherlands.
53. VILLAFANE, R (1999). Calificación de los suelos por sales y dispersion por sodio y su aplicacion en la evaluación de tierras. FAO- UNESCO. Venezuela. En la web:
http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_ci/Agronomia%20Tropical/at5004/arti/villafane_r.htm. Fecha de consulta: sábado 12 de mayo 2012.

54. VINELLI RAMIREZ, R (2011). Estudio analítico de nitratos en aguas subterráneas en el distrito San Pedro de Lloc. Tesis para optar el título de Licenciado en Química. PUCP
55. WHITE, R. (1997). Principles and practice of soil science: the soil as a natural resource. Malde [Massachusetts]: Blackwell Science, 348 p.
56. ZAVALETA, A (1992). Edafología: el suelo en relación con la producción .CONCYTEC, LIMA.

