



PONTIFICIA
**UNIVERSIDAD
CATÓLICA**
DEL PERÚ

**FACULTAD DE LETRAS Y CIENCIAS HUMANAS
ESPECIALIDAD DE GEOGRAFÍA Y MEDIO AMBIENTE**

**ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES EDÁFICAS QUE DETERMINAN
LA FERTILIDAD DEL SUELO EN EL SISTEMA DE ANDENERÍA DE
LA COMUNIDAD CAMPESINA SAN PEDRO DE LARAOS,
PROVINCIA DE HUAROCHIRÍ, LIMA**

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

KATIUSCA SUSANA YAKABI BEDRIÑANA

Asesor:

DR. CARLOS HENRIQUE TAVARES CORRÊA

LIMA, NOVIEMBRE DE 2014

A mi abuelo, Severo Bedriñana



AGRADECIMIENTOS

A Dios, por haber puesto en mi camino a todas aquellas personas que han contribuido con el desarrollo de la presente investigación.

A mis padres, Gustavo y Aida, por su cariño, apoyo y respaldo desde el principio de mi vida universitaria; y por inculcar en mí la responsabilidad, el compromiso y la dedicación, aspectos que me ayudaron a tener la tesis lista en los tiempos previstos.

Al Doctor Carlos H. Tavares Corrêa, por acompañarme a lo largo del proceso de investigación, brindándome sus conocimientos y experiencia, su paciencia en cada asesoría, y sus observaciones y críticas constructivas; ello ha hecho posible dar por concluida la tesis y de forma satisfactoria.

A la Doctora Nadia R. Gamboa Fuentes, quien me abrió las puertas del Laboratorio de Química Ambiental en la Sección Química, donde llevé a cabo el trabajo de laboratorio, la etapa más importante de esta investigación. Además, se agradece a la Dirección de Gestión de la Investigación de la PUCP por el apoyo financiero (DGI 2013-0097).

Al Doctor Roberto Chiarella Quinhoes, por su dedicación y exigencia en los cursos de Taller de investigación y formación profesional II y Seminario de tesis, y quien me orientó para organizar la estructura general de la tesis y elaborar el esquema metodológico, el cual materializó el proceso de investigación y hacía de una guía.

A mis compañeros geógrafos, Aderly Yap, por su compañía durante las salidas de campo y su apoyo y aliento incondicional, y Abel Cisneros, con quien conversando fue que concebí y perfilé el tema de la investigación.

A los alumnos de la carrera de química Erick Mendoza y Luis Ayala, por la asistencia y ayuda durante los análisis de laboratorio; a Adolfo Marchese, por las asesorías e indicaciones clave para realizar un buen trabajo de laboratorio y con resultados válidos; a los químicos Cecilia Corcuera y Carmen Álvarez G., y al Dr. Michael Klug, quienes me apoyaron durante los meses que estuve en el laboratorio.

Al Ing. Enrique Nuggent, por el interés para que se dé esta investigación y por facilitar el contacto con la Municipalidad del distrito de Laraos, Huarochirí; a las autoridades de la municipalidad mencionada por las facilidades para la estancia en el pueblo y su disponibilidad para resolver mis preguntas; y a los miembros de la Comunidad Campesina de San Pedro de Laraos, por acogerme y permitir el estudio sobre el suelo de su sistema de andenería.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS	IX
SIGLAS Y ACRÓNIMOS.....	X
RESUMEN.....	XI
INTRODUCCIÓN.....	1
1. EL SISTEMA DE ANDENERÍA: ¿PÉRDIDA IRREMEDIABLE DE UN RECURSO PRODUCTIVO Y CULTURAL?	4
1.1 HIPÓTESIS	5
1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	5
2. PUESTA EN VALOR DEL SISTEMA DE ANDENERÍA.....	7
3. EL SUELO EN UNA AGRICULTURA DE MONTAÑA.....	9
3.1 LA EDAFOLOGÍA: CIENCIA DE SUELO.....	9
3.1.1 ¿Qué es el Suelo?.....	9
3.1.2 Visión sistémica del suelo.....	10
3.1.3 Evolución del estudio de la fertilidad del suelo.....	11
3.2 LA FERTILIDAD: CUALIDAD PARA EL DESARROLLO DE LOS CULTIVOS	12
3.2.1 ¿Qué se entiende por “Fertilidad”?	12
3.2.2 Las propiedades edáficas determinantes para la fertilidad.....	12
3.2.2.1 Propiedades físicas.....	12
3.2.2.2 Propiedades químicas	15
3.3 EL SISTEMA DE ANDENERÍA: UN ACONDICIONAMIENTO DE LADERAS	19
3.3.1 ¿Qué son los “Andenes”?	19
3.3.2 Contribuciones de los andenes en el medio andino.....	21
3.3.3 Pasado, Presente y Futuro: Perspectivas de uso	22
3.3.4 Clasificación de los andenes	28
4. ACERCAMIENTO METODOLÓGICO	30
4.1 TRABAJO DE CAMPO.....	32

4.1.1	<i>Reconocimiento del área de estudio</i>	32
4.1.2	<i>Recolección de las muestras de suelos</i>	32
4.2	TRABAJO EN LABORATORIO.....	35
4.2.1	<i>Equipos, instrumentos y reactivos utilizados en el laboratorio</i>	36
4.2.2	<i>Preparación de las muestras</i>	37
4.2.3	<i>Técnicas de análisis en el laboratorio</i>	38
4.2.3.1	<i>Determinación de la textura</i>	38
4.2.3.2	<i>Determinación de la densidad aparente</i>	40
4.2.3.3	<i>Determinación del potencial de hidrógeno y conductividad eléctrica</i> 41	
4.2.3.4	<i>Determinación del contenido de macronutrientes</i>	42
4.2.3.5	<i>Determinación del contenido de materia orgánica</i>	43
4.3	ETAPA DE GABINETE	44
5.	UN ACERCAMIENTO A LA REALIDAD DE SAN PEDRO DE LARAOS	46
5.1	LA MANCOMUNIDAD DEL VALLE DE SANTA EULALIA	46
5.2	UBICACIÓN Y DIMENSIÓN FÍSICO – NATURAL	48
5.2.1	<i>Características climáticas</i>	51
5.2.2	<i>Características topográficas</i>	52
5.2.3	<i>Características geológicas</i>	53
5.2.4	<i>Características de los suelos</i>	53
5.2.5	<i>Características de la biota</i>	54
5.3	DIMENSIÓN HUMANA	56
5.3.1	<i>Vivienda y servicios básicos</i>	58
5.3.2	<i>El empleo en Laraos</i>	59
5.3.3	<i>La actividad agrícola</i>	61
5.3.4	<i>La actividad ganadera</i>	61
6.	SITUACIÓN DEL SISTEMA DE ANDENERÍA DE LA COMUNIDAD CAMPESINA SAN PEDRO DE LARAOS	64
6.1	CARACTERIZACIÓN <i>IN SITU</i>	64
6.1.1	<i>Una visión general desde los ojos del pueblo</i>	64
6.1.2	<i>Una observación más específica</i>	68
6.2	RESULTADOS DE LABORATORIO.....	71
6.2.1	<i>Textura</i>	71
6.2.2	<i>Densidad aparente</i>	72
6.2.3	<i>Potencial de hidrógeno</i>	73
6.2.4	<i>Conductividad eléctrica</i>	74

6.2.5	Contenido de macronutrientes: nitrógeno, fósforo y potasio	75
6.2.6	Materia orgánica.....	76
7.	ANÁLISIS COMPARATIVO Y DISCUSIÓN.....	78
8.	CONCLUSIONES	93
9.	RECOMENDACIONES.....	95
	BIBLIOGRAFÍA.....	96
	ANEXOS	101



ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: TRIÁNGULO DE LAS CLASES TEXTURALES SEGÚN LAS PROPORCIONES DE ARENA, LIMO Y ARCILLA EN EL SUELO.	14
FIGURA 2: PH Y DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES	17
FIGURA 3: EL SISTEMA DE ANDENERÍA DEL SITIO ARQUEOLÓGICO WIÑAYHUAYNA, CUSCO	20
FIGURA 4: PERFIL DE LA ESTRUCTURA DE UN ANDÉN	20
FIGURA 5: LOS ANDENES DE MORAY, REGIÓN CUSCO.....	24
FIGURA 6: EL SISTEMA DE ANDENERÍA DEL DISTRITO DE HUANCAYA, PROVINCIA DE YAUYOS, RESERVA PAISAJÍSTICA NOR YAUYOS-COCHAS.....	26
FIGURA 7: MAPA DE LA SUPERFICIE NACIONAL CON SISTEMAS DE ANDENERÍA EN EL PERÚ	27
FIGURA 8: VISTA DEL PUEBLO DE SAN JUAN DE IRIS Y SU SISTEMA DE ANDENERÍA.....	28
FIGURA 9: ESQUEMA METODOLÓGICO PARA EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	31
FIGURA 10: UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO EN LAS ZONAS A, B Y C	34
FIGURA 11: DIMENSIONES DE LA PERFORACIÓN PARA EL MUESTREO DE SUELO – PUNTO TA-10%	35
FIGURA 12: INSERCIÓN DEL CILINDRO DE LATÓN EN LA PARED DE LA PERFORACIÓN.....	35
FIGURA 13: PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS DE SUELO PARA LOS ANÁLISIS RESPECTIVOS	37
FIGURA 14: PROCEDIMIENTO DEL TAMIZADO DE LAS MUESTRAS DE SUELO	38
FIGURA 15: PROCEDIMIENTO PARA EL ANÁLISIS DE TEXTURA.....	39
FIGURA 16: PROCEDIMIENTO PARA EL ANÁLISIS DE PH Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.....	42
FIGURA 17: PROCEDIMIENTO PARA EL ANÁLISIS DE MATERIA ORGÁNICA	44
FIGURA 18: ÁMBITO DE LA MANCOMUNIDAD MUNICIPAL DEL VALLE DEL RÍO SANTA EULALIA	47
FIGURA 19: VISTA DEL TECHO LAS VIVIENDAS, UNA PARTE DE LA PLAZA Y LA IGLESIA DEL PUEBLO	48
FIGURA 20: UBICACIÓN DEL CENTRO POBLADO URBANO DE LARAOS	49
FIGURA 21: RECURSOS HÍDRICOS EN EL DISTRITO DE LARAOS, PROVINCIA DE HUAROCHIRÍ	50
FIGURA 22: AVANCE DE “LA NUBE” EN LAS PRIMERAS HORAS DE LA MAÑANA	51
FIGURA 23: AFLORACIONES ROCOSAS EN LAS LADERAS.....	52
FIGURA 24: VISTA DE FUENTES DE AGUA.....	52
FIGURA 25: EJEMPLOS DE ESPECIES DE GRAMÍNEAS Y HIERBAS EN LAS LADERAS ALREDEDOR DE LARAOS.....	54
FIGURA 26: EJEMPLOS DE LA FAMILIA DE LAS <i>CACTACEAE</i>	55
FIGURA 27: PARCHE DE EUCALIPTOS EN LA PROPIEDAD DE UN COMUNERO	55
FIGURA 28: EVOLUCIÓN POBLACIONAL EN EL DISTRITO DE LARAOS (1981 – 2007).....	57
FIGURA 29: PIRÁMIDE POBLACIONAL SEGÚN SEXO Y EDAD EN GRUPOS QUINQUENALES (2007)	57
FIGURA 30: FESTIVIDADES DE LARAOS	58
FIGURA 31: POBLACIÓN ECONÓMICAMENTE ACTIVA EN EL DISTRITO DE LARAOS (2007).....	59
FIGURA 32: ACTIVIDAD GANADERA EN LARAOS.....	62
FIGURA 33: UN COMUNERO CON SU GANADO DE CAMÉLIDOS (LLAMAS)	63
FIGURA 34: COMUNEROS CABALGANDO EN SUS CABALLOS EN EL INICIO DE LA FIESTA DEL AGUA.....	63
FIGURA 35: EL SISTEMA DE ANDENERÍA DE LA CC.CC SAN PEDRO DE LARAOS	64
FIGURA 36: ASPECTO DE LAS PIRCAS.....	65

FIGURA 37: SECTOR LIMPE	66
FIGURA 38: EJEMPLO DE UN MURO DE UN ANDÉN ABANDONADO Y DETERIORADO (PUNTO TB-30)	67
FIGURA 39: ASPECTO DE UN MURO DE ANDÉN DETERIORADO	67
FIGURA 40: ANDENES DE LIMPE SEMBRADOS DE PAPA EN OCTUBRE, 2013	68
FIGURA 41: EJEMPLO DE UN MURO DERRUMBADO EN EL SECTOR LIMPE (PUNTO TA-90)	68
FIGURA 42: PARTE DE LA ZONA A (2013)	70
FIGURA 43: PARTE DE LA ZONA B	70
FIGURA 44: PARTE DE LA ZONA C	71
FIGURA 45: AFLORAMIENTO ROCOSO EN LA ZONA C	71
FIGURA 46: COMPARACIÓN DE LOS PORCENTAJES RELATIVOS DE ARENA, LIMO Y ARCILLA ENTRE ZONAS A, B Y C	79
FIGURA 47: VARIACIÓN DEL PORCENTAJE DE ARCILLA A LO LARGO DE LOS TRANSECTOS A, B Y C.....	79
FIGURA 48: COMPARACIÓN DE LA D.A. (G/CM ³) ENTRE LAS ZONAS A, B Y C Y EL RANGO DE REFERENCIA IDEAL	80
FIGURA 49: COMPARACIÓN DE LOS VALORES DEL PH ENTRE LAS ZONAS A, B Y C	82
FIGURA 50: COMPARACIÓN DE LOS VALORES DE C.E. ENTRE LAS ZONAS A, B Y C	83
FIGURA 51: SISTEMA DE RIEGO QUE PROVEE DE AGUA AL SECTOR LIMPE.....	84
FIGURA 52: ACEQUIA CON DESECHOS DOMÉSTICOS A LA SALIDA DEL PUEBLO	84
FIGURA 53: VACA BEBIENDO DE UNA ACEQUIA	84
FIGURA 54: COMPARACIÓN DEL CONTENIDO DE M.O. ENTRE LAS ZONAS A, B Y C.....	85
FIGURA 55: EXCREMENTO DE GANADO EN TB-10 Y TB-70.....	85
FIGURA 56: CORRELACIÓN ENTRE EL CONTENIDO DE M.O. (%) DEL SUELO Y SU D.A. (g/cm ³)	86
FIGURA 57: CORRELACIÓN ENTRE EL CONTENIDO DE M.O. (%) DEL SUELO Y LA PROPORCIÓN DE N TOTAL (%).....	87
FIGURA 58: CORRELACIÓN ENTRE EL CONTENIDO DE M.O. (%) DEL SUELO Y LA PROPORCIÓN DE P DISPONIBLE (PPM).....	87
FIGURA 59: CORRELACIÓN ENTRE EL CONTENIDO DE M.O. (%) DEL SUELO Y LA PROPORCIÓN DE K DISPONIBLE (PPM).....	87
FIGURA 60: CORRELACIÓN ENTRE LA PROPORCIÓN DE ARCILLA (%) Y K DISPONIBLE (PPM)	87
FIGURA 61: CORRELACIÓN ENTRE C.E. (μS/cm) Y N TOTAL (%).....	88
FIGURA 62: CORRELACIÓN ENTRE C.E. (μS/cm) Y P DISPONIBLE (PPM).....	88
FIGURA 63: CORRELACIÓN ENTRE C.E. (μS/cm) Y P DISPONIBLE (PPM).....	89
FIGURA 64: PORCENTAJE DE N TOTAL EN LAS ZONAS A, B Y C.....	90
FIGURA 65: PROPORCIÓN DE P DISPONIBLE EN LAS ZONAS A, B Y C.....	90
FIGURA 66: PROPORCIÓN DE K DISPONIBLE EN LAS ZONAS A, B Y C.....	90

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA I: DESCRIPCIÓN DE LOS PRINCIPALES SEPARADOS DEL SUELO (USDA SIMPLE).....	13
TABLA II: CLASES TEXTURALES DEL SUELO (USDA) Y SU DENSIDAD APARENTE IDEAL (g/cm ³)	15
TABLA III: CALIFICACIÓN DEL PH DEL SUELO (USDA)	16
TABLA IV: CLASE DE SALINIDAD EN FUNCIÓN DE LA C.E. DEL SUELO (USDA).....	17
TABLA V: TABLA DE INTERPRETACIÓN DE ANÁLISIS DE NITRÓGENO TOTAL (%).....	18
TABLA VI: TABLA DE INTERPRETACIÓN DE ANÁLISIS DE FÓSFORO Y POTASIO DISPONIBLES (PPM)	19
TABLA VII: CLASIFICACIÓN DE LOS ANDENES SEGÚN SU ESTADO DE CONSERVACIÓN	29
TABLA VIII: CLASIFICACIÓN DE LOS ANDENES SEGÚN LA FORMA DE USO	29
TABLA IX: UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO DE SUELO EN COORDENADAS UTM.....	33
TABLA X: REACTIVOS UTILIZADOS PARA LOS ANÁLISIS DE PH Y TEXTURA	36
TABLA XI: OCUPACIONES A LAS QUE SE DEDICA LA POBLACIÓN DEL DISTRITO DE LARAOS	60
TABLA XII: DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS PLATAFORMAS MUESTREADAS EN LA ZONA A	69
TABLA XIII: DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS PLATAFORMAS MUESTREADAS EN LA ZONA B	69
TABLA XIV: DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS PUNTOS MUESTREADOS EN LA ZONA C..	70
TABLA XV: RESULTADOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO. PROPORCIÓN DE ARENA, LIMO Y ARCILLA EN EL SUELO Y CLASIFICACIÓN TEXTURAL	72
TABLA XVI: RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE DENSIDAD APARENTE	73
TABLA XVII: RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE PH Y SU CLASIFICACIÓN	74
TABLA XVIII: RESULTADOS DE LA C.E.	75
TABLA XIX: RESULTADOS DE LAS PROPORCIONES DE NITRÓGENO TOTAL (%), FÓSFORO DISPONIBLE (PPM) Y POTASIO DISPONIBLE (PPM) Y SU CLASIFICACIÓN	76
TABLA XX: RESULTADOS DEL CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA Y SU CLASIFICACIÓN	77

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

ASTM	American Society for Testing and Materials
CC.CC.	Comunidad Campesina
CC.PP.	Centro poblado
C.E.	Conductividad eléctrica
CIC	Capacidad de intercambio catiónico
COSUDE	Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación
D.A.	Densidad aparente
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FIDA	Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola
IMP	Instituto Mexicano del Petróleo
INE	Instituto Nacional de Ecología de México
M.O.	Materia orgánica
NPK	Nitrógeno, fósforo y potasio
pH	Potencial de hidrógeno
PMA	Programa Mundial de Alimentos
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
PRONAMACHCS	Programa Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas y Conservación de Suelos
SSDS	Soil Survey Division Staff
USDA	United States Department of Agriculture

RESUMEN

La presente tesis de investigación, “Estudio de las propiedades edáficas que determinan la fertilidad del sistema de andenería de la Comunidad Campesina San Pedro de Laraos”, tiene como objetivo general evaluar los parámetros físicos y químicos que determinan la fertilidad del suelo en un sistema de andenería, con la finalidad de revalorar e incentivar el reaprovechamiento de dicha tecnología, y así garantizar la seguridad alimentaria de la población local.

Para lograr el objetivo mencionado, la metodología de la investigación se dividió en tres fases, en las que se aplicaron métodos de la Geografía, Edafología y Química. En el campo, se hizo el levantamiento de información primaria a partir de la observación directa, entrevistas a los actores claves y el muestreo de suelos. En el laboratorio, se realizó el análisis de las siguientes propiedades edáficas, con su respectivo método: textura por la norma ASTM D422-63, densidad aparente por el método del cilindro, potencial de hidrógeno y conductividad eléctrica por lectura del extracto de relación suelo:agua 1:1, materia orgánica por la norma ASTM D2974-07, nitrógeno total por el método micro Kjeldhal, fósforo disponible por el método Olsen modificado, y potasio disponible por extracción con acetato de amonio 1 N, pH 7.0. Por último, en gabinete se hizo la interpretación y el análisis estadístico de los resultados.

El área de muestreo corresponde al sistema de andenería perteneciente a la Comunidad Campesina San Pedro de Laraos, en el distrito del mismo nombre, ubicado en la margen derecha de la parte alta de la subcuenca del río Santa Eulalia, provincia de Huarochirí, región Lima. Para ver las diferencias en las propiedades edáficas entre los suelos dentro y fuera de los andenes, así como entre los suelos en andenes en diferente estado de uso y conservación, se hizo la delimitación de tres zonas: Zona A, andenes en descanso; Zona B, andenes en abandono; y Zona C, una ladera sin andenes. En cada zona se muestrearon 5 puntos a diferente altitud, seleccionados a partir de un diseño de muestreo sistemático.

A partir de los resultados de los parámetros físicos, textura y densidad aparente, no se han observado diferencias significativas entre las tres zonas. De manera general, en los suelos predomina la textura franca, con valores de densidad aparente relativamente elevada, que indicaría una compactación del suelo. Respecto a los parámetros químicos, pH, conductividad eléctrica, NPK y materia orgánica, se encontraron diferencias entre las tres zonas, siendo la conductividad eléctrica y los contenidos de nitrógeno, fósforo y potasio los de mayor variación. El pH se encuentra dentro del rango de mayor disponibilidad de nutrientes (5,5 – 7,5); y los contenidos de

materia orgánica varían de medios a altos en las tres zonas. En cuanto a la conductividad eléctrica, los resultados indican suelos no salinos (0,174 – 0,683 dS/m), con los valores más elevados en la zona A; y sobre los contenidos de NPK, los valores más elevados, y por encima del mínimo ideal, están en A; mientras que los más bajos se encuentran en C y B; ambos parámetros están correlacionados directamente.

Con los resultados alcanzados se concluye que la zona A es la que presenta un suelo de mejor calidad en cuanto a lo que fertilidad se refiere. Si bien las tres zonas presentan las condiciones estructurales (fertilidad física) para permitir el crecimiento de las raíces por el equilibrio de las fracciones de arena, limo y arcilla, y las condiciones para la disponibilidad y asimilación de nutrientes (fertilidad química), solo los andenes en descanso, después de un periodo de 5 años en barbecho, presentan las proporciones ideales de macronutrientes en el suelo.



INTRODUCCIÓN

Garantizar la seguridad alimentaria se presenta como uno de los mayores desafíos del mundo contemporáneo. No es para menos ya que alrededor de 870 millones de personas, 12,5% de la población mundial, padecieron de subnutrición durante el periodo 2010 – 2012 (FAO, 2012: 8). Revertir la situación sería posible si se proyectara una producción de alimentos por encima del crecimiento poblacional (FAO, 2011: 4). Pero, ¿cómo lograrlo si, por el contrario, la superficie agrícola por persona se ha reducido de 0.38 hectáreas en 1970 a 0.23 has en el 2000, tendencia que se mantiene a futuro? (FAO).

Por un lado, a pesar de dicha reducción, la producción alimentaria ha registrado un incremento de más del 40 % en los últimos 50 años; esto se ha logrado en las zonas con agricultura de riego, lo que indica que la intensificación agrícola ha tenido éxito (FAO, 2011: 13), pero, ¿qué hay de aquellos lugares en los que es complicado su intensificación, ya sea por límites geográficos, económicos o sociales? Por otro lado, es una realidad que muchas tierras con potencial agrícola están amenazadas por el crecimiento urbano y el cambio en los usos de suelo: las zonas urbanas albergan ya al 53%¹ de la población mundial, producto de las migraciones desde el campo y del crecimiento natural de la población urbana (PNUMA, 2002). En cuanto a los usos del suelo, actividades tales como la industria, el transporte y el turismo han reemplazado a las actividades primarias, y han asentado sus infraestructuras sobre antiguas parcelas de cultivo. El resultado es la pérdida y abandono de tierras cultivables y la reducción del número de manos para trabajar el campo.

La ampliación de la frontera agrícola permitiría tener una mayor producción de alimentos, pero solo será posible si se localizan los espacios y se los aprovecha de modo eficiente. Por lo general, las zonas pensadas para el desarrollo agrícola son las de un relieve plano, por la facilidad para su mecanización y por la homogeneidad de sus factores climáticos (temperatura, radiación, humedad, vientos, entre otros), lo que ha permitido a los agrónomos formular reglas. No obstante, los modelos cambian al introducirse la variable altitud. La gradiente altitudinal de los ambientes de montaña genera variaciones en las condiciones climáticas cada cierto intervalo espacial, produciendo microclimas. Es así que las reglas encuentran sus excepciones en territorios con relieve heterogéneo, como el de los Andes; por ello, la mayoría de

¹ Cifra tomada del documento “World Development Indicators 2014: Urbanization”, del Banco Mundial. El Grupo del Banco Mundial estimó el porcentaje sobre la base de las “Perspectivas de la urbanización mundial”, de la Organización de las Naciones Unidas.

agrónomos y planificadores modernos del desarrollo agrícola lo han calificado como un territorio “no manejable” (Earls, 2006: 27). Sin embargo, la existencia de sociedades exitosas en el pasado peruano prehispánico demuestra todo lo contrario.

Sociedades como los Tiahuanaco, Huari e Inca acondicionaron la accidentada topografía a lo largo y ancho del territorio andino con la construcción de andenes. Esta tecnología les permitió disponer de plataformas horizontales, en medio de un territorio de pendientes pronunciadas, habilitando superficies para llevar a cabo una actividad agrícola y así satisfacer sus demandas alimentarias. Esta situación podría haber continuado hasta el día de hoy, dado que las estructuras han resistido al paso del tiempo. No obstante, la realidad es la de un paisaje de valles con laderas de fuerte pendiente cubiertas por sistemas de andenería abandonados y derruidos. Si bien algunas comunidades continúan cultivándolos, gran parte de la población rural se ha inclinado por otro tipo de actividades económicas y/o por salir de sus pueblos en busca de mejores oportunidades, dejando de lado la actividad agrícola.

A partir de lo dicho, esta investigación surge con la intención de revalorar e incentivar el reaprovechamiento de los sistemas de andenería al constituir en sí mismos espacios habilitados para la agricultura, así como un recurso productivo y cultural que puede contribuir con el desarrollo del territorio. El incentivo para que los campesinos vuelvan sus miradas hacia esta herencia ancestral es la calidad de sus suelos. La fertilidad natural de sus suelos haría que los campesinos puedan cultivar sin recurrir a sustancias químicas, obteniendo así productos orgánicos y naturales, cuyos mercados globales se encuentran actualmente en expansión². De esta manera, el presente estudio busca evaluar la fertilidad natural de los suelos en andenes en la CC.CC. San Pedro de Laraos, para lo cual se ha decidido comparar las propiedades físicas y químicas de suelos dentro y fuera de andenes y suelos en andenes con diferente estado de conservación y uso.

La presente tesis se desarrolla en nueve capítulos; a continuación, se describirán brevemente. El primer capítulo presenta los elementos base de la investigación, que son la problemática identificada, el objetivo general y los objetivos específicos. Sobre la base de ellos, se planteó la hipótesis que guió la investigación.

² Para el 2001, el crecimiento promedio del mercado de productos orgánicos fue del 25% anual en los últimos diez años. Este crecimiento se atribuye a la concientización sobre los beneficios nutricionales y ambientales de estos productos y, recientemente, al temor de los consumidores por los productos genéticamente modificados y otras amenazas a la salud relacionadas con la producción de alimentos (Arce, “El mercado internacional de productos orgánicos”)

El segundo capítulo presenta la justificación y relevancia de llevar a cabo este estudio. Se resalta dos puntos importantes: la tecnología de los andenes en sí misma, y la producción de conocimientos sobre el estado del suelo.

Para la mejor comprensión del estudio, el tercer capítulo presenta las informaciones que conforman el marco teórico. Se definen conceptos tales como el suelo y fertilidad, y se describen las propiedades edáficas que la determinan. Además, se hace un acercamiento al mundo de los andenes, con una descripción de su estructura, sus funciones y los beneficios al medio, así como un breve recorrido por su historia.

El cuarto capítulo corresponde a la metodología de la investigación. Los métodos utilizados son descritos junto con los procedimientos, haciendo especial énfasis en los aplicados durante el trabajo de laboratorio, que es la etapa de donde se obtendrán los resultados para evaluar la fertilidad de los suelos en los andenes.

Todo trabajo geográfico estudia un territorio, con características, elementos y dinámicas particulares. Por ello, en el quinto capítulo se caracteriza a la localidad de San Pedro de Laraos, el área de estudio, presentando informaciones sobre su dimensión físico-natural y su dimensión humana.

El sexto capítulo describe la situación actual del sistema de andenería en San Pedro de Laraos, que vendrían a ser los resultados de la tesis. Se presentan las informaciones recogidas en campo, las descripciones sobre las zonas muestreadas y los valores del trabajo en laboratorio, con su interpretación y clasificación.

En el séptimo capítulo se hace la interpretación y análisis comparativo de los resultados presentados en el capítulo anterior. La información sobre cada propiedad es comparada al interior y entre zonas, para así demostrar la zona que tiene el suelo con las condiciones físicas y químicas para permitir el desarrollo de los cultivos.

El octavo capítulo presentan las conclusiones del trabajo de investigación. Por último, en el noveno capítulo, se hacen las recomendaciones pertinentes para mejorar la calidad de la información, así como estudios que complementen esta tesis, que además servirá para fomentar la producción de conocimiento en la Edafología.

Terminada la investigación se demuestra que el sistema de andenería es el medio propicio donde hacer agricultura dada la fertilidad física y química encontrada en el suelo de los andenes en descanso. El reaprovechamiento de esta tecnología recupera frontera agrícola, que a su vez contribuye con la generación de empleo, por la significativa mano de obra que demanda la actividad agrícola y el mantenimiento y rehabilitación de andenes. A la par, se alcanzarían niveles de producción de alimento en cantidad y calidad para garantizar la nutrición y seguridad alimentaria en el Perú.

1. EL SISTEMA DE ANDENERÍA: ¿PÉRDIDA IRREMEDIABLE DE UN RECURSO PRODUCTIVO Y CULTURAL?

El territorio peruano se encuentra atravesado por la Cordillera de los Andes – de sur a norte –, el cual le genera un relieve accidentado, pero con diversidad de condiciones físicas. Hace cientos de años, las sociedades andinas prehispánicas acondicionaron las laderas de pendiente pronunciada mediante la construcción de plataformas horizontales escalonadas, conocidas localmente como ‘andenes’³. En su momento, los andenes se convirtieron en soporte importante para la producción de cultivos, con lo que se pudo abastecer la demanda de alimentos de la creciente población e, incluso, disponer de reservas para tiempos adversos (Santillana, 1999; Kendall y Rodríguez, 2009). En la actualidad, 11 regiones del Perú cuentan con sistemas de andenería, ocupando una superficie total de más de 300 mil ha; sin embargo, más de 80 mil ha (24%) de andenes están abandonados y, por ende, en un mal estado de conservación (DESCO, 2012), perdiéndose así superficie agrícola. Entre las consecuencias de dicha situación, el país presenta la siguiente problemática: **las poblaciones del espacio andino rural padecen de desnutrición, sobre todo la población infantil, cuyos índices de desnutrición son del 23.8% a nivel nacional y 40.3% en zonas rurales** (Fuentes, 2010: 6). Lo expuesto está conectado a dos aspectos descritos a continuación.

Por un lado, hay un **desaprovechamiento de suelo fértil y con características favorables** para el desarrollo de la agricultura. Dada la estructura y los materiales de construcción de los andenes, estos conservan temperatura, humedad y oxigenación, creando un ambiente que promueve la actividad microbiológica en el suelo (Santillana, 1999: 83; Kendall y Rodríguez, 2009: 100) lo que, en conjunto, resulta un medio beneficioso para el crecimiento de los cultivos. No obstante, las actuales sociedades andinas no sacan provecho de esta ventaja comparativa, y dejan sin cultivar miles de hectáreas de laderas con sistema de andenería. Algo a añadir es que esta discontinuidad en su uso conlleva al **olvido del saber ancestral**, situación que se evidencia al encontrar campesinos que ya no saben mantener ni construir andenes.

Por otro lado, como se expuso en el II Congreso Internacional de Terrazas (Felipe-Morales y Sabogal, 2014), si bien se han venido desarrollando investigaciones sobre

³La terminología utilizada en otros países y contextos es el de *terrazas* agrícolas. Sin embargo, en el contexto peruano y en los Andes, se hace una distinción entre *andenes* y *terrazas*. El primero se refiere a estructuras construidas con un muro de contención y un perfil horizontal o inclinado de la plataforma. En cambio, el segundo se refiere a una terraza de suelo natural labrada, pero sin una construcción formal. Según la tipología Kendall, existen tres tipos de “andenes” y un tipo de “terrazza” (Kendall, 2009: 27 y 28).

los sistemas de andenería desde diferentes perspectivas, aún existe un **déficit en la generación de información básica, entre ellas, estudios edafológicos**. Si se quiere hacer un buen uso y manejo del suelo, se debe tener conocimiento de su estado, sus procesos internos y la interrelación con los factores del entorno. El hombre antiguo, al co-existir con su medio, aprendió a descifrarlo, con lo que desarrolló técnicas agrícolas que han sido transmitidas generación tras generación. Sin embargo, la naturaleza es dinámica, está en constante cambio, lo que significa que las condiciones en las que vivieron los antiguos pobladores son distintas a las actuales. Entonces, los campesinos que aún cultivan andenes basan su forma de trabajar la tierra sobre los conocimientos heredados, que no están incorrectos, pero ya no tienen los mismos resultados, sobre todo en términos de rendimiento y productividad de cultivos.

1.1 Hipótesis

*Las propiedades físicas y químicas de los suelos difieren según el uso y el estado de conservación de la estructura sobre la que se encuentran: andenes en descanso, andenes abandonados y una ladera sin modificar, **siendo el suelo de los andenes en descanso el que presenta una potencial fertilidad***. Por ello, en la Comunidad Campesina San Pedro de Laraos se debe incentivar la rehabilitación y el reaprovechamiento de su sistema de andenería para el desarrollo de su agricultura.

1.2 Objetivos de la investigación

Objetivo General

Evaluar los parámetros físicos y químicos que determinan la fertilidad del suelo en el sistema de andenería de la CC.CC. San Pedro de Laraos, con la finalidad de revalorar e incentivar el reaprovechamiento de dicha tecnología por parte del campesino andino, y así garantizar la seguridad alimentaria de la población local.

Objetivos Específicos

- Delimitar las zonas a comparar en el sistema de andenería, a partir de la observación y las entrevistas durante el reconocimiento del área, con la finalidad de caracterizar zonas homogéneas.
- Definir el tipo de muestreo de suelo, con la finalidad de recoger muestras representativas que abarquen la variabilidad de las características del sistema de andenería.

- Realizar análisis físicos y químicos para el estudio de la fertilidad del suelo en las tres zonas a comparar.
- Contrastar los resultados de cada parámetro físico y químico que determina la fertilidad del suelo dentro y fuera de los andenes, y de los andenes en diferente estado de uso y conservación, con la finalidad de demostrar la diferencia en la calidad y fertilidad de sus suelos.



2. PUESTA EN VALOR DEL SISTEMA DE ANDENERÍA

Como parte de la historia productiva de las poblaciones que ocuparon los Andes, como un legado cultural, como un símbolo de identidad y religiosidad, como una obra de ingeniería, los sistemas de andenería tienen múltiples aspectos que los hacen destacar, y cuanto más se sabe de este recurso, mayor es la valoración que adquiere. En el caso de la presente investigación, el estudio resalta la fertilidad del suelo en los andenes sobre la base del análisis de sus propiedades físicas y químicas. Con ello, se busca incentivar su uso en el presente y así posicionar al sistema de andenería como una fuente alimentaria y, por qué no, como una fuente de beneficios económicos para la población que habita en los Andes peruanos.

Durante la época Inca principalmente, ellos fueron capaces de abastecer a su creciente población con alimentos y, además, disponer de reservas para los tiempos adversos, ya sea por conflictos con otros pueblos o por las condiciones climáticas extremas. Por ejemplo, a partir de estudios al sistema de andenería en Pisac, región Cusco, se ha determinado que el rendimiento del cultivo de maíz por hectárea podía llegar a ser de 3000 kg; así, cosechando un área de 65,5 has de andenes se obtenían alrededor de 190 ton por campaña agrícola (Santillana, 1999: 90). Hoy en día, tal rendimiento ya no se logra en las tierras elevadas y de mayor pendiente; por consiguiente, gran parte de la población que habita en esas zonas padece de hambre.

Dada la extensión de superficie con andenes que tiene el Perú, que es más de 300 mil ha, el volumen total de producción sería significativo como para que el campo siga con su rol de productor de alimentos para las urbes. Además, los campesinos podrían satisfacer su propia necesidad básica de alimentación y nutrición, aspecto que está dejen de lado, siendo la más perjudicada la población infantil.

El campo es el abastecedor de productos agrícolas del mercado urbano, lo que quiere decir que el cultivo en andenes podría convertirse en una oportunidad para la generación de empleo y fuente de ingresos económicos de la población andina. La remuneración puede elevarse en función de varios aspectos. Por un lado, de emplearse las técnicas agrícolas apropiadas al medio, se evitarían gastos innecesarios en tecnologías modernas y herramientas que a la larga no serán rentables. Por otro lado, si se identifican cultivos claves según las características naturales del territorio y con posibilidad de ser introducidas al mercado nacional, se asegura una producción constante y la existencia de un público comprador. Incluso, puede pensarse en alcanzar mercados internacionales con la venta de cultivos orgánicos, dado el contexto actual en el que la población está tomando conciencia de una alimentación sana.

De esta manera, el campesino vería sus tierras como una inversión que le garantiza su seguridad alimentaria y le retribuye económicamente por la venta al mercado, dinamizando su patrón de consumo y mejorando su calidad de vida en simultáneo. Con ello, se descartaría la opción de migrar en busca de trabajo a las zonas urbanas, reduciéndose el éxodo rural. Pero, para que la actividad agrícola en andenes dé los rendimientos esperados, es necesario tener pleno conocimiento del sustrato base y tener las herramientas para trabajarlo, ambos bajo un enfoque de competitividad.

Entonces, se hace necesario un cuerpo de informaciones a partir del cual tomar las decisiones sobre el manejo y gestión de los sistemas de andenería, el uso adecuado de técnicas, la elección de los cultivos, entre otros. Conocer el estado actual del suelo, sus procesos de formación, las interacciones entre los diversos elementos del entorno, las dinámicas y respuestas frente a factores exógenos, son informaciones que se obtienen a partir de un análisis de suelo. Estas constituyen la base para realizar una planificación agrícola, desarrollando así una *“agricultura basada en el conocimiento”* (Earls, 2006).

Avances de investigación en andenes existen; por ejemplo, los inventarios a nivel nacional de Masson (1982), ONERN (1987) y AGRORURAL (2013), y a nivel de cuenca hidrográfica de Masson (1982) y Cotler (1986) en la Cuenca del Rímac, Chamochoy (1987) en la Cuenca del Lurín, y ONERN (1987) en la Cuenca del Cañete. Otro tema tratado es sobre su uso productivo con Chilón (1988) en San Pedro de Casta, y la erosión de sus suelos por Llerena e Inbar (2000); así como la recuperación de andenes para ampliar la frontera agrícola por Masson et al. (1983) en la subcuenca del Río Santa Eulalia. En cuanto a estudios sobre el suelo de los andenes, son muy pocos los trabajos realizados; entre ellos, Maldonado y Gamarra (1945), quienes realizaron un análisis físico y químico a distintas profundidades de un andén. Sin embargo, sobre la fertilidad del suelo en andenes no existe estudio alguno publicado en revistas científicas. Se dice que el suelo es fértil gracias a la estructura y los materiales de construcción, pero no se ha encontrado estudio alguno que demuestre dicha cualidad. Por ello, esta investigación pretende contribuir con ese vacío de conocimiento, y así explorar un aspecto que, de corroborarse, aumentaría y justificaría su puesta en valor.

3. EL SUELO EN UNA AGRICULTURA DE MONTAÑA

La agricultura es una actividad productiva que implica la aplicación de un conjunto de técnicas y conocimientos para el cultivo, y cuyo recurso base es el suelo. La *agricultura de montaña* es aquella que aprovecha las laderas de los cerros, donde los factores topográficos y climatológicos, que parecían ser los limitantes, son los que la hacen diversa en cultivos. No obstante, aún no se exploran todas sus potencialidades.

A continuación, se explicarán los tres conceptos clave para la comprensión de esta investigación: la *edafología* y el *suelo*, el primero se refiere a la ciencia sobre la que se basa la investigación y el segundo, el objeto de análisis; la *fertilidad* del suelo y las *propiedades* que la determinan, al ser la cualidad analizada; y el *sistema de andenería*, el objeto de interés para poner en valor. La valoración de este recurso cultural y productivo se fundamenta sobre la base de los conocimientos que se han desarrollado de este.

3.1 La Edafología: Ciencia de suelo

Existen dos términos para denominar a la disciplina que estudia el suelo. El más conocido a nivel internacional es el de ***Pedología***, que estudia las características físicas, químicas y biológicas para establecer la génesis y clasificación del suelo, pero sin pensar en posibilidades de uso. En cambio, la ***Edafología*** extiende su alcance hasta el estudio de la influencia del suelo sobre los seres vivos, desde un punto de vista práctico para la obtención de mejores rendimientos en el uso agrícola (Lyttleton y Buckman, 1944, citado por Jaramillo, 2002: vi)

3.1.1 ¿Qué es el Suelo?

Se tienen diferentes ideas para definir el suelo, y el concepto varía en función del contexto y la profesión de quien la formuló. Un agricultor, un geólogo, un geógrafo, entre otros, resaltan diferentes aspectos del suelo al construir su definición, y ello se relaciona con la interacción y uso que le dan.

La Soil Survey Staff⁴ ha elaborado la siguiente definición, que es la más aceptada internacionalmente:

⁴ El Equipo de Investigación de Suelos forma parte del Servicio para la Conservación de Recursos Naturales, del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Ellos son responsables de los estudios sobre el recurso suelo, su clasificación, la elaboración de guías técnicas para el trabajo en campo y laboratorio, entre otros; todo ello con la finalidad de estandarizar conceptos y procedimientos.

“El suelo es un cuerpo natural compuesto de sólidos (minerales y materia orgánica), líquidos y gases que ocurre en la superficie de la tierra, ocupa un espacio y se caracteriza por tener horizontes o capas que se diferencian del material inicial como resultado de las adiciones, pérdidas, traslocaciones y transformaciones de energía y materia” (SSS, citado por Jaramillo, *ibídem*).

Para complementar lo dicho, se agrega que el suelo está involucrado en interacciones dinámicas con la atmósfera, la biósfera y la litósfera, y constituye, según Felipe y Garau (1987) un almacén de sustancias nutritivas para los organismos terrestres y el soporte mecánico para las plantas (Jaramillo, *ídem*: vii). El suelo es presentado como parte de un todo con su entorno, dado que sus características no van a estar en función del propio suelo, sino que son el resultado de las condiciones a su alrededor, y lo que suceda en el suelo va a tener efectos sobre los seres vivos que dependen de él.

3.1.2 Visión sistémica del suelo

Diferentes tendencias han dominado el estudio de los suelos, una de ellas es la visión de suelo como un sistema dinámico. Representantes de la escuela rusa fueron quienes dieron nacimiento al estudio científico del suelo. Lomosofov (1711 – 1765) concebía al suelo como un cuerpo en evolución y no uno estático. Casi un siglo después, la idea sería mejor desarrollada por Dokuchaev (1846 – 1903) quien definió al suelo como un producto complejo, resultado de las interacciones entre cinco factores: el material madre (m), el clima (cl), los macro y microorganismos (o), y la topografía (r), todos actuando durante un periodo de tiempo, o la edad del paisaje (t) (Sala, 1999: 120; Jaramillo, *ídem*: vi). Esta visión sería continuada por sus discípulos a través de la producción de nuevas investigaciones, las cuales serían divulgadas por científicos estadounidenses siguiendo la misma línea de pensamiento.

En la década de los 40 del siglo XX, Hans Jenny fundamentó el concepto de suelo como un sistema dinámico donde se llevaban a cabo múltiples interacciones, y eran los factores de formación los que en acción conjunta determinaban los procesos internos en el suelo (Zavaleta, 1992: 19). Jenny representó al sistema suelo, como producto de los cinco factores pensados por Dokuchaev en forma de una ecuación, a la que agregó la variable “n”, que él considera como otros factores particulares de cada espacio geográfico; por ejemplo, la acción antrópica:

$$[S = f(cl, o, m, r, t, n)]$$

Para la presente investigación, la variable “n” vendría a representar las acciones y actividades antrópicas con efectos sobre el suelo, como la agricultura y la ganadería, junto con las acciones y modificaciones que cada una genera al medio.

3.1.3 Evolución del estudio de la fertilidad del suelo

El estudio del suelo ha pasado por diferentes enfoques, los cuales iban profundizando en sus diversos aspectos. Entre los primeros estudios están los realizados por escritores griegos y romanos como Aristóteles, Teofrasto y Columela, quienes se interesaron por obtener conocimientos sobre suelo en relación al crecimiento de las plantas. En 1563, Bernard de Palissy introduce la visión de suelo como fuente de nutrientes minerales para las plantas (Sala y Batalla, 1996: 119). Esta idea es uno de los primeros acercamientos a la noción de fertilidad, sentando las bases para el desarrollo de futuros estudios.

Con el paso de los años, se hizo mayor énfasis en la relación suelo – vegetación, al cobrar mayor importancia el desarrollo de la agricultura. En los años 50 del siglo XIX, Albrecht D. Thaer sugirió que las plantas asimilaban directamente la materia orgánica en descomposición y los nutrientes minerales del suelo. En la primera década del siglo XX, Ramann introdujo el empleo de métodos químicos para diferenciar los suelos; por su parte, Gedroiz introdujo el concepto de intercambio de cationes, mientras que Williams explicó que el aumento progresivo de la fertilidad en los suelos era resultado del fitociclo, que es la extracción y regreso de los nutrientes a la superficie por medio de la hojarasca y tejido de raíces muertas (Sala y Batalla, 1996: 120). Cada nueva idea que iba surgiendo, complementaba y enriquecía los estudios para conocer la fertilidad del suelo. No solo eran aportes teóricos, sino también en cuanto a métodos y técnicas de análisis.

Cabe resaltar que, en la actualidad, los análisis químicos de suelos y plantas para determinar y monitorear la fertilidad, así como para determinar los requerimientos de los cultivos, está en una tendencia decreciente en cuanto a su aplicación. Ello se debe a la insuficiente calibración de los métodos analíticos y a la limitada representatividad del análisis de una muestra, pues la generalización para un área extensa, ignora la variabilidad espacial y temporal de ciertas características. En su lugar, se están generando modelos matemáticos que permiten la predicción del estado espacial y temporal de los nutrientes (Crespo, 2004). No obstante, más que un reemplazo, los análisis químicos y la generación de modelos matemáticos deben ser instrumentos complementarios, de tal manera que se conviertan en un soporte para la toma de decisiones y planificación del uso productivo del suelo.

3.2 La Fertilidad: Calidad para el desarrollo de los cultivos

El estudio de los suelo puede estar destinado a la aplicación práctica de los conocimientos adquiridos, y se dirige a la evaluación de su calidad y sus usos potenciales (Sala y Batalla, 1997: 130), entre estos está el estudio de la fertilidad.

3.2.1 ¿Qué se entiende por Fertilidad?

La fertilidad es la calidad con la que cuenta el suelo para el abastecimiento de nutrientes en cantidades apropiadas y en un balance adecuado que permita el desarrollo de la vegetación, así como la relación adecuada de los sólidos, aire y agua para su crecimiento (Zavaleta, 1992: 17; 61). Está determinada por dos conjuntos de factores: naturales y Técnicos.

Dentro de los *factores naturales* se consideran a las condiciones climáticas del medio (insolación, temperatura, vientos y su intensidad, precipitaciones, etc.); y a las características edáficas inherentes del suelo, centro de la presente investigación. Los *factores técnicos* involucran aquellos aspectos sobre los que el hombre tiene acción; por ejemplo, la instalación de un sistema de irrigación y de drenaje, el sistema de labranza y cultivo, mejora del suelo a través de agroquímicos, la protección frente a las heladas, entre otros (Gallegos, 1997: 12).

3.2.2 Las propiedades edáficas determinantes para la fertilidad

La calidad fértil del suelo es resultado de la interacción entre sus propiedades edáficas, las cuales se clasifican en tres tipos: físicas, químicas y biológicas. La presente investigación solo aborda las propiedades físicas y químicas.

3.2.2.1 Propiedades físicas

Estas se reflejan en el comportamiento mecánico del suelo y son expresión del balance existente entre los componentes del suelo: las partículas, el contenido de agua y de aire (Zavaleta, 1992: 61). Entre las más determinantes están:

Textura: Se refiere a la proporción relativa en que se encuentran las clases de partículas con diámetro menor a 2 mm⁵ en un volumen de suelo dado. Se reconocen tres clases principales de partículas⁶ (Tabla I).

⁵ Los fragmentos minerales del suelo se subdividen en dos fracciones: la de tierra fina (< 2 mm) y la de fragmentos rocosos (> 2 mm).

⁶ Se ha tomado como referencia el sistema del USDA al ser el más aceptado en el medio.

Tabla I: Descripción de las principales clases de partículas del suelo (USDA simple)

PARTÍCULA	DIÁMETRO	DESCRIPCIÓN
Arena	2,00 – 0,05 mm	Sus partículas individuales son observables a simple vista. Por su gran tamaño y forma irregular, el contacto entre partículas de arena es limitado, lo que dificulta la formación de agregados estables en el suelo.
Limo	0,05 – 0,002 mm	Su tamaño hace que sean observables al microscopio. Por la combinación de su área superficial y el tamaño de sus poros, esta partícula tiene la más alta capacidad retentiva de agua disponible.
Arcilla	<0,0002 mm	Son observables solo a través de microscopios electrónicos. Cuando se humedecen, forman agregados que al secarse son bastante duros. El grado de cohesión y adhesión varía según la clase de arcilla; cuanto más fina, más duro el terrón que se forma.

Fuente: Zavaleta, 1992: 65 – 66; Porta, 2003: 95.

Según sus porcentajes relativos de arena, limo y arcilla, los suelos se han agrupado en **12 clases texturales** (SSDS, 1993: 63); cada clase presenta un suelo con comportamiento físico, químico y mecánico distinto. Así, la proporción de las partículas tiene efecto en diferentes aspectos del suelo como su capacidad de aireación, permeabilidad, retención de humedad, retención y liberación de iones, disponibilidad de nutrientes y sensibilidad a la erosión (Birkeland, 1974; Dregne, 1976; Steila, 1976, citados por Gallegos, 1997: 28; Jaramillo, 2002: 165 – 166).

Un suelo se considera arenoso o de textura gruesa a partir de 44 % de arena, y su característica es presentar una elevada infiltración de agua; por ende, una escasa capacidad de retención hídrica. Un suelo es arcilloso o de textura fina con tan solo 20 % de arcilla, y se caracteriza por retener gran cantidad de agua, pero que al secarse forma una capa dura e impermeable, que impide una adecuada infiltración. Entre ambos extremos está el suelo franco o de textura media, considerada la textura ideal, sobre todo para tierras de cultivo; esta textura se refiere a un suelo donde las tres fracciones están en equilibrio, con un 40–45 % de arena, un 30–35 % de limo y un 25 % de arcilla (Jaramillo, 2002: 171; Duchaufour, 2001, citado por Porta, 2003: 98).

Las clases texturales están representadas en el **triángulo textural** (Figura 1). La nomenclatura es la establecida por el USDA (SSDS, 1993), y el orden de los términos refleja la fracción o las fracciones predominantes en el suelo (Sánchez, 2007: 2). Los porcentajes de las tres partículas se determinan en laboratorio a través del análisis granulométrico, el cual consiste en un proceso de segregación de las tres fracciones principales (Porta, 2003: 100). Los valores obtenidos se ubican en el eje de la fracción

correspondiente en el triángulo textural, y se proyectan según las líneas guías al interior. La clase en la que queda comprendido el punto de intersección de las tres líneas es la clase textural del suelo analizado (Jaramillo, 2002: 170).

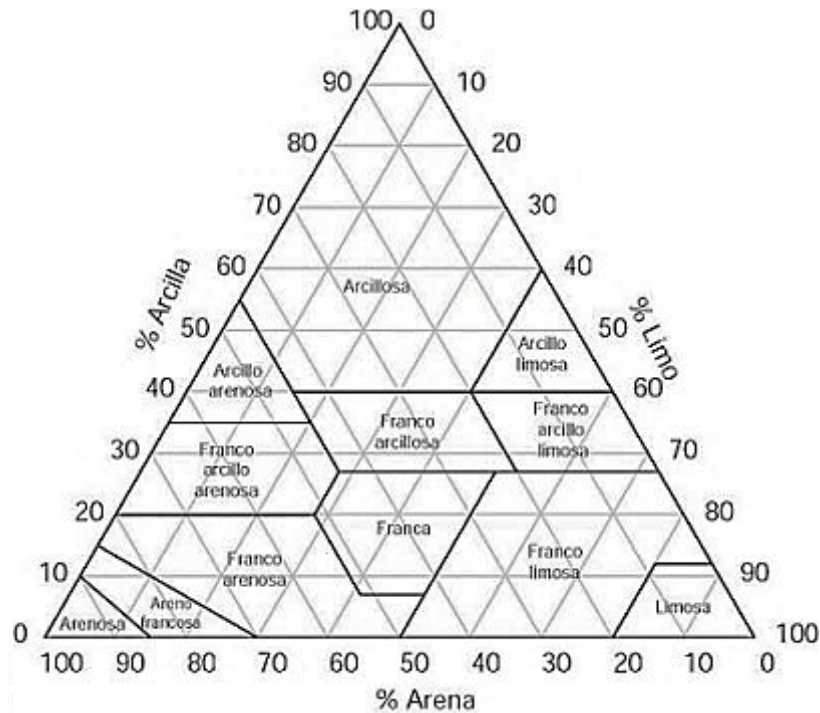


Figura 1: Triángulo de las clases texturales según las proporciones de arena, limo y arcilla en el suelo.

Fuente: SSDS, 1993. Nomenclatura en español según Zavaleta, 1992.

Densidad aparente (D.A.): La densidad de un cuerpo se define como la masa por unidad de volumen. El suelo, por ser un material poroso, presenta dos densidades: densidad real y densidad aparente.

La *densidad real* (D.R.) es la densidad media solo de las partículas del suelo (fase sólida). Su valor es estable y varía entre 2,6 a 2,7 g/cm³ para todos los suelos, ya que en la mayoría su composición mineral es constante (MINAGRI, 2011: 10). En cambio, la *densidad aparente* (D.A.) considera tanto la masa de la fase sólida como su forma de organización; esto es el volumen ocupado por los poros (Jaramillo, 2002: 183). Por ello, su valor es variable y va a depender de la soltura del suelo, así como de la textura, el contenido de materia orgánica y la estructura del suelo. Las fórmulas que expresan ambas densidades son las siguientes (MINAG, *ídem*: 11):

$$D.R = \frac{Ms}{Vs}$$

$$D.A = \frac{Ms}{Vt}$$

donde:

Ms = masa de sólidos

Vs = volumen de sólidos

Vt = volumen total

Un suelo de condiciones porosas presenta valores de D.A. por debajo de 1,3 g/cm³. Según la clase textural del suelo, se ha estimado un rango de D.A. ideal (Tabla II).

Tabla II: Clases texturales del suelo (USDA) y su densidad aparente ideal (g/cm³)

CLASE TEXTURAL	D.A. (g/cm ³)
Arenosa	1,60 – 1,70
Areno francosa	1,55 – 1,70
Franco arenoso	1,50 – 1,60
Franco	1,45 – 1,55
Franco limoso	1,45 – 1,55
Limoso	1,40 – 1,50
Franco arcillo arenosa	1,45 – 1,55
Franco arcillosa	1,40 – 1,50
Franco arcillo limosa	1,45 – 1,55
Arcillo arenosa	1,35 – 1,45
Arcilla limosa	1,40 – 1,50
Arcilla	1,25 – 1,45

Fuente: Adaptado de USDA, "General Guide for Estimating Moist Bulk Density"

Según el valor de D.A., se puede estimar el grado de compactación de un suelo, cuya relación es directamente proporcional. Un suelo recién preparado para el periodo de siembra tendrá valores más bajos de D.A.; mientras que el mismo suelo, pero en tiempo de cosechas, presentará valores más altos. Presentar valores muy altos es indicador de un ambiente pobre para el crecimiento de raíces, con muy poca aireación y con escasa capacidad de infiltración del agua por el fuerte grado de compactación que tiene (FAO, 2009: 51 y 52).

3.2.2.2 Propiedades químicas

Estas propiedades participan en el aporte de los nutrientes en el suelo.

Potencial de hidrógeno (pH): Se refiere al grado de acidez, neutralidad o alcalinidad del suelo, dado por la proporción de iones de hidrógeno (H⁺) y de oxidrilos (OH⁻). Químicamente, se define como el logaritmo del inverso de la actividad de iones de hidrógeno (H⁺), bajo la forma de hidronio (H₃O⁺), presentes en la solución suelo; se expresa mediante la siguiente fórmula (Jaramillo, 2002: 346):

$$pH = \log \frac{1}{H_3O^+} = -\log H_3O^+$$

El pH revela la concentración de iones H^+ y OH^- . Cuando hay mayor presencia de H^+ , la reacción del suelo es ácida, con pH menor a 7; mientras que con mayor presencia de OH^- , la reacción es alcalina, con pH mayor a 7; si la concentración de ambos iones está en proporciones iguales, la reacción es neutra, y el pH es igual a 7 (Liu, 2012: 1). La escala del pH va de 0 a 14 a 25 °C; no obstante, el rango de pH en los suelos en condiciones naturales no alcanza los valores extremos, sino que varía entre 3.5 a 9.0 (MINAG, 2011: 15).

El sistema USDA ha propuesto la siguiente clasificación para los valores de pH determinados en una solución extracto de suelo, cuya relación suelo:agua está en proporción 1:1 (Tabla III).

Tabla III: Calificación del pH del suelo (USDA)

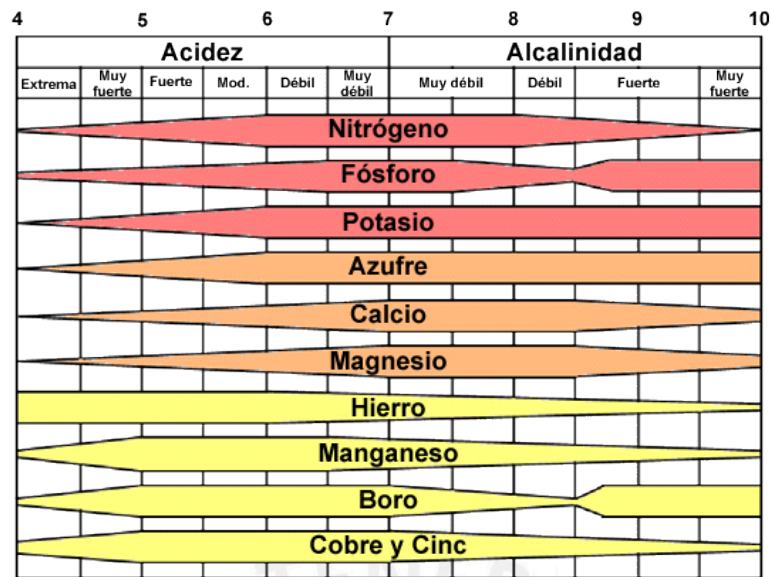
VALOR	CLASIFICACIÓN
<3.5	Ultra ácido
3.5 – 4.4	Extremadamente ácido
4.5. – 5.0	Muy fuertemente ácido
5.1 – 5.5	Fuertemente ácido
5.6 – 6.0	Moderadamente ácido
6.1 – 6.5	Ligeramente ácido
6.6 – 7.3	Neutro
7.4 – 7.8	Ligeramente alcalino
7.9 – 8.4	Moderadamente alcalino
8.5 – 9.0	Fuertemente alcalino
>9.0	Muy fuertemente alcalino

Fuente: Jaramillo, 2002: 352.

El pH del suelo es una característica primordial en las propiedades químicas, al gobernar muchos de los procesos químicos (Liu y Hanlon, 2012: 1). Específicamente, el pH controla la disponibilidad de los nutrientes; e, indirectamente, el pH tiene influencia sobre los procesos biológicos y la actividad microbiana (MINAG 2011: 15).

La mayoría de los cultivos se desarrollan adecuadamente en un suelo con pH entre 5,5 y 7,0, al estar disponibles muchos de los nutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas (MINAG, *ibídem*; Liu y Hanlon, *ibídem*).

En función de la tendencia ácida o alcalina se tiene una idea de los iones presentes en el suelo. En suelos ácidos, se encuentran Al^{+3} , Fe^{+3} y Mn^{+4} , mientras que en suelos alcalinos (*Figura 2*), Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ y K^+ ; la acidez o alcalinidad está relacionada con las condiciones de pluviometría.



Fuente: MINAG, 2011: 16

Figura 2: pH y disponibilidad de nutrientes

Conductividad eléctrica (C.E.): Mide la habilidad de la solución suelo para transportar la corriente eléctrica. Los cationes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , y NH_4^+) y aniones (SO_4^{2-} , Cl^- , y HCO_3^-), que resultaron de las sales disueltas en el agua del suelo, son los que transportan las cargas eléctricas y conducen la corriente eléctrica. En consecuencia, la concentración de los iones mencionados determina la C.E. del suelo, lo cual, en la agricultura, se lo utiliza como la medida de salinidad del suelo (USDA, 2011). La presencia de estas sales puede interferir en la capacidad de intercambio de iones, resultando en una deficiencia nutricional para el crecimiento de las plantas; por ello, lo mejor es tener un suelo con baja cantidad de sales.

El sistema USDA ha propuesto la siguiente clasificación para la C.E. determinada en una solución extracto de suelo a 25 °C, cuya relación suelo:agua está en proporción 1:1 (Tabla IV). Los valores son expresados en deciSiemens por metro (dS/m). Un suelo se considera salino a partir de 2dS/m.

Tabla IV: Clase de salinidad en función de la C.E. del suelo (USDA)

C.E. (dS/m)	CALIFICACIÓN
0 – 2	No salino
2 – 4	Muy ligeramente salino
4 – 8	Ligeramente salino
8 – 16	Moderadamente salino
>16	Fuertemente salino

Fuente: Adaptado de USDA, "Soil Quality Indicator – Soil Electrical Conductivity".

Contenido de macronutrientes: Las plantas necesitan de un conjunto de nutrientes para su desarrollo. Existen elementos que son requeridos en grandes cantidades, sobre los 500 ppm, llamados *macronutrientes*; mientras que otros son requeridos en menor cantidad, usualmente menos de 50 ppm, llamados *micronutrientes*. Son tres macronutrientes principales que determinan la fertilidad del suelo (COSUDE, 2006: 3; Zavaleta, 1992):

- **Nitrógeno (N):** Promueve el desarrollo de las hojas y el crecimiento de brotes. Se presenta en el protoplasma celular y constituye las proteínas, clorofila, nucleótidos, alcaloides, enzimas, hormonas y vitaminas. Asimismo, el nitrógeno es alimento de los microorganismos del suelo, lo que favorece a la descomposición de la materia orgánica por un proceso de desnitrificación. El N puede ser asimilado por las plantas solo en su forma aniónica de nitrato (NO_3^-) y catiónica de amonio (NH_4^+) (Perdomo, 1998: 2; FAO, 2014).

Tabla V: Tabla de interpretación de análisis de nitrógeno total (%)

CALIFICACIÓN	N (%)
Extremadamente pobre	<0,032
Pobre	0,032 – 0,063
Medianamente pobre	0,064 – 0,095
Medio	0,096 – 0,126
Medianamente rico	0,127 – 0,158
Rico	0,159 – 0,221
Extremadamente rico	>0,221

Fuente: Moreno, 1978; citado por Fernández, 2006: 40

- **Fósforo (P):** Contribuye a la formación de las raíces, frutos y semillas, y a la floración. Es constituyente de la célula viva, nucleótidos, lecitinas y enzimas. Este elemento participa en las transferencias de energía. El P existe en la solución del suelo como ion ortofosfato: H_2PO_4^- en condiciones ácidas, y HPO_4^{2-} en condiciones alcalinas (Busman, 2002). Las formas disponibles para las plantas representan solo una pequeña fracción del P total contenido en la solución del suelo (Rojas, 2006: 24).
- **Potasio (K):** Favorece la resistencia de la planta frente a las enfermedades y eventos climáticos extremos, como son la sequía y las heladas. Participa en la fotosíntesis, en la síntesis de las proteínas y en la activación de las enzimas; incluso, mejora la calidad del fruto. El contenido total de K en el suelo a exceder los 20 000 ppm, pero gran parte se encuentra como componente estructural de los suelos minerales, no siendo asimilables por

las plantas. El K disponible es el que se encuentra disuelto en la solución del suelo, y en los sitios de intercambio en la superficie de las partículas de arcilla (Rehm, 2002).

Tabla VI: Tabla de interpretación de análisis de fósforo y potasio disponibles (ppm)

CALIFICACIÓN	P (ppm)	K (ppm)
Bajo	<7	<100
Medio	7 – 14	100 – 200
Alto	>14	>200

Fuente: UNALM – LASPAF

Los tres elementos mencionados constituyen la composición del abono natural; de haber déficit en alguno de ellos o en porcentajes bajos, el suelo ya no puede ser considerado como fértil desde el punto de vista químico (Tabla V y Tabla VI).

Materia orgánica (M.O.): Son todos los residuos de origen animal y vegetal descompuestos por los microorganismos del suelo. Su contenido es variable y está condicionado principalmente por el clima, la fisiografía del medio local y el sistema de manejo (Zavaleta, 1992: 132). Las propias plantas son una fuente principal de materia orgánica, y su calidad y cantidad están en función del tipo de vegetación. La presencia de ella se mide en porcentaje, y constituye un almacén de energía y de alimento disponible para las plantas y otros organismos, así como una fuente de formación de los coloides orgánicos (humus) que se acumulan en el suelo (Jaramillo, 2002).

Cada una de las propiedades mencionadas tiene un aporte importante para la fertilidad. Sus actuaciones no son independientes; por el contrario, actúan en armónica interrelación, de forma que suministran las condiciones óptimas para el asentamiento y crecimiento de las plantas (MINAG, 2011: 6).

3.3 El sistema de andenería: Un acondicionamiento de laderas

En los valles andinos del Perú, uno encuentra un paisaje rural dominado por laderas empinadas cubiertas por plataformas desde su base hasta muy cerca a la cima, una zona impensable de acceder y de hacerla productiva.

3.3.1 ¿Qué son los Andenes?

Los andenes, también conocidos como “pata-pata” en quechua (Tauro del Pino, 1966; citado por Cotler, 1986: 9) o “takuana” en aymara (Valcárcel, 1937; citado por Cotler, 1986: 9), son una tecnología propia del medio andino, resultado de la observación y

coexistencia del hombre antiguo con su espacio. Estos son plataformas continuas, construidas de forma escalonada en las laderas de cerros con pendientes entre 4 a 60% (Blossiers, 200: 199) (Figura 3).

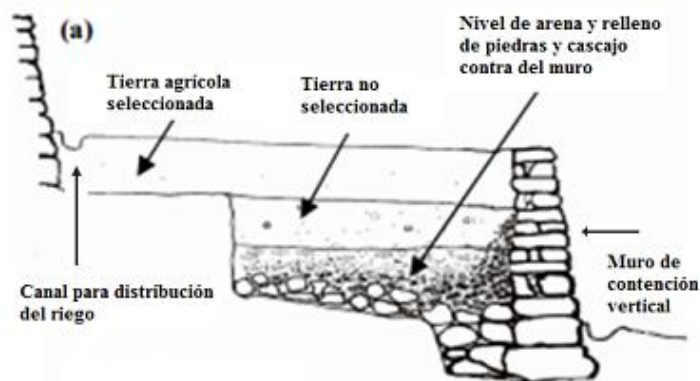


Fuente propia, diciembre de 2013

Figura 3: El sistema de andenería del sitio arqueológico Wiñayhuayna, Cusco

A continuación, se presenta una descripción de la estructura de los andenes y su representación gráfica (Figura 4):

Tienen una longitud que oscila entre los 4 y 100 m, por un ancho que va desde 1,5 a 20 m; la terraza se encuentra sostenida normalmente por tres muros de piedra, de los cuales el de mayor longitud tiene la sinuosidad de la curva de nivel de la ladera, y los otros dos, en los extremos del andén, van paralelos con la máxima pendiente adyacente a la acequia y el camino empedrado, o sólo a la acequia. Los muros miden normalmente entre 0,5 y 2 m de altura llegando ocasionalmente a 3 m. La estructura interna del andén consta de tres estratos, donde la capa del fondo es de piedras grandes, seguido de una capa intermedia de ripio o gravas y una capa superficial de hasta 0,7 m de tierra agrícola, que a veces es transportado de otro lugar. La estratificación por capas de tamaños diferentes permite un mejor drenaje y una mayor estabilidad a la plataforma, disminuyendo así las fuerzas sobre el muro (Blossiers, 2000: 199).



Fuente: Kendall y Rodríguez, 2009: 85

Figura 4: Perfil de la estructura de un andén

La construcción de andenes constituyó una técnica ancestral con la que se pudo superar las dificultades que representaba el aprovechar un espacio montañoso y abrupto para generar el recurso suelo. Se sacó ventaja de la gradiente altitudinal construyendo andenes cubriendo diversos pisos altitudinales, de esta manera pudieron obtener una diversificación de cultivos en tiempo y espacio (Cotler, 1986: 9).

3.3.2 Contribuciones de los andenes en el medio andino

Con los sistemas de andenería, las sociedades andinas prehispánicas lograron la ampliación de su área agrícola, al obtener una superficie plana y suelo mejorado, comparado con aquella tierra de las laderas sin modificar. Asimismo, pudieron hacer un uso racional y eficiente del recurso agua, con la implementación de los canales de irrigación, un elemento clave asociado a la estructura del andén (Kendall, 2001; 2009).

La combinación de ambos factores, más la disminución de la erosión del suelo superficial, hizo posible un cultivo extensivo y no rotativo, lo que duplicó la producción (Kendall, 2008: 12). De esta manera, se obtuvo un mayor volumen de cosechas excedentarias que garantizaba satisfacer la necesidad de alimentación y abrir nuevas posibilidades de vida sustentable (Santillana, 1999: 77 – 80; Kendall y Rodríguez, 2009: 57). Este aumento en las cosechas puede corroborarse hasta el día de hoy. Estudios realizados por PRONAMACHCS (1987) reportan que cultivos como “la papa, maíz, trigo, cebolla y rabanito cultivados en andenes frente a una parcela testigo, usando sólo abono orgánico, presentan un incremento de producción del 142,1 % para la papa, 13% para el maíz, 53% para el trigo, 57% para la cebolla y 199% para el rabanito” (Blossiers, 2000: 211).

El aumento de la producción se asocia a la mejora en la fertilidad de los suelos, ello por medio del traslado de suelos con buenos nutrientes a la plataforma de los andenes y el empleo de abono natural, para mantener este estado fértil (Santillana, 1999: 80). Además, el propio material de construcción contribuía a tener las condiciones de humedad y temperatura ideales para promover la actividad microbiológica (Kendall y Rodríguez, 2009: 100). Por un lado, el contenido de agua en la estructura se regulaba de forma natural; el agua drenaba a través de los rellenos y de unos canalillos contruidos verticalmente en el talud o, en todo caso el muro mismo presentaba fisuras naturales entre piedras que servían para el drenaje así como para la oxigenación del suelo (Santillana, 1999: 83). Por otro lado, en cuanto a la temperatura, los andenes cumplían la función de un controlador micro-climático. Durante el día, el muro de piedras absorbía y almacenaba el calor del sol, para luego irradiarlo por la

noche, desviando los vientos y abrigando así los sembríos; este proceso contribuía a mitigar las heladas (Santillana, *ibídem*; Kendall, 2009: 99).

Otro aspecto a resaltar es que la construcción en las laderas de los cerros permitió su estabilización y la reducción de la velocidad de las escorrentías del agua superficial (Blossiers, 2000: 199). De esta manera se evitaban los riegos de deslizamiento y de flujo de materiales, fenómenos naturales tan comunes en los Andes.

Además de mejorar la actividad agrícola, esta tecnología ancestral tenía la intención de comunicar sentimientos con relación a la percepción y observación de la belleza del medio. Hay quienes dicen que los andenes son la expresión estética de la agricultura (Santillana, 1999: 96). Ello puede estar relacionado a la religiosidad, tan presente en el mundo andino. Muchos sectores de los sistemas de andenería estaban destinados a usos ceremoniales; incluso, algunos eran considerados andenes de culto. Los andenes son una modificación en el medio, convirtiendo un ambiente natural en uno cultural. El empleo de la roca nativa y el diseño de las plataformas que siguen la silueta de las curvas de nivel hace que las construcciones se mimeticen con la naturaleza, de esta forma se mantiene una armonía con el paisaje andino.

3.3.3 Pasado, Presente y Futuro: Perspectivas de uso

Kendall (2009) sugiere que en el Horizonte Temprano (c. 800 – 200 a.C.) con el desarrollo de la cultura Chavín en Huaraz, sierra de la región Ancash, aparecieron los pequeños precursores de andenería agrícola para extender una agricultura de secano sobre las laderas de pendientes pronunciadas. Es hacia 200 a.C., que el desarrollo de esta tecnología comenzó a cobrar importancia. A partir de 600 d.C., la cultura Huari diseminó la construcción de los sistemas de andenería, adoptándola como la política agraria y administrativa sobre la que apoyó su desarrollo. En el Horizonte Tardío, los Incas (c.a 1440 d.C.) aumentaron aún más la superficie andenada mediante la apropiación y rehabilitación de los andenes ya existentes del Horizonte Medio e Intermedio Tardío. No solo eso, los Incas revolucionaron el modelo del andén para hacerlo más eficiente, “al diseñar una forma más estable con un muro inclinado y diferentes capas de suelo, escogidos a efectos de retener la humedad del suelo y un buen drenaje” (Kendall y Oueden, 2008: 7).

El empleo de los andenes marcó un quiebre en las sociedades tradicionales, distinguiéndose dos tipos: las sociedades tradicionales no estatales, que se preocupaban por aumentar su posesión de tierras agrícolas por medio de la ocupación de nuevas tierras; y las estatales, que tenían como estrategia la innovación de

tecnologías para expandir su frontera agrícola (Santillana, 1999: 80), siendo el mejor ejemplo de este tipo los Incas. La expansión de la infraestructura agrícola fue uno de los proyectos de desarrollo más importantes; incrementaron la capacidad de los andenes para acrecentar su productividad, y así sustentar a su población e incrementar la producción local (Kendall y Rodríguez, 2009).

La agricultura era de suma importancia para los Incas; por ello, gran parte de su organización político – administrativa giraba en torno a ella. El Estado Inca hizo del cultivo en andenes un trabajo cotidiano, cuyo uso estratégico garantizaba la seguridad alimentaria para su creciente población. Justamente, para su construcción era necesario un gran contingente de mano de obra, tanto calificada como no calificada. La administración de la energía humana se hizo a través de la *mitta* o *mit'a*⁷, que eran grupos de trabajo por periodos rotativos, quienes debían servir al Estado de manera obligatoria (Pease, 2007: 65; Rostworowski, 1999: 259). La *mitta agraria*⁸ se encargaba de tareas simples, como la extracción de piedras de las canteras, la preparación de argamasa y el propio cultivo en los valles alejados; este grupo debía ser numeroso por la carencia de herramientas. Había otro grupo, compuesto por artesanos y técnicos, considerados como los *especialistas*. Ellos tenían experiencia en el cálculo empírico de las fuerzas intervinientes y de su manejo, a quienes se les encargaba el labrado de las piedras, el asentado, el diseño y los cálculos sobre la resistencia de los materiales, la inclinación de los taludes, entre otros (Santillana, 1999: 83). La construcción de andenes implicaba tener un cuerpo de conocimientos ingenieriles, incluso ecológicos, para la selección del emplazamiento y el tipo de andenes a construirse.

En el mundo Inca existían varios tipos de andenes, que se diferenciaban en forma, diseño, estilo de la mampostería y rasgos tecnológicos, según el uso al que se le iba a destinar. Según Santillana (1999) los tipos son los siguientes: andenes estatales, andenes de culto (del Sol y de las huacas), andenes ceremoniales, andenes de las panacas reales y andenes aldeanos. Earls (1989) menciona otro tipo de andenes identificados a partir de evidencias empíricas, los de experimentación y centro de control agrícola, cuyo ejemplo representativo es Moray (*Figura 5*). En ellos, los Incas

⁷ El término *mitta* o *mit'a* no solo se limita al sistema organizativo del trabajo, sino que conlleva a un concepto filosófico andino de un eterno retorno (Rostworowski, 1999: 260). Por eso, era utilizado para referirse a cualquier acontecimiento cíclico, como las lluvias, la época de cosecha, etc (Murra, citado por Tantaleán Arbulú: 2011: 192).

⁸ También existía la *mitta pesquera*, la *mitta minera* y la *mitta guerrera*. Todo el trabajo en tiempos del Imperio Inca se cumplía como una prestación rotativa (Rostworowski, 1999: 260).

probaban diferentes cultivos para ver el tipo que mejor se adaptaba a determinado piso ecológico, debido a las variaciones microclimáticas⁹ (Santillana, 1999: 93)



Fuente propia, noviembre de 2014

Figura 5: Los andenes de Moray, región Cusco.

En la época colonial, comenzó el declive en el uso de los andenes, debido a varios factores. Por un lado, está la disminución demográfica indígena durante los siglos XVI y XVII por la propia llegada del hombre europeo, quienes trajeron sus animales y sus cultivos, los cuales causaron problemas en la salud del hombre andino (Masson, 1993: 8). Además, está la resistencia andina, con luchas entre españoles y nativos, que resultó en la muerte de muchos indios por la diferencia de armas y tecnologías. Por otro lado, están las medidas impuestas durante la Colonia, sobre todo, durante el periodo del Virrey Francisco de Toledo. La *mita* incaica fue adoptada por el virrey, y adaptada a su contexto sociopolítico, esta fue impuesta como trabajo forzoso a realizarse en las minas (Tantaleán, 2011: 191), actividad de gran importancia por la riqueza mineral del país. Otra de las medidas dadas por el Virrey Toledo fue las Reducciones Indígenas. Las poblaciones nativas fueron reunidas en pueblos planificados a la usanza española, posibilitando tener núcleos concentrados y así poder mantener un mejor control (Tantaleán, *ídem*: 218). La ubicación de estos nuevos pueblos eran los valles interandinos, distanciándolos de sus tierras de cultivo que se encontraban en la partes altas de las montañas. Ambas Reformas Toledanas llevaron a dejar de lado la actividad agrícola, impidiendo la continuidad en el cultivo y mantenimiento de los andenes, lo que a su vez disminuyó la frontera agrícola.

⁹ Para Earls, J. (1979), el complejo de andenería de Moray es un ejemplo del más alto grado de desarrollo de la tecnología Inca, construida conforme a una estructura geométrica que interactúa físicamente con la naturaleza ambiental, de modo que en los escalones se tienen los climas característicos de pisos ecológicos distribuidos naturalmente, sobre unos mil metros verticales, dentro de solo 27 metros verticales de andenes". (Chilón, 1988: 56)

Ya en la época de la República, el desuso de los andenes se acentuó, y así ha continuado con el paso de los años; en los últimos 50 años, el abandono de su cultivo se debe a dos factores: naturales y antrópicos. Por un lado, hay un déficit en la cantidad de agua para el riego, con mayor incidencia en aquellos sistemas de andenería ubicados hacia la vertiente occidental de la Cordillera de los Andes. El aporte de las precipitaciones es escaso, registrando un promedio que rodea los 300 mm/año; asimismo, el aumento de la temperatura global debido al cambio climático ha causado el retroceso glaciar de los nevados por encima de los 5000 msnm, lo que conlleva a una menor oferta de agua superficial en las quebradas, manantiales y reservorios (Taboada, 2011).

Por otro lado, están los factores humanos como el despoblamiento del campo. Desde la década de los 40, se han producido las migraciones del campo a la ciudad de Lima, las cuales se acentuaron con la inestabilidad social causada por el terrorismo durante los 80s. Los primeros migrantes venían en busca de oportunidades de trabajo y de una mejora en su calidad de vida; actualmente, los migrantes son jóvenes, quienes emigran a las ciudades para continuar sus estudios o para vender su fuerza de trabajo no calificada, sabiendo que la remuneración es más alta que en las zonas rurales (Kendall, 2001: 6). En el caso de la población que no abandonó el campo, se ha inclinado por realizar otro tipo de actividades económicas que les retribuyen mayores ingresos económicos a un menor costo y esfuerzo físico.

La consecuencia directa es el olvido de los saberes tradicionales sobre la tecnología misma y su construcción, así como la pérdida de semillas nativas, muestras de la agrobiodiversidad nacional que se ven amenazadas por la introducción de semillas híbridas (Kendall, 2008: 10) y el cambio en la dieta de la población local por influencia de las urbes cercanas. Sin embargo, cabe destacar algo importante y es que, a pesar del abandono y de tener su estructura bastante deteriorada, los sistemas de andenería aún existen. Un claro ejemplo es el sistema de andenería de la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas, que no solo resulta un recurso productivo, sino también uno turístico (*Figura 6*).



Fuente propia, agosto de 2013

Figura 6: El sistema de andenería del distrito de Huancaya, provincia de Yauyos, Reserva Paisajística Nor Yauyos-Cochas.

En palabras de Kendall y Rodríguez (2009: 269):

La sociedad no se ha percatado que los andenes representan un legado cultural y ambiental que pueden ser rescatados para beneficiar a las poblaciones rurales en estado de pobreza, que pueden abrir las puertas a procesos autónomos de desarrollo económico y social, al mismo tiempo que mantienen la función ecológica y medioambiental de los andenes en las cuencas hidrológicas.

En los últimos años ha habido un renovado interés por parte del Estado y de diferentes organizaciones no gubernamentales (ONGs) en el potencial que tienen las terrazas agrícolas (Marapi, 2013: 7). Desde los años 80, se iniciaron las actividades de rehabilitación, tanto por las ONGs como por las instituciones del Estado, siendo el MINAG, a través del PRONAMACHCS, el que ha efectuado el mayor trabajo de reconstrucción (Felipe-Morales, 1996; 2004). Para 1999, el PRONAMACHCS había rehabilitado 9000 ha y construido 3000 ha de andenes en el periodo 1981 y 1998 (Kendall, 2001: 11).

La factibilidad de los proyectos de rehabilitación se basa en la valoración que hace a la cultura andina y en la contribución para el incremento de los ingresos de las poblaciones rurales andinas y al manejo sostenible de los recursos naturales, valorando el sistema agroecológico (Kendall, 2008: 32). Hoy se sabe que estos proyectos beneficiaría a gran parte del territorio andino, al estar estas estructuras presentes en 11 regiones (*Figura 7*): Lima, Arequipa, Moquegua, Tacna, Junín, Huancavelica, Ayacucho, Apurímac, Cusco, Puno y Amazonas, ocupando un total de

más de 300 mil ha, según la última información recogida para AGRORURAL (DESCO, 2012).



Fuente: Masson, 1993: 10

Figura 7: Mapa de la superficie nacional con sistemas de andenería en el Perú

Un ejemplo de rehabilitación es la superficie rehabilitada en las tierras de la CC.CC San Juan de Iris en 1993¹⁰, llevada a cabo por el área de Conservación de suelos de la Agencia Santa Eulalia del PRONAMCHCS (Figura 8). El proyecto tuvo como objetivo concientizar al poblador huarochirano para realizar acciones de conservación y rehabilitación de andenes en su ámbito de trabajo; en esta experiencia participaron 82 campesinos, entre hombres y mujeres, y es que son los campesinos los actores clave del proceso (Taboada, 2011: 4 y 5). Ellos son los beneficiarios directos y está en sus manos el continuar con el cultivo de andenes. El éxito que tuvo el proyecto en San Juan de Iris lo convierte en un área modelo que muestra las ventajas comparativas de

¹⁰La CC.CC San Juan de Iris se encuentra en la parte media de la margen izquierda de la subcuenca Santa Eulalia. El PRONAMACHCS ha elegido a esta zona para realizar la experiencia de rehabilitación de andenes, cuyos objetivos son rescatar del olvido las técnicas de rehabilitación de andenes y poder mejorar la disponibilidad de tierras en las laderas de este valle. Además, se pretendía que sea un antecedente y modelo para futuros proyectos de rehabilitación en otras áreas con legado de andenes.

los andenes para la producción, frente a espacios sin rehabilitar o sin andenes (Taboada, 2011: 21).



Fuente propia, mayo de 2012

Figura 8: Vista del pueblo de San Juan de Iris y su sistema de andenería

3.3.4 Clasificación de los andenes

La clasificación puede darse a partir de distintos criterios; ello en función de lo que se quiere evaluar y la finalidad para la que se evalúa. La ONERN (1989) planteó una clasificación tomando en cuenta los siguientes criterios (Masson, 1993: 11):

- Características que definen y diferencian a los andenes según su estado de conservación (Tabla VII)

Los elementos que iban a ser indicadores del estado de conservación eran la edificación del talud, la estabilidad de la estructura, el nivel de la plataforma y la posibilidad de labranza.

- Forma de uso de los andenes (Tabla VIII)

La agricultura puede ser practicada de forma permanente o por campañas, ello en función del tipo de cultivo, pues hay cultivos que dan fruto a lo largo de todo el año; mientras que otros que una vez cosechados, la tierra debe descansar para recuperar nutrientes.

Contar con una tabla de clasificación posibilita la delimitación de sectores para su cuantificación y su estudio más específico, sin caer en una generalización. Por

ejemplo, las dos tablas anteriores se hicieron con el fin de identificar áreas potenciales para planificar proyectos de rehabilitación.

Tabla VII: Clasificación de los andenes según su estado de conservación

ESTADO DE CONSERVACIÓN	DESCRIPCIÓN
Conservados	El Talud tiene buena edificación. Se mantiene intacto; conserva buena simetría. Plataforma casi a nivel (0 a 1%) y tiene ancho considerable, que permite la labranza y el riego
Medianamente Conservados	El Talud puede estar parcialmente destruido o tener edificación irregular; la plataforma algo desnivelada, o puede presentar dificultades para la labranza (presencia de piedras o grava) o para el riego. Son de diferentes grados de recuperación.
Sin Conservación	El Talud está total o parcialmente destruido; en algunos casos solo mantiene vestigios en forma de hileras de piedra; la plataforma está parcial o completamente desnivelada, en algunos casos está cubierta con fragmentos gruesos (piedras) o con arbustos. Presenta mayores limitaciones para la recuperación.

Fuente: Masson, 1993: 11

Tabla VIII: Clasificación de los andenes según la forma de uso

FORMA DE USO	DESCRIPCIÓN
Con uso permanente	Su aprovechamiento es continuo; es decir, todo el año, lo que resulta favorecido por el clima y la disponibilidad de agua para el riego constante.
Con uso temporal	Su aprovechamiento es por épocas, que pueden ser entre campañas agrícolas (octubre a abril) o períodos más largos (desde dos a cinco años). El factor limitante es el clima y las condiciones de conservación del andén.
Sin uso	Áreas que no se usan, sea por estar destruidas o en algunos casos abandonadas por falta de agua, principalmente.

Fuente: Masson, 1993: 11

4. ACERCAMIENTO METODOLÓGICO

Para el estudio de la fertilidad de los suelos se utilizó la estrategia metodológica aplicada por las ciencias del suelo, las cuales emplean métodos descriptivos, analíticos y cartográficos. Además, se incluyen trabajos en campo y en laboratorio, este último tomado de los procedimientos seguidos por la Química Analítica.

El enfoque de estudio es tanto cuantitativo, pues la naturaleza de los datos es numérica, como cualitativa, porque a partir de estos datos se caracteriza el suelo. La clasificación de los suelos, su estado y calidad se definen a partir de los valores obtenidos en las mediciones en campo y en laboratorio; su recolección se basa en métodos estandarizados. Los resultados obtenidos por cada muestra se generalizan a todo un sector definido como homogéneo.

En cuanto a la forma de abordaje, fue importante definir el campo de la Edafología donde se sitúa la tesis. Un campo es el de la Edafología Descriptiva, que estudia al suelo en sí mismo y sus procesos edáficos. La Edafología Práctica, el otro campo y el elegido, aplica los conocimientos teóricos para evaluar la calidad de los recursos edáficos, su variación espacial y sus usos potenciales. Los métodos de laboratorio cobran gran importancia, porque determinan los parámetros físicos, químicos y biológicos. El análisis de los valores, basado en criterios y normas técnicas validadas, permite conocer el estado, las condiciones y la calidad del suelo, lo que da paso a pensar en las posibilidades de aprovechamiento del recurso suelo

Sentada las bases teóricas sobre la metodología, se planteó el siguiente esquema de trabajo para el desarrollo de la presente investigación (*Figura 9*)

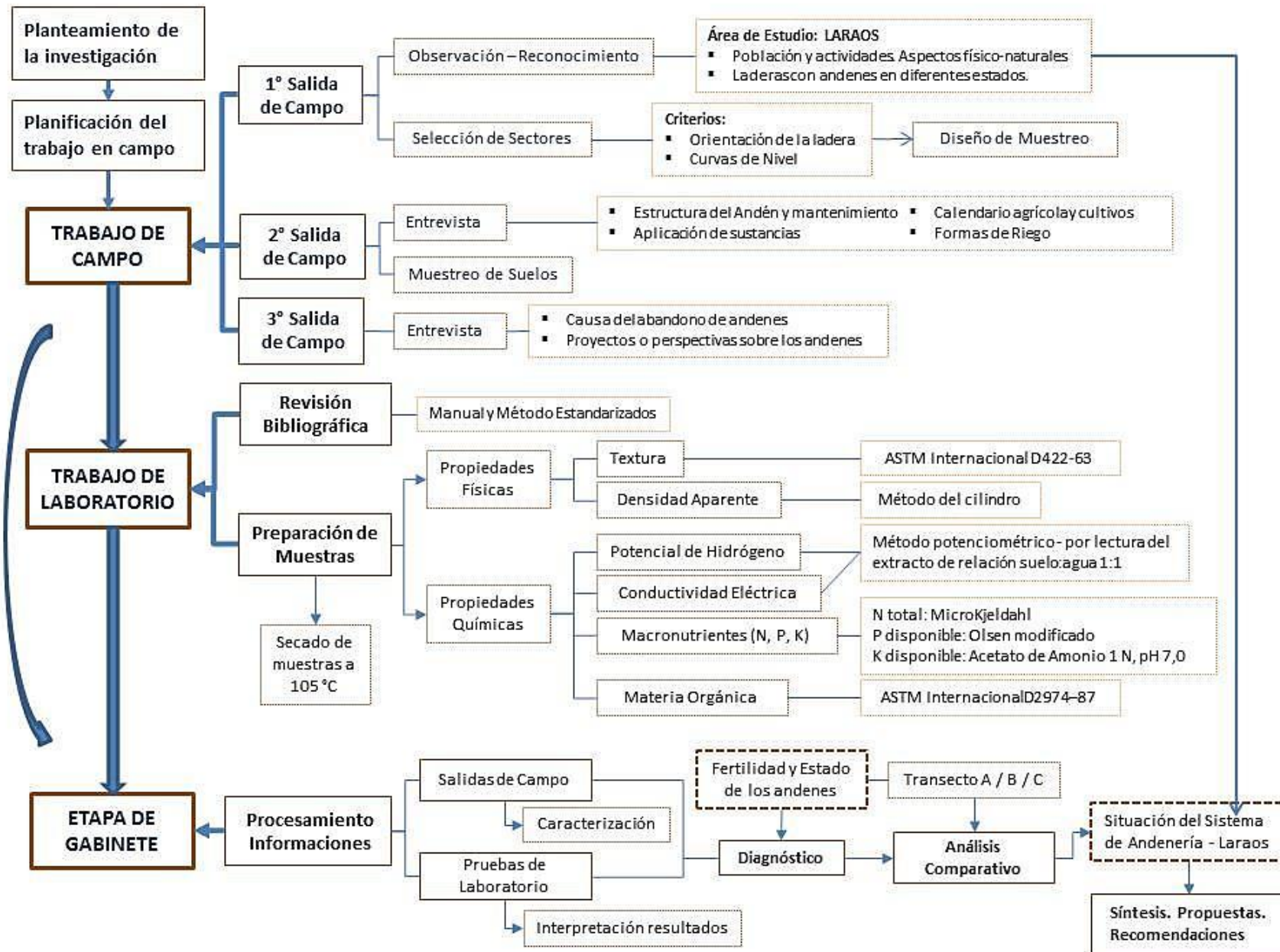


Figura 9: Esquema metodológico para el desarrollo de la investigación

4.1 Trabajo de Campo

Se realizaron tres salidas al pueblo de Laraos (del 8 al 10 de febrero y del 11 al 15 de marzo de 2013, y del 25 - 27 de abril de 2014). Cada visita tuvo su respectivo propósito: 1) el reconocimiento del entorno y selección de las zonas a muestrear, 2) la recolección de las muestras de suelos, y 3) la complementación de la información.

4.1.1 Reconocimiento del área de estudio

Previo a ir al campo, se recopiló información bibliográfica, estadística y cartográfica como material de apoyo que se utilizó, posteriormente, para la descripción del área de estudio. Se identificaron los aspectos básicos como la vegetación, el relieve, el clima y la hidrografía, así como las actividades antrópicas. Sobre la base de este primer acercamiento, se salió a campo ya con un previo conocimiento.

El reconocimiento del área de estudio consistió en la observación de los elementos naturales y de las principales actividades humanas practicadas en el lugar, la agricultura y la ganadería. Asimismo, se visitó el sistema de andenería de la CC.CC. San Pedro de Laraos donde, a partir de la observación y la información dada por la comunidad, se identificaron zonas según su estado de conservación y uso.

Por otro lado, durante las salidas, se pudo comprobar que la población estaba de acuerdo con el desarrollo del estudio. Se entrevistó a los actores identificados como claves, los cuales fueron tres dirigentes de la Municipalidad del Distrito de Laraos y al miembro de la comunidad campesina con mayor experiencia en andenes. Estas entrevistas fueron la herramienta para recoger información específica, profundizando en los siguientes aspectos: estructura de construcción de los andenes, aplicación de sustancias que alteren la composición del suelo, calendario agrícola y cultivos en la zona, y uso y mantenimiento de los andenes.

4.1.2 Recolección de las muestras de suelos

Identificadas las características de los andenes en campo, se delimitaron tres zonas para comparar sus propiedades edáficas. Como ayuda para elaborar el diseño de muestreo, se recurrió a las imágenes satelitales del programa Google Earth Pro 2014, sobre las cuales se ubicaron los puntos de muestreo referenciales para el campo.

El muestreo de suelos es el principal método en un estudio de suelos, y de este depende la fiabilidad de los resultados en las posteriores evaluaciones; por ello, los puntos elegidos deben ser representativos del lugar. La delimitación de las zonas

homogéneas y la selección de los puntos estuvieron en función de las características del sistema de andenes y los objetivos del trabajo (Bubuda, 2004: 9).

El muestreo de la investigación consistió en uno *sistemático*. Se seleccionaron y muestrearon tres zonas: Zona A (TA), andenes con estado regular de conservación y que hasta el 2013 estaban con un periodo de descanso de 5 años; Zona B (TB), andenes abandonados y, en consecuencia, en un mal estado de conservación; y Zona C (TC), ladera que no ha sido acondicionada con andenes. Se cuidó que las tres zonas estuvieran en la misma orientación – sureste – y en similares curvas de nivel; con ello se aseguraba que los suelos muestreados estén influenciados por los mismos factores (incidencia de los rayos solares, tiempo de exposición solar, dirección de los vientos). En cada zona, se hizo un transecto en la gradiente altitudinal, tomando como referencia de inicio el camino de herradura. Se tomaron 5 muestras cuyos puntos corresponden al 10%, 30%, 50%, 70% y 90% de la longitud total de un transecto altitudinal, teniendo así un total de 15 puntos, que se georreferenciaron con el sistema de posicionamiento global (GPS) GARMIN e-TREX Vista (*Figura 10* y *Tabla IX*).

Tabla IX: Ubicación de los puntos de muestreo de suelo en coordenadas UTM

Zona	Punto de muestreo	Coordenadas UTM		Altitud (msnm)
		E	N	
Andenes en descanso (A)	TA-10	331386,27	8709551,78	3565
	TA-30	331302,06	8709400,28	3495
	TA-50	331201,65	8709237,22	3384
	TA-70	331085,32	8709076,04	3320
	TA-90	330998,60	8708977,59	3278
Andenes abandonados (B)	TB-10	330443,74	8709489,57	3621
	TB-30	330414,97	8709439,94	3578
	TB-50	330379,51	8709321,12	3539
	TB-70	330354,76	8709142,57	3465
	TB-90	330268,45	8708952,56	3389
Ladera sin Andenes (C)	TC-10	330988,89	8709601,89	3586
	TC-30	330942,67	8709442,59	3524
	TC-50	330901,52	8709251,92	3445
	TC-70	330835,81	8709173,87	3388
	TC-90	330768,27	8709020,45	3348

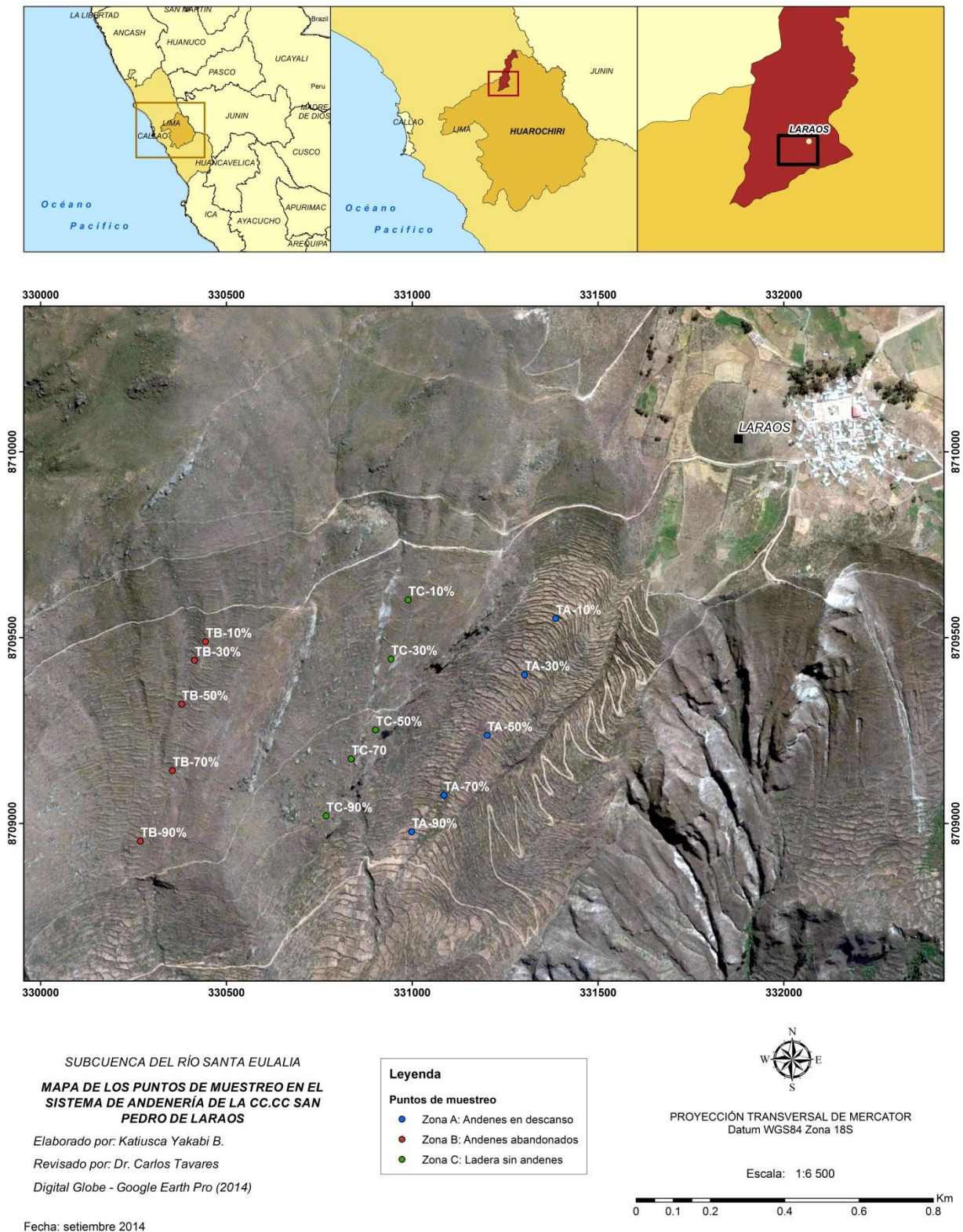


Figura 10: Ubicación de los puntos de muestreo en las zonas A, B y C

La dimensión de la perforación para la toma de muestras fue de 15 cm x 15 cm, con 10 – 15 cm de profundidad, que se excavó con ayuda de palas metálicas; la tierra recolectada debía estar por debajo de la capa superficial (*Figura 11*). La muestra extraída se guardó en bolsas plásticas con cierre hermético, rotuladas con su código.



Área donde se realizará la perforación



Medición del largo y ancho de la perforación



Medición de la profundidad

Figura 11: Dimensiones de la perforación para el muestreo de suelo – punto TA-10

En una de las paredes de la perforación se insertó un cilindro metálico de 170 cm³ (*Figura 12*), el cual se iba presionando manual y cuidadosamente, para evitar su deformación, hasta llenarlo por completo. El cilindro metálico se guardó en una bolsa de polipropileno, y esta en la bolsa hermética rotulada con su código de punto.



Figura 12: Inserción del cilindro de latón en la pared de la perforación para la el cálculo de la D.A.

4.2 Trabajo en Laboratorio

Las muestras de suelo se llevaron al Laboratorio de Química Ambiental de la Sección Química PUCP, donde se las guardó selladas en bolsas plásticas con cierre hermético y dentro de un congelador a -10°C, para conservarlas hasta iniciar con los análisis.

4.2.1 Equipos, instrumentos y reactivos utilizados en el laboratorio

- Vasos de precipitados de 100 mL, 250 mL y 300 mL.
- Balanza digital, marca OHAUS, modelo Adventurer Pro (precisión de 0,1 g)
- Balanza analítica digital calibrada, marca OHAUS, modelo Adventurer™ (máxima capacidad 210 g y precisión de 0,0001 g)
- Estufa Cimatic S.A modelo Memmert. Temperatura 0 – 120 °C
- Tamiz de acero inoxidable, ASTM marca ETI, número 10, diámetro de partícula: 2 mm
- Cuarteador
- Desecador de vidrio
- Sílica gel con indicador de cloruro de cobalto
- Lámina de cierre extensible de plástico biodegradable, Parafilm®
- Hidrómetro – ASTM-152H
- Termómetro de etanol, rango de temperatura de -10 a 65 °C
- Probeta de vidrio de 1000 mL
- Magneto
- Mufla marca Naber Industrieofenbau. Temperatura 0-1000 °C.
- Cocinilla marca Thermo Scientific CIMAREC
- Tubos de ensayo para centrífuga de 30 mL
- Centrífuga marca HETTICH modelo EBA 85
- Filtros de papel cuantitativos – Grado estándar: 125 mm, marca Whatman, Ashless, número 42, diámetro de poro: 20 µm
- Medidor de pH Hanna Instruments HI98128 (pHep®5)
- Conductímetro de marca Ino Lab modelo Cond 730

Para los análisis de pH y textura se utilizaron los reactivos presentados en la Tabla IV:

Tabla X: Reactivos utilizados para los análisis de pH y textura

Nombre	Fórmula Química	Marca	Grado
Buffer pH 4	Ácido cítrico /NaOH/ HCl	Merck	
Buffer pH 7	Na ₂ HPO ₄ /KH ₂ PO ₄	Merck	
Hexametáfosfato de sodio	(NaPO ₃) ₆	Scharlau	99.99%

4.2.2 Preparación de las muestras

Las muestras de suelo fueron preparadas para aplicar los diferentes análisis de laboratorio. Primero se trabajó con la muestra contenida en el cilindro metálico; se dejó contramuestra en el congelador.

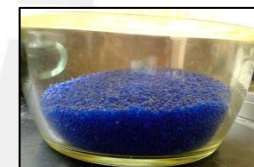
Se extrajo la tierra de los cilindros metálicos con ayuda de una espátula metálica y se colocó en placas petri para secar en la estufa a 105°C por 24 horas. Pasado dicho periodo, se dejaron las placas petri en el desecador para evitar que la tierra adquiera humedad mientras enfriaba hasta la temperatura ambiente. En el desecador se colocó sílica gel con indicador de cloruro de cobalto, que cambia de color azul a rosado con la humedad (*Figura 13*).



Muestras de suelo en placas petri dentro de la estufa a 105 °C



Muestras de suelo secas



Desecador y sílica gel con indicador de cloruro de cobalto

Figura 13: Preparación de las muestras de suelo para los análisis respectivos

Luego, las muestras de suelo se disgregaron y molieron en un mortero con pilón de porcelana hasta obtener partículas finas. Esta muestra se pasó por un tamiz de 2mm, recogiendo la fracción que pasó a través del tamiz; lo que quedó en la malla se pesó para calcular el porcentaje de partículas mayores a 2 mm en la muestra (*Figura 14*).

Por último las muestras tamizadas se colocaron en vasos de precipitados rotulados, cubiertos con Parafilm® para evitar su contaminación, y alejados de la luz solar para evitar su alteración o posible germinación. De esta manera, las muestras de suelo quedaron preparadas para los análisis correspondientes a cada propiedad.



Muestras de suelo seco en vasos de precipitados cubiertos con Parafilm® y rotulados con su código

Muestra para moler en el mortero

Partículas >2mm que no pasaron por el tamiz

Partículas < 2 mm = muestra tamizada a utilizar en los análisis

Figura 14: Procedimiento del tamizado de las muestras de suelo

4.2.3 Técnicas de análisis en el laboratorio

A continuación se describirán las técnicas de análisis físicos y químicos, las cuales fueron seleccionadas de normas y manuales de laboratorio.

4.2.3.1 Determinación de la textura

La textura se determinó a partir de la norma ASTM Internacional D422-63 – *Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils*. Este se fundamenta en la Ley de Stokes, que “establece que la velocidad de sedimentación de las partículas finas [del suelo], en una suspensión, es directamente proporcional a su tamaño” (Jaramillo, 2002: 166). Con el empleo del hidrómetro, se cuantificó la masa de partículas finas en la muestra de suelo a partir del proceso de sedimentación en una suspensión durante un tiempo determinado.

Para realizar este análisis, se comenzó haciendo un cuarteo manual de las muestras para obtener dos submuestras de 50 g. La fracción se conservó en vasos de precipitados de 250 mL cubiertos con Parafilm®. En paralelo, se preparó una de solución de *hexametáfosfato de sodio* (NaPO_3) de 40g/L, para la dispersión de las arcillas. Con este propósito, se disolvió 40 g de NaPO_3 con agua desionizada y, para acelerar el proceso, se empleó un agitador magnético con calentamiento a 80 – 90°C. Esta solución se trasvasó a una fiola para enrasar a un volumen de 1 L. Una vez preparada, a cada submuestra de suelo se le agregó 125 mL de la solución de NaPO_3 , se cubrió el vaso de precipitado con Parafilm® y se dejó reposar por 24 horas.

Adicionalmente, se realizó un *blanco de método* con 125 mL de la solución de hexametáfosfato de sodio 40 g/L como referencia para la calibración del hidrómetro.

Se colocó dicho volumen en una probeta de 1 L y se completó con agua desionizada hasta completar dicho volumen. La lectura del hidrómetro fue de 5 g/L.

Al día siguiente, las partículas que sedimentaron en el fondo del vaso se las resuspendió con ayuda de un magneto, revolviendo la muestra sobre el agitador magnético a 7 – 9 rpm. La mezcla se trasvasó a una probeta de 1000 mL, completando hasta dicho volumen con agua desionizada (*Figura 15*).

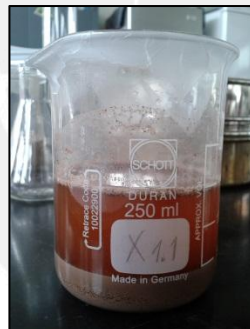
Por último, se cubrió la probeta con Parafilm® para evitar la pérdida de muestra, se agitó de lado a lado hasta homogenizar la suspensión. Apenas se dejó la probeta en mesa, se quitó el Parafilm®, se accionó el cronómetro y se introdujo el hidrómetro cuidadosa y lentamente para realizar las lecturas a los tiempos determinados:

- 1era lectura = 40 segundos, tiempo en que las partículas de arena han sedimentado por completo
- 2da lectura = a las 2 horas, tiempo en que las únicas partículas que quedan en suspensión son las de arcilla y de diámetro menor.

Adicionalmente, se hizo lecturas según los tiempos dichos por la norma: 2; 5; 15; 30 y 60 minutos (Anexo 1).



Preparación de la solución de hexametafosfato de sodio ($\text{Na}_6\text{P}_6\text{O}_{19}$), concentración 40 g/L



Submuestra con 125 mL de solución $\text{Na}_6\text{P}_6\text{O}_{19}$. Partículas sedimentadas luego de 24 horas de reposo



Submuestra sobre el agitador magnético para poner las partículas en suspensión



*Izquierda: Muestra
Derecha: Blanco*

Figura 15: Procedimiento para el análisis de textura

Junto con la lectura del hidrómetro se toma la temperatura de la suspensión en la probeta. Con la temperatura se hace la corrección de la lectura, ya que el hidrómetro está calibrado para una suspensión con temperatura de 20°C.

Adicionalmente, se realizó un *blanco de método* con 125 mL de la solución de hexametáfosfato de sodio 40 g/L. Se colocó dicho volumen en una probeta de 1 L y se completó con agua destilada hasta 1 L. La lectura del hidrómetro fue 5 g/L.

Las fórmulas utilizadas son las siguientes:

- Corrección de la lectura: Por cada 1°C sobre los 20°C se adiciona 0.36.

$$\text{Corrección de Lectura } CL \text{ g/L} = \text{Temperatura } ^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C} * 0.36$$

- Cálculo de los porcentajes de las partículas

$$\text{Arena } A\% = 100 - \left(\left(\frac{\text{Lectura hidrómetro}_{40s} + CL}{50 \text{ g}} \right) - \text{Blanco} \right) * 100$$

$$\text{Arcilla } Ar\% = \left(\left(\frac{\text{Lectura hidrómetro}_{2h} + CL}{50 \text{ g}} \right) - \text{Blanco} \right) * 100$$

$$\text{Limo } L\% = 100 - (A\% + Ar\%)$$

Donde:

40s = 40 segundos

2h = 2 horas

4.2.3.2 Determinación de la densidad aparente

La densidad aparente se determinó con el *método del cilindro* (USDA, 1999; Jaramillo, 2002). El cálculo se basa en la razón entre la diferencia de masa y volumen conocido del cilindro metálico. Para ello, la muestra de suelo contenida en el cilindro se la colocó en una placa Petri, se secó en la estufa a 105 °C por 24 horas, y se pesó en la balanza con precisión de un decimal.

- Peso (a) = Muestra seca a 105 °C + Placa Petri
- Peso (b) = Placa Petri
- a – b = Peso de la Muestra seca a 105 °C (g)

El valor de la densidad aparente de cada muestra se obtuvo con el siguiente cálculo:

$$D.A = \frac{\text{Peso de la muestra seca a } 105^\circ\text{C (g)}}{\text{Volumen de la lata (cm}^3\text{)}} = x \text{ g/cm}^3$$

Cuanto mayor sea el valor de la D.A., menor es el espacio poroso para el movimiento del agua, el crecimiento y penetración de las raíces, y el desarrollo de las plántulas (USDA, 1999: 9).

4.2.3.3 *Determinación del potencial de hidrógeno y conductividad eléctrica*

Tanto el pH como la C.E. fueron determinados por el *método potenciométrico* en una solución extracto de suelo, cuya relación *suelo:agua* está en *proporción 1:1 en masa:volumen*; se utilizaron *80 g de suelo/80 mL de agua*. Con esa relación se obtuvo el volumen de solución suficiente para tomar las lecturas.

La muestra de 80 g se pesó en vasos de precipitados secos y limpios en una balanza con precisión de un decimal. A ello se le agregó 80 mL de agua destilada; la mezcla se agitó con el magneto sobre el agitador magnético por una hora a una frecuencia de 6 – 7 rpm. Luego, la solución se dejó reposar por más de 24 horas para que las partículas sedimentasen, los coloides, eventualmente, coagulasen y solo quede un sobrenadante. Así, se pudo extraer fácilmente el sobrenadante con ayuda de una pipeta pasteur y propipeta; la mezcla se colocó en tubos de ensayo para la centrifuga.

La solución se centrifugó por 10 minutos a 3000 rpm, para que los sólidos insolubles, que pasaron durante el pipeteado, queden adheridos en las paredes; este paso se repitió hasta que la solución quedase completamente traslúcida. Como aún quedaron partículas en suspensión, fue necesario pasar la mezcla por un papel filtro con diámetro de poro de 20 μm , pues los electrodos de ambos instrumentos son sensibles a cualquier partícula sólida. La solución se decantó a un vaso de precipitado de 100 mL para la lectura del pH, y a un tubo de ensayo para la lectura de C.E. (*Figura 16*).

Las muestras se analizaron, realizando un total de tres lecturas por ensayo para cada parámetro, con un intervalo de 30 minutos entre cada lectura. El promedio de los tres datos se consideró como el resultado del pH y C.E.



Agitación de la mezcla a 6 – 7rpm de velocidad.



Mezcla luego del reposo de 24 horas



Extracción del sobrenadante con la pipeta pasteur



Solución del suelos en tubos de ensayo para centrifuga



Sólidos luego de centrifugar a 3000 rpm. Filtrado de la solución Lectura de C.E. con el conductímetro Lectura de pH con el pH-metro

Figura 16: Procedimiento para el análisis de pH y conductividad eléctrica

4.2.3.4 **Determinación del contenido de macronutrientes**

El contenido de los macronutrientes en el suelo se determinó en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes (LASPAF) del Departamento de Suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). Se analizaron 17 muestras en total: 1 muestra por punto, más 1 muestra adicional del punto TA-90%, como muestra **control**, para corroborar la precisión y confiabilidad de los resultados del método.

Para entregarlas al LASPAF, se sacó lo que se había dejado como contramuestra en el congelador y se dejó que temperen al aire libre por 6 días aproximadamente; luego, se pesó entre 150 – 200 g. La cantidad restante de muestra se guardó nuevamente en bolsas herméticas dentro del congelador, para futuras pruebas. A continuación se describen los métodos utilizados por el LASPAF para el análisis de los macronutrientes de interés.

Contenido de nitrógeno total

Para la determinación del nitrógeno total se aplicó el método de microKjeldah, el cual transforma el nitrógeno orgánico contenido en la muestra de suelo en sulfato amónico. La muestra se somete a una digestión en ácido sulfúrico concentrado a ebullición, y en una mezcla de sales que aceleran y facilitan la oxidación de materia orgánica y la conversión de todas las formas de nitrógeno, que en medio ácido se encuentran en forma de radical amonio (NH_4^+). Ello se expone a una base fuerte como la solución de hidróxido de sodio, se forma el hidróxido de amonio y posteriormente, por la acción del calor, se descompone en amoniaco (NH_3) y agua. El amoniaco es recogido en un volumen conocido de solución valorada de ácido bórico (Panreac, 2011; Fernández, 2006: 35 – 40).

Contenido de fósforo disponible

Para su determinación se aplicó el método de Olsen modificado, el cual se basa en el uso de una solución de bicarbonato de sodio (NaHCO_3) 0,5 M a pH 8,5 para disminuir las concentraciones de Ca^{2+} soluble en la solución, a través de la precipitación de carbonato de calcio, y de los iones solubles de Al^{3+} y Fe^{3+} , con la formación de hidróxidos de Al^{3+} y Fe^{3+} (Thomas, 2000); esta disminución favorece la disolución de los fosfatos de calcio. Además, esta solución de extracción remueve el fósforo disuelto y absorbido en la superficie de los carbonatos de calcio y los óxidos de hierro.

Contenido de potasio disponible

Para su determinación se aplicó el método de acetato de amonio 1 N, pH 7,0, el cual “usa una solución normal de acetato de amonio, ajustado a un pH 7,0, para reemplazar los cationes presentes en el complejo de intercambio” (Gilabert de Brito, *et al.*, 1990: 7.1). El potasio (K) es uno de los principales cationes intercambiables; es decir, puede ser absorbido por la arcilla o la materia orgánica al estar cargadas negativamente, sin destruir los coloides del suelo. Por ello, el método empleado también es utilizado para la determinación de la capacidad de intercambio catiónico y bases intercambiables.

“El método para la determinación consiste en la saturación de la superficie de intercambio con un catión índice, el ion amonio [...]. El amonio se emplea como catión índice debido a su fácil determinación, poca presencia en el suelo y porque no precipita al entrar en contacto con el suelo. La concentración normal que se usa asegura una completa saturación de la superficie de intercambio, y como está amortiguada a pH 7,0, se logra mantener un cierto valor de pH” (Fernández, 2006: 69).

4.2.3.5 Determinación del contenido de materia orgánica

El contenido de materia orgánica se determinó a partir de la norma ASTM Internacional D2974–87 – “*Standard Test Methods for Moisture, Ash, and Organic Matter of Peat and Other Organic Soils*”. En la balanza analítica con precisión de cuatro decimales, se pesó 1 g aprox. de muestra seca a 105 °C, cantidad que se puso en cápsulas de porcelana rotulados con el número que corresponde a cada muestra.

- Peso (a) = Cápsulas
- Peso (b) = Muestra seca a 105 °C
- Peso (c) = Crisol + Muestra seca a 105 °C

Los crisoles con las muestras fueron llevados, previamente, a 100°C en la estufa por unos 10 min. Luego, utilizando el equipo de protección especial personal (guantes térmicos y pinzas metálicas) se colocaron los crisoles cuidadosamente en la mufla, donde estuvieron a 450°C por 4 horas. A esta temperatura se volatiliza el carbono orgánico, quedando el inorgánico en forma de carbonatos.



Pesaje de 1 g de muestra de suelo

Cápsulas de porcelana en la mufla a 450 °C.

Cápsulas de porcelana en el desecador

Figura 17: Procedimiento para el análisis de materia orgánica

Pasado dicho periodo, se apagó la mufla, dejando los crisoles al interior una hora adicional, para que vaya bajando su temperatura. Posteriormente, se sacaron los crisoles y se colocaron en los desecadores de sílica gel, para que se enfríen hasta temperatura ambiente y así poder pesarlos (*Figura 17*).

- $\text{Peso (d)} = \text{Crisol} + \text{Muestra s/ M.O.}$
- $c - d = \text{Peso M.O. (gr.)}$

El porcentaje se obtuvo mediante el siguiente cálculo:

$$M.O = \frac{\text{Peso de M.O. (g)}}{1 \text{ g de muestra}} = X * 100 = X\%$$

4.3 Etapa de gabinete

Las informaciones primarias recogidas en campo y los resultados de los análisis en laboratorio fueron sistematizados. El valor de cada una de las propiedades se clasificó según el sistema propuesto por el USDA y UNAML, para luego interpretar su significado. Los valores se compararon al interior del mismo transecto y entre los tres transectos, para ver similitudes y diferencias entre el suelo de las tres zonas muestreadas. Además, los resultados fueron contrastados con la siguiente bibliografía: Ogas, 2006, y Chilón, 1988. Los parámetros de fertilidad no se han discutido de manera independiente, sino que se hicieron correlaciones estadísticas utilizando el

programa estadístico IBM SPSS Statistics 22, para ver las propiedades edáficas que están fuertemente correlacionadas. Asimismo, se establecieron las relaciones con los factores físico-naturales y antrópicos que conforman el sistema suelo; con ello, se tuvo el panorama completo de la fertilidad y el estado del suelo.



5. UN ACERCAMIENTO A LA REALIDAD DE SAN PEDRO DE LARAOS

A continuación se hará una descripción del área de estudio donde se ubica el sistema de andenería de interés. Se comienza enmarcando a la CC.CC. San Pedro de Laraos en el contexto de la subcuenca del Río Santa Eulalia y la Mancomunidad Municipal a la que pertenece, para luego entrar en detalle sobre las características físico-naturales del entorno y las características de la comunidad.

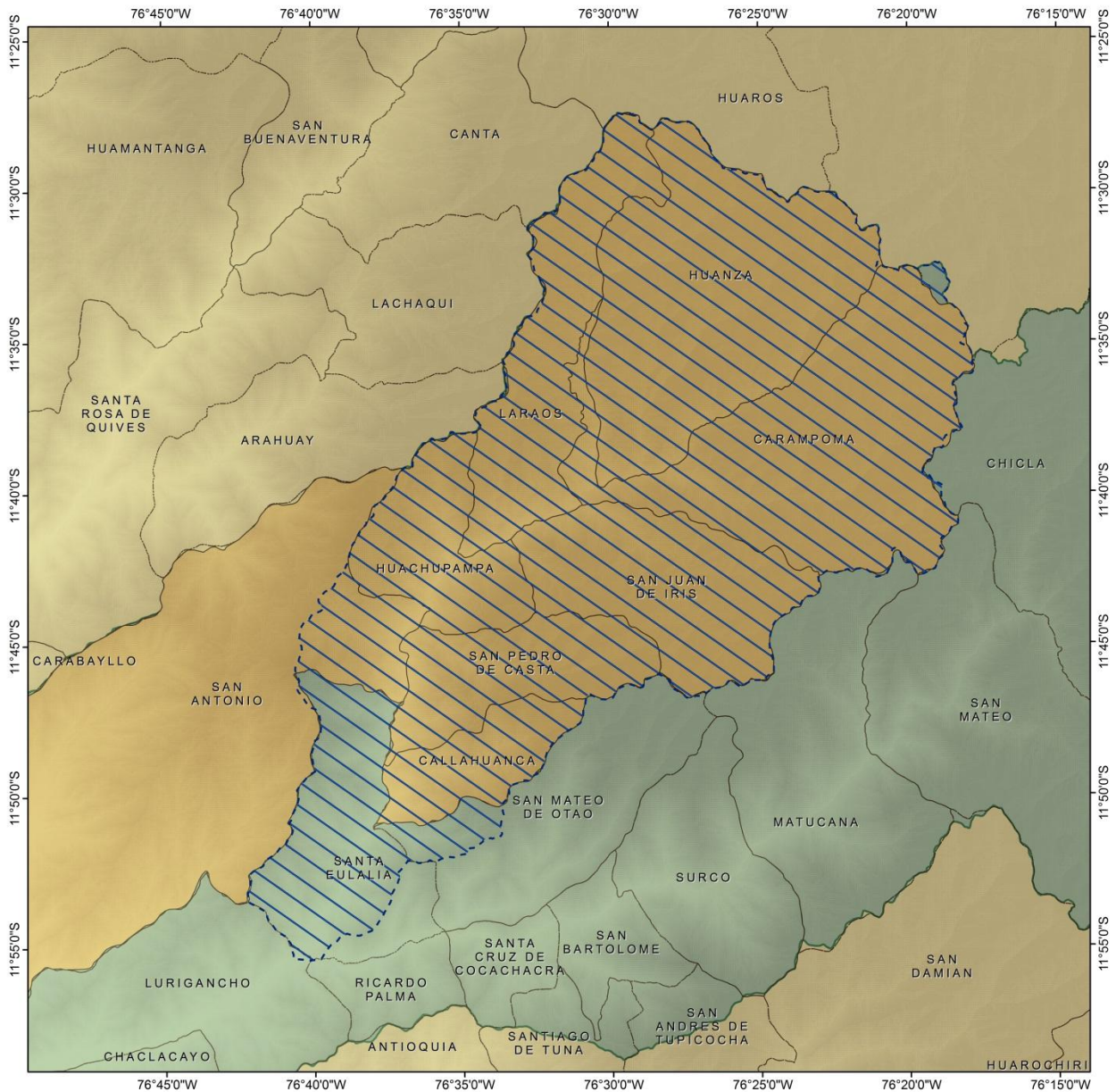
5.1 La Mancomunidad del Valle de Santa Eulalia

Una Mancomunidad Municipal se define como “el acuerdo de dos o más municipalidades colindantes o no, con la finalidad de llevar acabo la prestación conjunta de servicios y la ejecución de obras; promoviendo el desarrollo local, la participación ciudadana y el mejoramiento de la calidad de servicios a los ciudadanos” (Ley N° 29029). Es una forma de integrar fuerzas para llevar a cabo proyectos con objetivos comunes, para así reducir los tiempos y costos que implicarían.

Bajo este concepto se conformó la Mancomunidad Municipal del Valle Santa Eulalia (Figura 18), formalizada en junio de 2012, por Resolución Ministerial de la Presidencia del Consejo de Ministros N° 036-2012-PCM/SD. Esta instancia comprende a los distritos de: Carampoma, Huanza, Laraos, San Juan de Iris, Huachupampa, San Pedro de Casta, San Antonio de Chaclla y Callahuanca, de la provincia de Huarochirí, región de Lima, los cuales forman parte de la subcuenca del Santa Eulalia¹¹. Sus objetos son los siguientes:

- a) Planificación del desarrollo urbano y rural en sus distritos conformantes;
- b) Construcción y mejoramiento de infraestructura vial e hidráulica, para una accesibilidad eficiente en términos de tiempo y distancia, y una mejora de la calidad de vida de su población;
- c) Fomento de la actividad turística, que aproveche y ponga en valor sus diferentes recursos ecológicos y geoecológicos;
- d) Promoción de la competitividad productiva y el empleo, en la agricultura orgánica; y
- e) Gestión ambiental para la protección y conservación de la Cuenca del Río Santa Eulalia, con especial foco en las partes altas de la cuenca.

¹¹La subcuenca del Río Santa Eulalia forma parte de la Cuenca del Río Rímac, siendo uno de sus principales ríos tributarios con un área de 1 097.7² km, y cuya longitud de su cauce es 69 km. (MINEM, 1997, *Evaluación Ambiental Territorial de la Cuenca del Río Rímac*)



SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS



SUBCUENCA DEL RÍO SANTA EULALIA
MAPA DE LA MANCOMUNIDAD MUNICIPAL DEL VALLE DEL SANTA EULALIA Y SU CONTEXTO DE LA SUBCUENCA DEL SANTA EULALIA

Elaborado por: Katiuska Yakabi B.

Revisado por: Dr. Carlos Tavares

Fuente: MINAM - Geoservidor

Fecha: setiembre 2014



Figura 18: *Ámbito de la Mancomunidad Municipal del Valle del Río Santa Eulalia*

Para su consecución se está planteando una serie de proyectos. Uno de ellos es la reforestación de la parte alta de la cuenca, en el que se incluye la rehabilitación y el cultivo de los andenes, que implica un aporte de cobertura vegetal, con los beneficios ecosistémicos en el ámbito de la cuenca. Así, esta investigación pretende contribuir con información base para el desarrollo y planificación de futuros proyectos, relacionados con la andenería y agricultura, que lleven al desarrollo del territorio y de la comunidad que allí se asienta.

5.2 Ubicación y dimensión físico – natural

El sistema de andenería estudiado pertenece a la Comunidad Campesina San Pedro de Laraos, ubicada en la capital distrital del distrito con el mismo nombre (*Figura 19*), de la provincia de Huarochirí, y se encuentra en la zona andina de la región Lima.

Geográficamente, el centro poblado urbano de Laraos, junto con el sistema de andenería de interés, está comprendido entre los 11°39'57.95" y 11°40'43,77" Latitud Sur y entre los 76°32'10,77" y 76°33'33.65" Longitud Oeste (*Figura 20*), aproximadamente a 90 km al nordeste de la ciudad de Lima. Respecto a su altitud, está por encima de los 3200 msnm.



Fuente propia, febrero de 2013

Figura 19: Vista del techo las viviendas, una parte de la Plaza y la Iglesia del pueblo

Hidrográficamente, se encuentra ubicada en la microcuenca Sacsa¹², en la parte media de la margen derecha de la subcuenca del Río Santa Eulalia, Cuenca del Río Rímac (Taboada, 2011: 10). Como recursos hídricos, el distrito cuenta con varias quebradas, secas e intermitentes, lagunas – siendo la principal y de mayor tamaño la laguna Quiulacocha – y el mismo río Santa Eulalia (*Figura 21*).

¹²La microcuenca Sacsa, abarca un área de 155.7 km², cuya longitud de su cauce es de 24.5 km. Su pendiente es de 4.9%, que baja de los 4600 a los 3400 msnm (MINEM, 1997, *Evaluación Ambiental Territorial de la Cuenca del Río Rímac*)

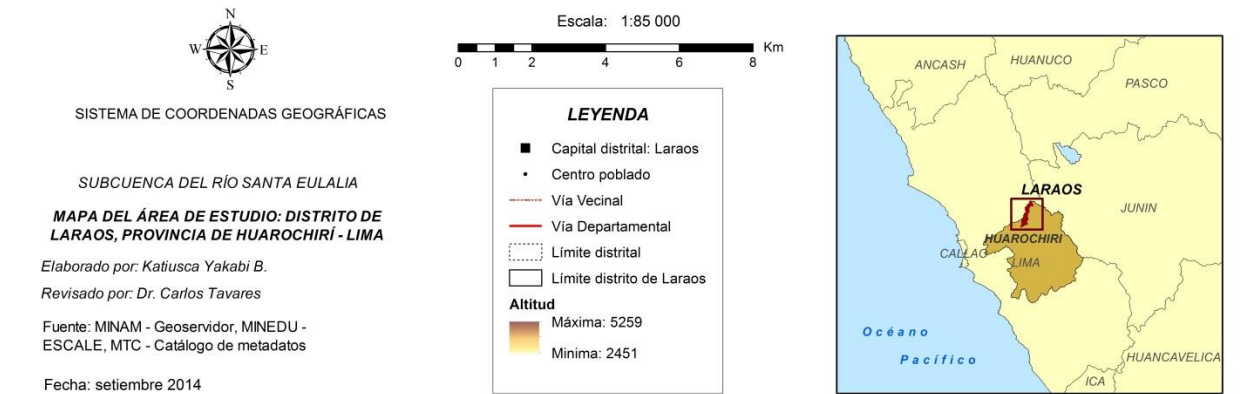
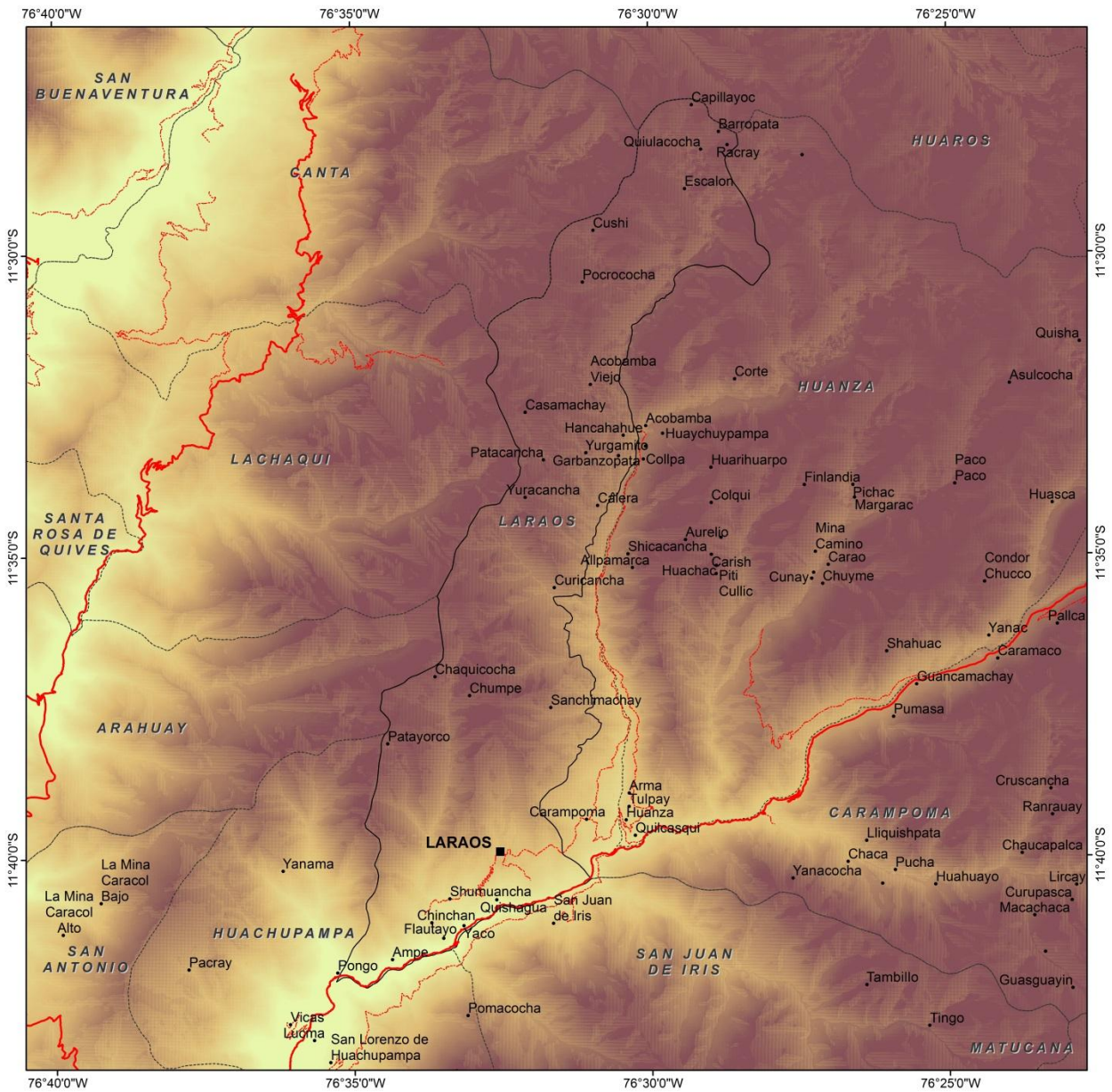
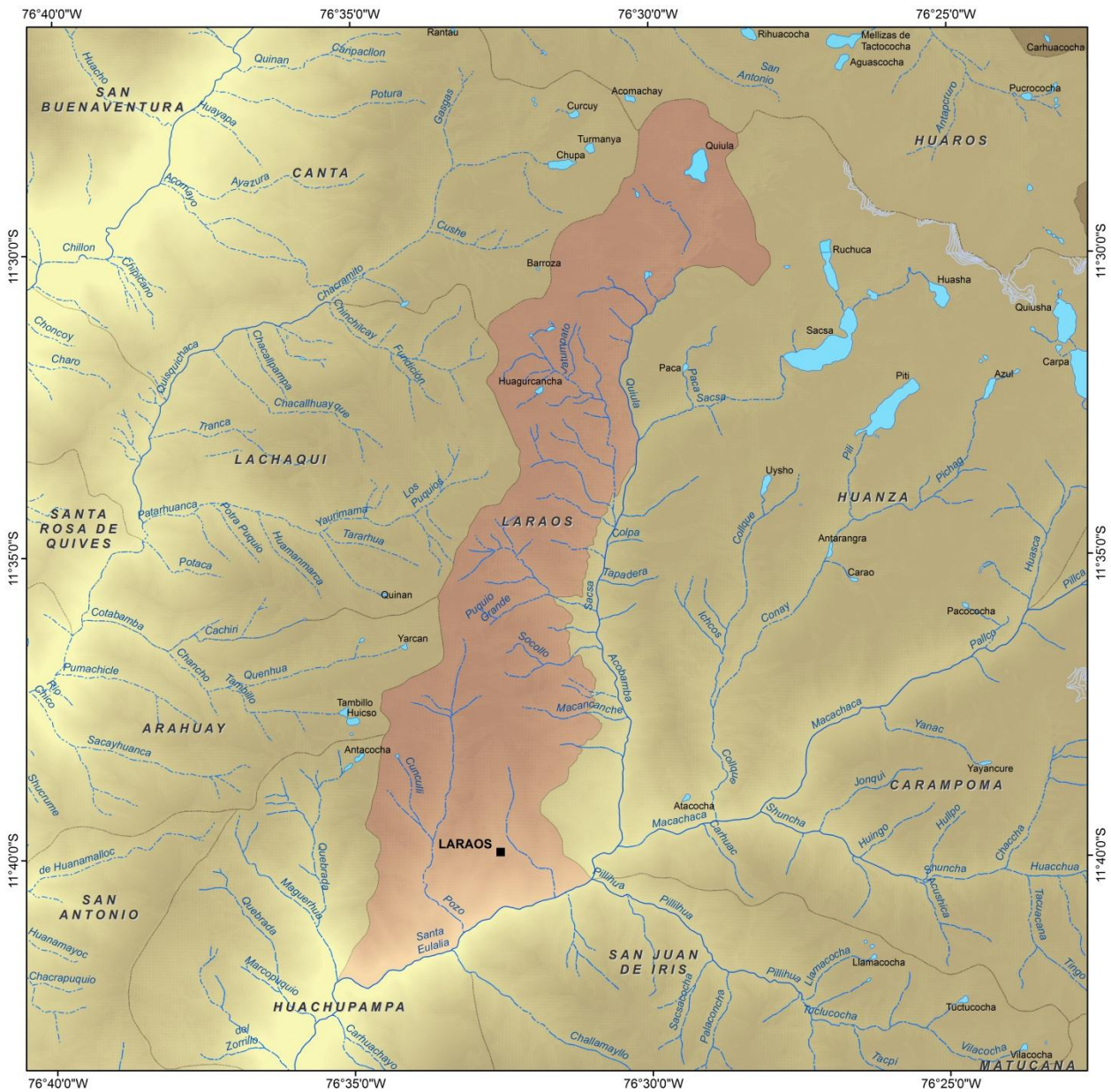


Figura 20: Ubicación del centro poblado urbano de Laraos, capital del distrito de Laraos



SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS

Escala: 1:85 000



**SUBCUENCA DEL RÍO SANTA EULALIA
MAPA HIDROGRÁFICO DE LARAOS: RÍOS,
QUEBRADAS, LAGUNAS Y NEVADOS**

Elaborado por: Katuska Yakabi B.
Revisado por: Dr. Carlos Tavares

Fuente: MINAM - Geoservidor, MINEDU -
ESCALE

Fecha: setiembre 2014

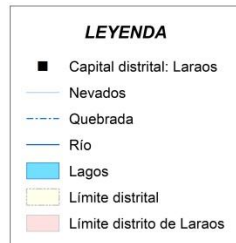


Figura 21: Recursos hídricos en el distrito de Laraos, provincia de Huarochiri

5.2.1 Características climáticas

Debido a la altitud a la que se encuentra, Laraos presenta un clima templado frío, con una temperatura media anual de 13 °C, y con precipitaciones anuales alrededor de los 481,7 mm, siendo febrero y marzo los meses de mayor intensidad (Chilón, 1988). Los inviernos son secos, y los veranos son lluviosos, así como húmedos, lo que aumenta la sensación de frío. Hay años en los que se dan exceso de lluvias, con intensidad anormal en mayo, que conllevan a la pérdida de cultivos. Del otro extremo están los eventos de sequía que, por lo general, ocurren en los meses de setiembre, octubre y noviembre; las sequías no solo provocan la pérdida de cultivos, sino también del ganado, por lo que se ven en la necesidad de hacer ventas, incluso remates, apresuradas. Asimismo, las heladas son frecuentes, en especial, entre los meses de mayo y junio, las cuales ocasionan la quema de pastos y forrajes.

A partir de las visitas realizadas al área en febrero y marzo, se puede decir que las condiciones climáticas para dichos meses se caracterizan por la presencia de brillo solar en las mañanas. Sin embargo, conforme avanza el día, el sol es opacado por las masas de aire que ascienden hacia las cumbres donde son enfriadas y forman las neblinas de valle (Córdova, 1994; citado por López, 1998: 69); a este fenómeno los locales lo llaman “la nube” (*Figura 22*). Por momentos, la neblina se dispersa dejando claros por donde pasan los rayos del sol. Los vientos fríos son constantes, pero aumentan su intensidad en horas de la tarde. Pasado el mediodía, el cielo se cubre de nubes grises, que traen consigo fuertes precipitaciones, las cuales pueden durar desde un par de horas hasta el anochecer.



Fuente propia, marzo de 2013

Figura 22: Avance de “la nube” en las primeras horas de la mañana

Son poco comunes los fenómenos de desprendimiento y flujo de materiales, conocidos como “huaycos”; ambos son procesos de movimientos de masa activados por las precipitaciones. Según testimonios locales, en la última década, solo se ha registrado

un evento de este tipo. Ocurrió alrededor del mes de marzo y trajo como consecuencia la inundación de calles y viviendas del pueblo, pero sin mayores pérdidas.

5.2.2 Características topográficas

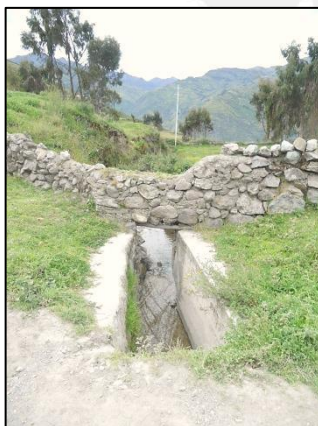
El pueblo de Laraos se encuentra asentado sobre una terraza en la ladera, una zona donde la pendiente es suave. Sin embargo, alrededor el territorio se caracteriza por ser abrupto, resultado de la evolución geológica durante el Terciario y comienzos del Cuaternario; presenta altas cumbres, vertientes con pendientes pronunciadas, y quebradas estrechas y profundas, las cuales han sido resultado de la erosión fluvial que ha modelado la subcuenca. En ciertos sectores de las laderas se evidencian afloraciones rocosas de origen plutónico (*Figura 23*), que corren paralelas a la cordillera (Agencia Agraria, 2012).



Fuente propia, febrero de 2013

Figura 23: Afloraciones rocosas en las laderas

a.



b.



Fuente propia, mayo de 2012

Figura 24: Vista de fuentes de agua, a) un canal revestido, y b) una acequia al lado del pueblo

Hacia mayores altitudes del distrito, en los valles de origen glacial se encuentran las lagunas, las cuales siguen siendo formadas por los deshielos o por las lluvias de verano (*ídem*). Estas son el origen de las quebradas estacionales cuyas aguas son fuente de recurso hídrico para el pueblo. Las precipitaciones no solo abastecen a las lagunas, sino también directamente al pueblo durante la época húmeda. Así, precipitaciones y lagunas, alimentan las quebradas, acequias y canales que proveen de agua al pueblo (*Figura 24*).

5.2.3 Características geológicas

En la parte alta de la subcuenca del Santa Eulalia predominan rocas de la serie Volcánica Superior y, en la parte media, rocas intrusivas de diferentes tipos correspondientes al Batolito Costero (ONERN, 1985; citado por Inbar y Llerena, 2004: 143). Se reconocen las formaciones volcánicas Calquis y Grupo Rímac pertenecientes al periodo Terciario Inferior y que se encuentran al norte de la intrusión batolítica de la zona de Huinco. Ambas son “unidades intercaladas con areniscas y conglomerados de material volcánico, lavas porfíricas gris verdosas a violáceas y algo brechoides, con secuencias sedimentarias constituidas por lodolitos y areniscas” (Palacios *et al.*, 1992; citado por Inbar y Llerena, 2004: 143).

En las quebradas y valle del río Santa Eulalia se encuentran depósitos fluviales recientes. Específicamente en Laraos, se encuentra una terraza fluvial o probablemente fluvi-glacial en la ladera, a 150 m sobre el cauce actual del río, compuesta por cantos rodados y material arenisco fluvial (*ibídem*).

5.2.4 Características de los suelos

El Ministerio de Agricultura basa su clasificación de suelos para el Perú en las Regiones Geoedáficas de la FAO. A partir del mapa de clasificación de suelos, el distrito de Laraos se encuentra sobre la **región litosólica**. Esta corresponde a las vertientes del lado occidental de la Cordillera de los Andes, a una altitud entre los 1000 y 5000 msnm, donde predomina un relieve de gran pendiente y muy accidentado. Como lo indica su nombre, en esta región predominan los litosoles, propios de áreas con topografía inclinada. Estos son suelos superficiales sobre rocas y con presencia de afloramiento rocosos. En las partes bajas de la región se encuentran suelos de textura arenosa o regosoles; así como suelos áridos con calcio en el subsuelo, denominados yermosoles cálcicos. En la parte intermedia, se encuentran suelos yermosoles lúvicos, los cuales contienen arcilla y cal (Brack y Mendiola, y ONERN,

citados por MINAG, 2013). Estos suelos son fértiles, fáciles de arar y bien adaptados a la siembra de cultivos, como la alfalfa para forraje, así como maíz, papa, oca y olluco para el consumo humano (Tosi, 1994; citado por López, 1998: 74).

Según la caracterización hecha por Masson (1983) de los suelos de ladera en la subcuenca Santa Eulalia, estos son “*Oxic Haplustolls* (USDA Soil Taxonomy) o desarrollado sobre un material parental coluvial, la profundidad efectiva varía alrededor de 60 cm; textura media, pH ligeramente ácido, sin carbonatos en el perfil. Presenta contenido medio de M.O. y de N en los horizontes superiores. El CIC es alto; por lo tanto, el suelo es fértil”. Asimismo, hizo la caracterización de los suelos de andenes; estos son “*Torroxic Haplustolls*, presentan un perfil antrópico formado sobre el material coluvio-aluvial de la ladera, la profundidad efectiva es de 80 cm aprox. Textura fina, pH neutro, sin presencia de carbonatos en todo el perfil. Presenta contenido medio de M.O. y de N en los horizontes superiores. El CIC es alto; por lo tanto, el suelo es fértil” (Masson, 1983; citado por López, 1998: 76).

Hablando específicamente del suelo inmediato al pueblo de Laraos, los larahuinos reconocen un suelo poco profundo y fácil de arar; algunas zonas presentan una textura arcillosa, mientras que otras tienden más hacia una textura arenosa. Tiene buena productividad cuando se aplica el abono natural. Sin embargo, presenta problemas dependiendo de la estación del año; durante la época húmeda, un exceso en las precipitaciones puede producir erosión del suelo y derrumbes en las laderas, mientras que en época seca, se presenta una sequedad del suelo.

5.2.5 Características de la biota

La biota es el conjunto de los organismos biológicos que habita en el área de estudio y sus alrededores. Los elementos bióticos se dividen en dos grupos: la flora y la fauna.



Fuente propia, marzo de 2013

Figura 25: Ejemplos de especies de gramíneas y hierbas en las laderas alrededor de Laraos

En cuanto a la flora de Laraos, se encuentran especies subxerofíticas, las cuales pueden soportar largos periodos de sequía, de las familias euforbiácea, cactaceae, amarilidácea, leguminosa, graminácea y compuestas (López, 1998: 78) (*Figura 25*). Vegetaciones herbáceas y gramíneas cubren la superficie de las laderas en mayor o menor densidad según la cantidad de precipitaciones. Algunas de las hierbas naturales son utilizadas por la población con fines medicinales, entre ellas están la muña, la huamanripa y la ashmallchillpa.

En el paisaje también se aprecia vegetación arbustiva y arbórea, conformando pequeños parches. Especies características de árboles son los alisos y quishuas, los cuales son aprovechados como leña y madera para la construcción de viviendas; otra especie muy común, aunque de origen introducido, es el eucalipto (*Figura 27*), aprovechado para los mismos fines. Además, los árboles son aprovechados por la población como una barrera ante las heladas y como un medio para retener el suelo y reducir el volumen de sedimentos que serían transportados por las acequias; por ello, se los plantan dentro de las parcelas y al borde de las acequias.

a.



b.



Fuente propia, febrero de 2013

Figura 26: Ejemplos de la familia de las cactaceae: a) bosque de espinas, b) flor de tuna



Fuente propia, mayo de 2012

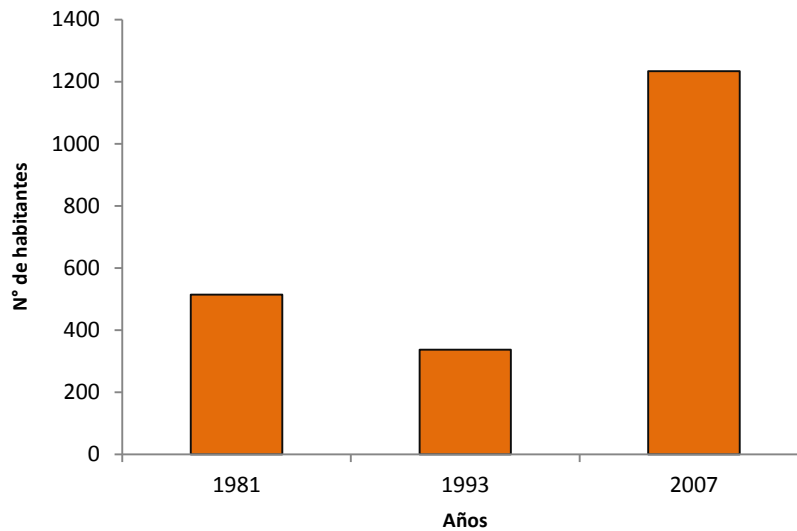
Figura 27: Parche de eucaliptos en la propiedad de un comunero

En cuanto a su fauna, aunque no son visibles a primera vista, en este ambiente existe gran diversidad de artrópodos, los cuales viven en la capa superficial del suelo, lugar donde se acumulan los residuos orgánicos frescos, suministrándoles las condiciones para vivir. Algunos ejemplos de artrópodos son las moscas, escarabajos, arañas, hormigas, entre otros; estos son un aporte a la biomasa, y cumplen un rol fundamental en la fragmentación, transformación, trituración y adecuación de esta materia orgánica para que los microorganismos lleven a cabo el proceso de mineralización y/o humificación (Jaramillo, 2002).

Sobre los animales mayores, las especies que habitan en estas condiciones geográficas son aves, como el cóndor y la perdiz. Esta última hace sus nidos en las laderas, en el interior de la tierra, de forma que quedan escondidos de sus depredadores entre la vegetación. No obstante, ello perjudica a los agricultores, pues estas aves excavan en cualquier parte de la ladera, hasta en los propios andenes. Pero no todo es negativo con la perdiz ya que, a partir del diálogo con señoras del pueblo, se sabe que sirven como recurso alimenticio debido al gran tamaño que tienen. En el caso de los mamíferos, a este ecosistema pertenecen la vizcacha, el zorro andino y los auquénidos, siendo la llama la especie de mayor presencia.

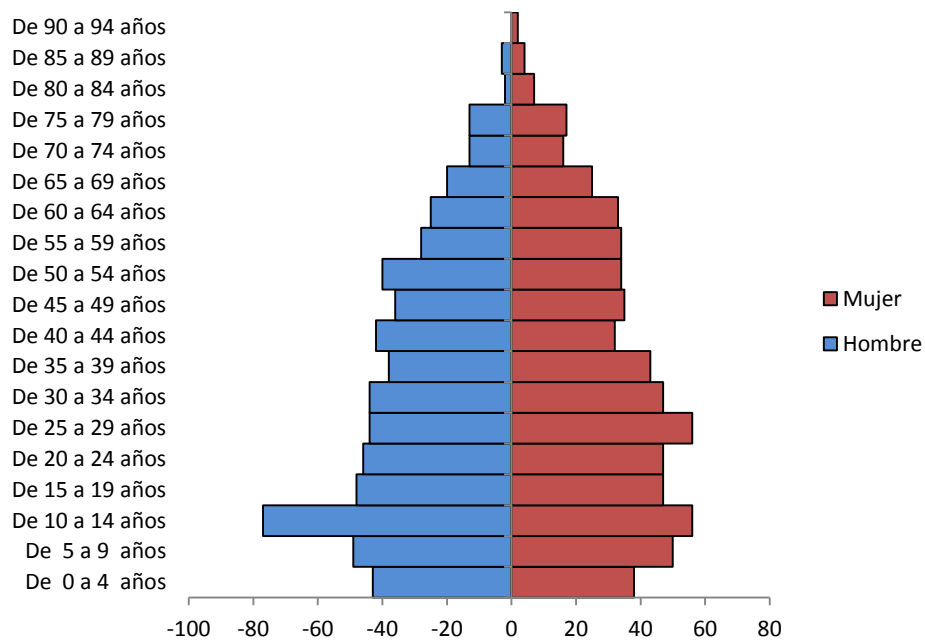
5.3 Dimensión humana

El distrito de Laraos presenta un total 1234 habitantes, entre su centro poblado urbano (97,89 %) y la población dispersa (2,11 %), y presenta una proporción de hombres y mujeres del 50 % (INEI, 2007). Si se compara el número total de habitante con los dos Censos Nacionales anteriores, al parecer hay un aumento significativo de la población entre el periodo 1981 – 2007 (*Figura 28*). Sin embargo, ello no se refleja en el campo, pues son pocos los individuos que se ven en las calles del centro poblado. Ello se debe a que gran parte de la población trabaja en Lima o en otras localidades con mayor dinamismo económico y comercial, lo que las lleva a migrar o salir de Laraos durante los días de semana.



Fuente: INEI, 1981; 1993; 2007.

Figura 28: Evolución poblacional en el distrito de Laraos (1981 – 2007)



Fuente: INEI, 2007

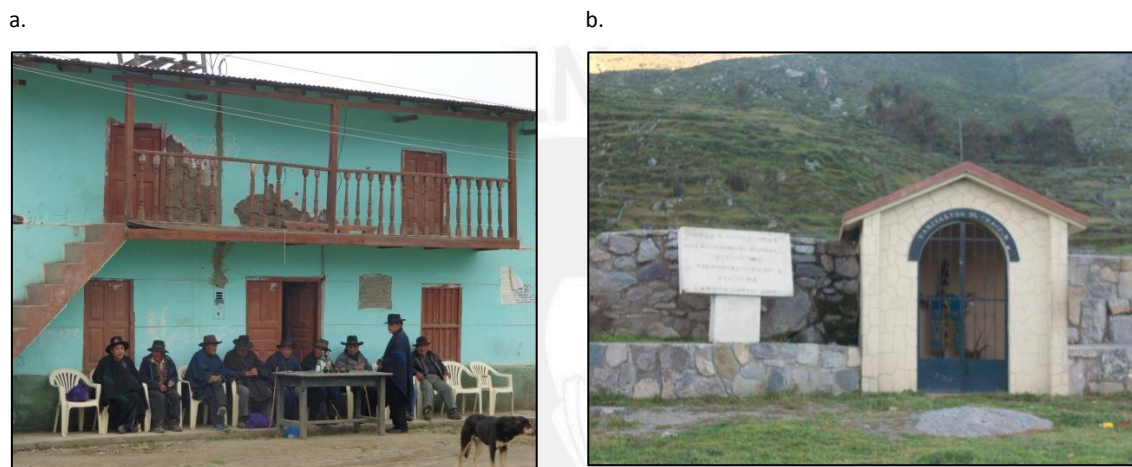
Figura 29: Pirámide poblacional según sexo y edad en grupos quinquenales (2007)

En cuanto a los grupos de edades, las personas que se encontraron en las calles durante las tres salidas de campo fueron mayormente niños en edad escolar, y hombres y mujeres mayores de 40 años (Figura 29). Por la categoría del pueblo, Laraos tiene un centro educativo estatal al que acuden los menores del propio pueblo, así como provenientes de otros centros poblados. Muchos de los jóvenes y adultos

jóvenes se han desplazado a Lima para seguir estudios superiores o buscar empleo; aunque hay quienes se han quedado para continuar con las actividades agrarias.

5.3.1 Vivienda y servicios básicos

Sin tener en cuenta a la población dispersa, en el centro poblado específicamente hay 235 viviendas, de las cuales 225 son casas independientes, 8 son casas de vecindad y 2 funcionan como hospedaje (INEI, 2007). La mayoría de ellas están construidas con paredes de adobe y techos de calamina a dos aguas para evacuar el agua de lluvia; en el caso del hospedaje municipal, está construido con material noble.



Fuente propia, abril de 2014

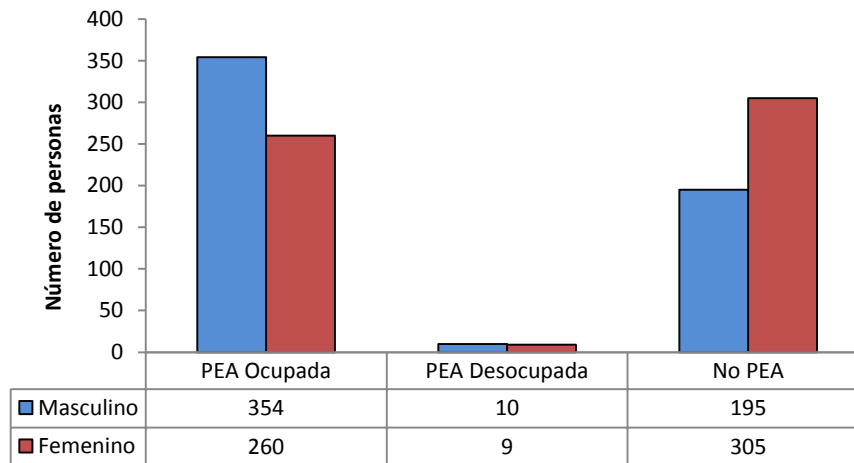
Figura 30: Festividades de Laraos: a) Autoridades del pueblo en el inicio de la Fiesta del Agua. b) Vista de una de las tres cruces

Muchas de las viviendas son ocupadas solo durante los fines de semana o cuando son las fiestas del pueblo, como el aniversario de Laraos, la Fiesta del Agua o Champería, el día de San Pedro y San Pablo, la fiesta de las Tres Cruces, entre otros (Figura 30) Durante estas fechas, muchos larahuinos que ya están asentados en Chosica o Lima regresan a su pueblo natal para participar de las festividades.

En cuanto a la dotación de los servicios básicos, 72,77 % de las viviendas cuentan con alumbrado eléctrico, al igual que gran parte de las calles del pueblo. Respecto al tipo de abastecimiento de agua en la vivienda, 93,03 % obtiene el agua a partir de fuentes naturales (río, acequia o manantial), y solo 9 (4,02 %) casos cuentan con red pública en el interior. Por último, respecto al tipo de servicio higiénico, 95,54 % de las viviendas no cuentan con ningún tipo, 6 (2,68 %) casos tienen conexión a la red pública de desagüe al interior, y con 2 (0,89 %) casos cada uno, red pública de desagüe afuera de la vivienda y río, acequia o canal. (INEI, 2007)

5.3.2 El empleo en Laraos

Se puede decir que no existe un problema de desempleo en el distrito de Laraos, ya que el número de personas desocupadas es mínimo, tanto para el caso de hombres como de mujeres (*Figura 31*). Sin embargo, lo que no se refleja explícitamente en la estadística son los casos de subempleo o de empleos informales; quienes lo ejercen están considerados dentro de la categoría de PEA ocupada. Un ejemplo de subempleo es la oferta de desayuno, almuerzo y comida, bastante común entre las mujeres de los cc.pps, no solo Laraos. Ellas cocinan para sus familias, con excedentes para ofrecer a los propios comuneros, a los obreros y otros profesionales que llegan al pueblo para realizar obras o estudios, así como a los visitantes y turistas esporádicos.



Fuente: INEI, 2007

Figura 31: Población Económicamente Activa en el distrito de Laraos (2007)

En Laraos, las actividades económicas que predominan son del tipo primario. La naturaleza de estas actividades, combinada con el pensamiento del hombre andino rural, hace que parte de la comunidad, como los niños y jóvenes estudiantes que en las estadísticas son considerados como No PEA¹³, puedan hacer tareas simples, con lo que colaboran con la producción y con la economía familiar.

¹³Según el MINTRA, a este grupo corresponden todas aquellas personas que no se encuentran trabajando, ni buscando empleo y tampoco deseaban trabajar durante el tiempo en que se realizó la encuesta. A este grupo pertenecen las amas de casa, los estudiantes, los rentistas y los jubilados.

Tabla XI: Ocupaciones a las que se dedica la población del Distrito de Laraos

CATEGORÍAS	CANT	%
Personal directivo de la administración pública	1	0.16
Personal de enfermería de nivel superior (diplomados)	1	0.16
Profesores de educación secundaria y básica	1	0.16
Profesores y/o maestros de primaria	7	1.14
Abogados	1	0.16
Personal de enfermería de nivel medio (técnico)	2	0.33
Técnicos en administración	9	1.47
Técnicos en economía y asimilados	1	0.16
Empleados de servicios administrativos	1	0.16
Recepcionistas y empleados de oficina y agencia de viajes	1	0.16
Empleados de oficina en operación de campo	16	2.61
Cocineros calificados	3	0.49
Personal de enfermería no clasificado en otra parte	2	0.33
Comerciantes vendedores al por menor (no ambulatorio)	30	4.89
Vendedores de kioscos y puestos de mercado (no ambulantes)	1	0.16
Agricultores (explotadores) y trabajadores calificados de cultivos para el mercado	81	13.19
Explotadores agrícolas, polivalentes o mixtos (agrícolas, pecuarios y forestales)	142	23.13
Criadores de ganado, pecuario y otros animales (excepto el ganado lechero)	32	5.21
Explotador de ganado lechero	2	0.33
Obrero tratam. Leche y elaborac. Prod.lacteos	9	1.47
Ebanista, operadores de maq. De labrar madera y trab. Asim.	1	0.16
Electricista, eletronicista y otros (incluye a trabajadores asimilados)	6	0.98
Pintores de edificios y construcciones	1	0.16
Albañiles	9	1.47
Conductores de vehículos de motor	18	2.93
Vendedor ambulante de productos agrícolas comestibles	6	0.98
Vendedor ambulante de productos comestibles preparados en la calle	5	0.81
Vendedor ambulante de productos alimenticios manufacturados	7	1.14
Vendedor ambulante de telas, tejidos y confecciones de tela y/o cuero	4	0.65
Vendedor ambulante de diarios, revistas, libros y útiles de escritorios	1	0.16
Vendedor ambulante no clasificados en otros epígrafes	2	0.33
Cobradores y vendedores de los servicios de transporte y afines	17	2.77
Personal doméstico	25	4.07
Limpiadores de oficinas, hoteles y otros establecimientos, lavaderos y planchadores manuales	31	5.05
Personal de servicios no clasificados bajo otros epígrafes	1	0.16
Peones de labranza y peones agropecuarios	83	13.52
Peones de la construcción de edificios	24	3.91
Otras Ocupaciones	30	4.89
TOTAL	614	100

Fuente: INEI, 2007

Además de las actividades primarias, en las estadísticas figura otro tipo de ocupaciones (Tabla XI). Evidentemente, no todas son realizadas necesariamente en el mismo distrito. Por un lado, no existen las infraestructuras, equipamientos ni servicios adecuados para ofrecer tal diversidad de empleos. Por otro lado, la población busca prestar su fuerza laboral en lugares donde sean mejor remunerados; por ello, y como se ha dicho anteriormente, existe este constante desplazamiento hacia las zonas urbanas o los centros poblados más cercanos a la capital.

5.3.3 La actividad agrícola

Contando con una superficie agrícola de 131,38 has (Agencia Agraria, 2012), la agricultura es una de las actividades más practicadas por la población larahuina, por el 50% aproximadamente, que equivale a 223 personas entre agricultores y trabajadores calificados, explotadores agrícolas y peones de labranza.

Según datos de la Agencia Agraria Santa Eulalia, los principales cultivos en la zona son la alfalfa, la papa, el maíz amiláceo y el olluco, pero también se siembran haba grano verde, mashua y oca. El cultivo que predomina sobre la superficie agrícola es la alfalfa, con 36 ha para el periodo 2013 – 2014, el cual es aprovechado como forraje. La apuesta por este cultivo se debe a su mayor resistencia frente a las heladas, y a que su presencia estabiliza la ladera y evita la erosión. Son pocos los agricultores que se arriesgan a sembrar papa, y de hacerlo lo hacen en el mes de octubre. Los riesgos con la papa es que pueden perder su producción debido a condiciones adversas del clima o por plagas, como la gusanera.

Sobre la tenencia de tierras, hay quienes tienen sus tierras de cultivo contiguas a sus viviendas, las cuales son tipo huerto, en donde hacen policultivo. Por otro lado, están los que tienen sus parcelas alejadas con siembras de monocultivo, a siete horas caminando desde el pueblo por ejemplo. La extensión de las parcelas individuales no supera las 2 has, y estas son regadas por canales de regadío/acequias o por secano, dependiendo de la época del año.

5.3.4 La actividad ganadera

Muchos de los agricultores a la vez se dedican a la ganadería, haciendo complementarias estas actividades, pues la agricultura aporta con alimento para el ganado, y este contribuye con abono natural a través de su excremento.

Según datos de la Agencia Agraria Santa Eulalia, en Laraos se tienen ganados vacunos (1230 cabezas), ovinos (3546 cabezas), caprinos (250 cabezas) y porcinos

(16 cabezas) (*Figura 32*); el número de individuos varía entre los ganaderos; otros animales criados son gallinas (50 cabezas), llamas (600 cabezas) y llamas (70 cabezas) (*Figura 33*). Los auquénidos se encuentran a mayores altitudes, a diferencia de los demás tipos de ganados que uno los puede ver pasar por las calles del pueblo y alrededores. Los caballos, burros y perros son animales que también poseen los comuneros, los cuales les ayudan a controlar a su ganado y como medio de transporte para transportar cargas pesadas (*Figura 34*).



Fuente propia, mayo de 2012

Figura 32: Actividad ganadera en Laraos: a) y b) Vista de corrales con ganado vacuno. c) Ganado ovino en el Coliseo Municipal. d) Una comunera con su ganado ovino en la calle

El ganado vacuno es el que da los mayores aportes a la economía de los comuneros, pues es aprovechado como fuente de carne y como fuente de cuero; incluso, el animal entero puede ser vendido a los camales, pagando elevadas cifras por este. Pero es la leche el principal recurso que se obtiene del ganado vacuno, ya sea para autoconsumo como para la venta al mercado. Además, gracias a este insumo se ha desarrollado una pequeña industria artesanal de lácteos en el pueblo. Cuentan con un centro de acopio, al cual llegan cantidades de porongos de leche para ser pasteurizados y, posteriormente, transformarlos en productos derivados como son el yogurt, queso fresco y andino, y mantequilla.



Figura 33: Un comunero con su ganado de camélidos (llamas)



Figura 34: Comuneros cabalgando en sus caballos en el inicio de la Fiesta del Agua

Fuente propia, abril de 2014



6. SITUACIÓN DEL SISTEMA DE ANDENERÍA DE LA COMUNIDAD CAMPESINA SAN PEDRO DE LARAOS

La situación de los andenes en San Pedro Laraos se divide en dos puntos. Por un lado, se hace una descripción sobre los andenes y su aspecto exterior a partir de lo observado en el campo y complementando con la información dada por los entrevistados. Por otro lado, se hace una descripción del estado de su suelo a partir de los resultados de los análisis físicos y químicos realizados en el laboratorio.

6.1 Caracterización *in situ*

La descripción del sistema de andenería se realizará a dos escalas: una a macro escala, sobre la base de lo conversado con las autoridades de la Municipalidad y de la entrevista con el poblador local, con mayor conocimiento sobre los andenes. Ellos permiten tener la idea general en cuanto a la situación de los andenes en conjunto. La otra es una a micro escala, describiendo lo observado al momento de realizar el muestreo en cada uno de los puntos de los tres transectos, representativos de cada estado de conservación y uso encontrado.

6.1.1 Una visión general desde los ojos del pueblo



Fuente propia, abril de 2014

Figura 35: El sistema de andenería de la CC.CC. San Pedro de Laraos

La CC.CC. San Pedro de Laraos tiene una superficie andenada de 80 ha aproximadamente, los cuales datan del periodo Horizonte Temprano (800 a.C.). La comunidad ha dividido su sistema de andenería en 8 sectores: Limpe, Allac, Cullhua, Pache, Acushca, Lanque, Chinchán y Chupa, que se encuentran por debajo de los 3600 msnm (*Figura 35*), a diferencia de las laderas con parcelas delimitadas por pircas (*Figura 36*), las cuales se ubican por encima de los 3700 msnm y que, a primera vista, podrían confundirse con andenes, pero en realidad son corrales para el ganado.

a.



b.



Fuente propia, febrero de 2013

Figura 36: Aspecto de las pircas: a) Ladera con parcelas delimitadas con pircas a la entrada de Laraos. b) Perfil de las pircas

A partir de lo visto en campo, los andenes se distinguen por su plataforma horizontal, cuyo ancho es variable, y la altura promedio de los muros de piedra es de 2,50 m (*Figura 37*). Según Llerena et al. (2004), el ancho de las plataformas puede variar entre 2,5 - 30 m, y la altura de los muros de piedra entre 0,96 – 5,5 m. La profundidad a la que se sienta la base del muro depende de la textura del suelo de la ladera; así, en suelos arenosos, el muro de piedra comienza a construirse a partir de los 50 cm de profundidad; mientras que en suelos arcillosos o pedregosos, se construyen sobre la misma superficie. En cuanto a la cobertura de las plataformas, gran parte de estas estaban con cobertura vegetal, ya sea pastos, arbustos o cactus.

En cuanto a la forma de riego, la comunidad cuenta con lagunas, – siendo la más importante la laguna Quiulacocha – puquiales, acequias y un reservorio, de los cuales se deriva el agua hacia los andenes de Limpe, el sector más cercano al pueblo, y cuya irrigación es por medio de zanjas de infiltración y canales de regadío construidos en conjunto con las plataformas. En el resto de los sectores se da una agricultura por

secano; es decir, el suministro de agua lo hacen las lluvias y la humedad del entorno, que se condensa sobre la superficie de las laderas.

a.



b.



Fuente propia, mayo de 2014

Figura 37: Sector Limpe: a) Plataformas cultivadas en octubre de 2013. b) Muro de contención de piedra de un andén (punto TA-50)

Si bien a cada comunero se le asigna un determinado número de parcelas a sembrar, el sistema de andenería pertenece a la comunidad, y es en las asambleas que se deciden los cultivos a sembrar; las especies se eligen según la altitud y el microclima, y en función de ellos se programa el calendario agrícola. Así, en enero y en agosto se cultiva la papa mahuay, que se siembra en Limpe al necesitar la irrigación; mientras que en octubre se siembra una especie de papa que le es suficiente el riego por secano. Entre agosto y setiembre se siembra la haba, y entre setiembre y octubre se siembra el olluco; en setiembre, también se empieza con el cultivo de maíz, pero en las partes bajas de la ladera.

El procedimiento para sembrar comienza con una remoción de la tierra de las plataformas, que han estado en barbecho. Las semillas se remojan en agua por un par de días, y luego se siembran. A lo largo de todo el proceso, los comuneros aprovechan el excremento de su ganado, vacuno o caprino, para aplicarlo como abono natural, el cual aporta nutrientes al suelo; cuando el suelo está muy empobrecido, recién recurren al uso de fertilizantes químicos. Otras medidas utilizadas son la aplicación de azufre y la quema de compost, ambos para mitigar los efectos de las heladas.

En cuanto a la producción, la cantidad de hectáreas cultivadas ha disminuido significativamente. Hasta hace unos 30 años, la comunidad cultivaba de 5 – 6 ha. En la década de los 90, el gobierno de turno dio suministro de alimentos a las zonas rurales como un incentivo para que los campesinos dedicaran horas de trabajo en las obras de construcción de carreteras, canales y otras infraestructuras, y ya no se preocupaban por cultivar. El problema es que muchos laraHuinos perdieron el interés

por la agricultura y se acostumbraron a que el gobierno les proporcione alimentos. A ello se suma la emigración que se dio entre el periodo 2005 – 2010; la educación decreció, lo que llevó a los padres a buscar educación en otras localidades más cercanas a Chosica y Lima. En consecuencia, la superficie de andenes cultivados se redujo a solo 1,5 ha, de la cual obtienen 0,5 toneladas de productos de autoconsumo que se reparten entre toda la comunidad; de quedar excedentes, se venden.

El resultado es que la mayor parte de los sectores del sistema de andenería están abandonados y, por ende, en un estado de deterioro (*Figura 38*). Si bien se les ha dado un mantenimiento, en las últimas décadas este consistió solo en la reparación de los muros de piedra, derrumbados como consecuencia de eventos climáticos, el paso del tiempo o el crecimiento de hierbas, como el kikuyo, entre las piedras, debilitando las uniones (*Figura 39*). Según Llerena et al. (2004), en el tiempo en el que realizó su estudio, 66,8 % de los muros tenían cobertura vegetal, de la cual el 50,6% eran arbustos, 20,5% eran pastos y hierbas y 18,1 % eran cactus.

En octubre de 2013, la comunidad se organizó para sembrar papa en Limpe (*Figura 40*), sector cuya última cosecha se hizo hace 5 años, permaneciendo en periodo de barbecho; no obstante, este sector también presenta muros derrumbados (*Figura 41*).



Figura 38: Ejemplo de un muro de un andén abandonado y deteriorado (punto TB-30)



Figura 39: Aspecto de un muro de andén deteriorado. a) cubierto de vegetación (punto TA-30). b) especies creciendo entre las uniones de las piedras (punto TB-30).

Fuente propia, marzo de 2013

Ante esta situación, la Municipalidad de San Pedro de Laraos, preocupada por el desarrollo y bienestar de su pueblo, planteó un proyecto de rehabilitación de una parte del sistema de andenería con miras a la recuperación del sistema completo. El proyecto involucra a la población local y, sobre todo, a la población que migró pero que no ha prosperado, para que regresen a Laraos, aprendan el proceso de construcción y mantenimiento de los andenes y se dediquen a su cultivo. Especialistas alemanes

hicieron visitas a la localidad para realizar las observaciones y mediciones pertinentes; el proyecto tendría como fecha prevista de ejecución octubre del 2014.



Fuente propia, mayo de 2014

Figura 40: Andenes de Limpe sembrados de papa en octubre, 2013

Figura 41: Ejemplo de un muro derrumbado en el sector Limpe (punto TA-90)

Por su lado, el centro educativo del distrito ha incluido la siembra de cultivos en un biohuerto como una actividad escolar, con la finalidad de enseñar y motivar a los niños a continuar con la actividad agrícola. Hasta el momento, parece que la iniciativa está por buen camino; por ello, se quiere incorporar el cultivo de andenes y su mantenimiento. De esta forma, se potencian las capacidades y habilidades humanas desde muy pequeños, y se incentiva el uso de andenes, que hoy está siendo vista como una alternativa para impulsar el desarrollo territorial anhelado.

6.1.2 Una observación más específica

En paralelo a la realización del muestreo, se hicieron anotaciones sobre la base de lo observado en las plataformas de los andenes. Las características descritas son aspectos visuales, como el color, la presencia de elementos que pueden influir en los análisis de laboratorio, y aspectos medibles, como el ancho de la plataforma.

La zona A (TA) pertenece al Sector Limpe y corresponde a los andenes que están en descanso actualmente (Tabla XII). La última vez que se cultivaron fue hace 5 años, y se programó la siembra de papas para octubre del 2013. De las tres zonas, esta es la que presenta vegetación menos exuberante, y ello debido a su relativo reciente uso. Comparado con la zona B, el perfil de las plataformas y los muros de piedra son bastante notorios (*Figura 42*).

La zona B (TB) corresponde a los andenes abandonados y, por consiguiente, en estado de deterioro (Tabla XIII). Hay mayor presencia de vegetación en cantidad y en

variedad de especies, tanto en la superficie de las plataformas, como en los muros de piedra, que en algunos casos están completamente cubiertos; ello hace que los andenes se hagan casi imperceptibles (*Figura 43*).

Tabla XII: Descripción de las características de las plataformas muestreadas en la zona A

	Código de muestra	Altitud (msnm)	Descripción
Zona A – Andenes en descanso	TA-10%	3 565	Ancho de la plataforma = 10,90 m. Al excavar, se observó un suelo con bastantes rocas. No se diferenció una capa superficial; todo el suelo era color marrón oscuro.
	TA-30%	3 495	Ancho de la plataforma = 11,60 m. Presencia de vegetación herbácea y excremento de ganado en superficie. No se diferenció una capa superficial; todo el suelo era color marrón oscuro.
	TA-50%	3 384	Ancho de la plataforma = 8,65 m. Presencia de gran cantidad de excremento de ganado en superficie. Se reconoció la capa superficial del suelo; bajo contraste entre los tonos de marrón.
	TA-70%	3 320	Ancho de la plataforma = 8,15 m. Presencia de vegetación herbácea. Raíces profundas, a más de 15 cm de profundidad.
	TA-90%	3 278	Ancho de la plataforma = 16,7 m. El muro del andén estaba derruido, lo que se aprovechó para observar la estructura del andén. Se distinguió la capa superficial del suelo; tono más oscuro de color marrón.

Tabla XIII: Descripción de las características de las plataformas muestreadas en la zona B

	Código de muestra	Altitud (msnm)	Descripción
Zona B – Andenes abandonados	TB-10%	3 621	Ancho de la plataforma = 5,75 m. Presencia de excremento de ganado y vegetación tipo musgo. Al excavar, la tierra fue fácil de remover. Suelo con partículas blanquecinas, amarillas y rojizas.
	TB-30%	3 578	La presencia de raíces y piedras ¹⁴ pequeñas dificultó el paso de la pala. Suelo con partículas blanquecinas y amarillas.
	TB-50%	3 539	Ancho de la plataforma = 16,8 m. Presencia de excremento de ganado en superficie. Raíces gruesas y profundas y mayor presencia de rocas en el suelo, lo que dificultó el excavar.
	TB-70%	3 465	Ancho de la plataforma = 6,4 m. Presencia de vegetación tipo "asiento de suegra". Gran cantidad de raíces y rocas en el suelo. Suelos con partículas blanquecinas en mayor proporción.
	TB-90%	3 389	Ancho de la plataforma = 10 m. Plataforma ligeramente inclinada. Presencia de vegetación tipo "ichu" y otras especies herbáceas, ausentes en las demás plataformas, y presencia de excremento de ganado. El suelo con presencia de rocas y raíces profundas

¹⁴ Según Llerena et al. (2004), el porcentaje promedio de pedregosidad era de 11-14%; muchos andenes presentaban niveles medios, entre 10-20% de pedregosidad.

Por último, la zona C (TC) corresponde a una ladera sin andenes (Tabla XIV). La principal característica de esta zona es la presencia de un afloramiento rocoso (*Figura 44 y Figura 45*), que cubre gran parte de la ladera, lo que pudo haber sido el principal impedimento para la instalación de las plataformas.

Tabla XIV: Descripción de las características de los puntos muestreados en la zona C

	Código de muestra	Altitud (msnm)	Descripción
Transecto C – Ladera sin andenes	TC-10%	3 586	Gran cantidad de rocas, cuya cantidad incrementa a los 16 cm de profundidad en el suelo, y raíces delgadas y pequeñas. Suelo con presencia de partículas amarillas.
	TC-30%	3 524	Presencia de excremento de ganado en superficie. Gran cantidad de rocas y raíces delgadas y finas. Suelo con presencia de partículas amarillas. A los 20 cm de profundidad, había un material grisáceo. Comunidad vegetal con variedad de especies en la superficie.
	TC-50%	3 445	Presencia de una especie herbácea dominante. Mayor cantidad de raíces en el suelo. Se encontró un tubérculo enterrado.
	TC-70%	3 388	Presencia de gran cantidad de rocas, hierbas y arbustos en la ladera. Raíces pequeñas y finas. Material rocoso a los 12 cm de profundidad; nido de hormigas a los 15 cm.
	TC-90%	3 348	Dominancia de vegetación tipo "ichu" y otras especies herbáceas. Superficie con rocas y menor cobertura de vegetación. Presencia de raíces y rocas pequeñas.



Figura 42: Parte de la zona A



Fuente propia, febrero de 2013

Figura 43: Parte de la zona B



Figura 44: Parte de la zona C



Figura 45: Afloramiento rocoso en la zona C

Fuente propia, febrero de 2013

6.2 Resultados de laboratorio

El trabajo en laboratorio entregó la información más importante para determinar la fertilidad de los suelos muestreados. Cada una de las propiedades físicas y químicas ha resultado de los procedimientos, seleccionados como los óptimos. A continuación, se presentan los valores obtenidos, describiendo el significado de estos para el suelo.

6.2.1 Textura

Las muestras de suelo presentaron los siguientes porcentajes por cada fracción, siendo el resultado final el promedio del duplicado de lecturas (Tabla XV) (Anexo 2).

El perfil TA presenta suelos con los porcentajes de la fracción arcilla con menor dispersión entre los cinco puntos, variando entre 16,2% y 27,02%. En cuanto a la fracción arena, sus porcentajes varían entre 35,85% y 59,20%.

El perfil TB presenta suelos con los porcentajes de arcilla entre 17,60% y 24,20%, rango que se asemeja al TA, con excepción del punto TB-50, que presenta un valor extremo de 36,28%. Los porcentajes de arena varían entre 31,83% y 47,68%, siendo el transecto que presenta la menor dispersión.

Por su parte, el perfil TC presenta suelos con porcentajes de arcilla relativamente bajos, comparado con TA y TB, entre 10,94% y 20,22%. En el caso de la arena, su porcentaje varía entre 38,84% y 54,49%, cuyo rango es semejante a los de TA y TB, con excepción del punto TC-50, que presenta un valor extremo de 60,34%.

En cuanto a la fracción de limo, los porcentajes se mantienen cercanos entre los tres transectos: TA = 24,62% – 35,12%; TB = 28,45% – 39,51%; TC = 28,66% – 41,86%.

Tabla XV: Resultados del análisis granulométrico. Proporción de arena, limo y arcilla en el suelo y clasificación textural

Zona	Código muestra	Proporción de las partículas			Clasificación textural	Altitud (msnm)
		Arena %	Limo %	Arcilla %		
Andenes en descanso	TA-10	46,48	31,53	21,99	Franca	3565
	TA-30	46,75	31,19	22,06	Franca	3495
	TA-50	59,20	24,62	16,19	Franco Arenosa	3384
	TA-70	52,35	30,16	17,49	Franco Arenosa	3320
	TA-90	37,85	35,12	27,02	Franco Arcillosa	3278
Andenes abandonados	TB-10	45,72	34,92	19,36	Franca	3621
	TB-30	37,76	39,51	22,74	Franca	3578
	TB-50	31,83	31,89	36,28	Franco Arcillosa	3539
	TB-70	47,35	28,45	24,20	Franca	3465
	TB-90	47,68	34,71	17,60	Franca	3389
Ladera sin andenes	TC-10	38,84	41,86	19,30	Franca	3586
	TC-30	47,50	32,28	20,22	Franca	3524
	TC-50	60,34	28,66	11,00	Franco Arenosa	3445
	TC-70	54,49	34,58	10,94	Franco Arenosa	3388
	TC-90	44,20	38,85	16,95	Franca	3348

Observando los porcentajes de cada fracción de forma aislada en los tres transectos, los valores no presentan comportamiento alguno en relación con la altitud.

A partir de los porcentajes de tres fracciones, se clasificaron las muestras del suelo según el sistema del USDA (Tabla XV). De los 15 puntos muestreados, 9 muestras de suelo, distribuidas entre las tres zonas, presentan la clase textural **franco**. Otras clases texturales que se presentan en las plataformas son **franco arcillosa**, en los puntos TA-90 y TB-50, y **franco arenosa**, en los puntos TA-50, TA-70, TC-50 y TC-70.

6.2.2 Densidad aparente

El valor mínimo de D.A. es $1,35 \text{ g/cm}^3$, que corresponde al punto TA-10; mientras que el valor más alto es de $1,95 \text{ g/cm}^3$, correspondiente al punto TB-90. Los valores más altos, en conjunto, están en TC, entre $1,58 \text{ g/cm}^3 - 1,83 \text{ g/cm}^3$, pero a su vez son los más homogéneos entre sí. TA presenta valores que varían entre $1,35 \text{ g/cm}^3 - 1,75 \text{ g/cm}^3$; TB, entre $1,46 \text{ g/cm}^3 - 1,95 \text{ g/cm}^3$ (Tabla XVI).

Un aspecto común en TA y TB es que los valores tienden a aumentar conforme se va ladera abajo; mientras que en TC no se presenta ningún tipo de comportamiento en relación con la altitud.

Tabla XVI: Resultados del análisis de densidad aparente

Zona	Código muestra	D.A. (g/cm ³)
Andenes en descanso	TA-10	1,35
	TA-30	1,68
	TA-50	1,61
	TA-70	1,72
	TA-90	1,75
Andenes abandonados	TB-10	1,51
	TB-30	1,65
	TB-50	1,46
	TB-70	1,78
	TB-90	1,95
Ladera sin andenes	TC-10	1,66
	TC-30	1,83
	TC-50	1,58
	TC-70	1,65
	TC-90	1,63

6.2.3 Potencial de hidrógeno

El valor de pH del suelo resultó del promedio de las tres lecturas (Anexo 3). El resultado final es acompañado de la desviación estándar, cuyo número refleja que no ha habido una variación significativa entre las tres lecturas. Estas se hicieron directamente en la solución, con una temperatura entre 18 y 22°C.

En general, las muestras se concentran en torno a un pH 7. El valor mínimo de pH es 6,27, que corresponde al punto TA-50, y el valor máximo es de 8.09, siendo el único por encima de pH 8 correspondiente al punto TC-90 (Tabla XVII).

Clasificando los valores de pH según el sistema del USDA, los suelos en TA van de pH ligeramente ácido a neutro; los valores de pH en TB son más altos, de neutro a ligeramente alcalino; mientras que en TC, el rango de los valores alcanzados es más amplio, con suelos de pH de ligeramente ácido a moderadamente alcalino. Las zonas A y C coinciden con tener los valores de pH más elevados ladera abajo, pero en B no se observa un comportamiento claro.

Tabla XVII: Resultados del análisis de pH y su clasificación

Zona	Código muestra	Temperatura (°C)	pH	Desviación estándar	Clasificación pH
Andenes en descanso	TA-10	19,2	6,90	0,036	Neutro
	TA-30	18,8	6,45	0,123	Ligeramente ácido
	TA-50	19,0	6,27	0,015	Ligeramente ácido
	TA-70	18,8	7,28	0,095	Neutro
	TA-90	19,6	7,30	0,012	Neutro
Andenes abandonados	TB-10	19,4	7,08	0,093	Neutro
	TB-30	18,2	7,48	0,074	Ligeramente alcalino
	TB-50	19,8	7,27	0,055	Neutro
	TB-70	20,0	7,43	0,046	Ligeramente alcalino
	TB-90	20,3	7,37	0,172	Ligeramente alcalino
Ladera sin andenes	TC-10	19,7	6,61	0,055	Ligeramente ácido
	TC-30	20,3	6,45	0,115	Ligeramente ácido
	TC-50	21,7	6,39	0,086	Ligeramente ácido
	TC-70	20,0	7,61	0,052	Ligeramente alcalino
	TC-90	19,9	8,09	0,069	Moderadamente alcalino

6.2.4 Conductividad eléctrica

El valor de pH del suelo resultó del promedio de las tres lecturas (Anexo 4). El resultado final es acompañado de su desviación estándar, que refleja la dispersión de los tres subresultados. A diferencia del pH, la conductividad eléctrica de una solución varía con el paso del tiempo, lo que explica los valores elevados de las desviaciones estándar.

Cabe resaltar que la C.E. se presenta en la unidad **ds/m**, pero dados los valores obtenidos se decidió presentarlos en **µS/cm**.

En los tres transectos, el comportamiento de los valores es similar al que presentan los valores de pH; la C.E. aumenta con la disminución de la altitud, con excepción del último punto del sector A (TA-90), que, contrario a la tendencia, presenta el valor más bajo de dicho transecto.

La C.E. de los puntos muestreados varía entre 174,8 a 683,3 µS/cm, valores que los califican como suelos no salinos. TA presenta los valores más elevados, entre 351,81 y 683,27 µS/cm, presentándose el valor máximo del conjunto total en el punto TA-70. Por el contrario, TB presenta los valores más bajos, entre 174,84 y 265,64 µS/cm,

presentándose el valor mínimo en el punto TB-10. TC presenta valores medios, entre 183,25 y 482,69 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Tabla XVIII).

Tabla XVIII: Resultados de la C.E. y su clasificación

Zona	Código muestra	C.E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Desviación estándar	Clasificación C.E.
Andenes en descanso	TA-10	404,61	3,76	No salino
	TA-30	553,92	5,73	No salino
	TA-50	591,73	4,01	No salino
	TA-70	683,27	4,95	No salino
	TA-90	351,81	1,40	No salino
Andenes abandonados	TB-10	174,84	0,13	No salino
	TB-30	182,66	0,26	No salino
	TB-50	223,08	1,25	No salino
	TB-70	195,26	4,39	No salino
	TB-90	265,64	3,22	No salino
Ladera sin andenes	TC-10	221,55	1,26	No salino
	TC-30	183,25	6,07	No salino
	TC-50	206,00	6,92	No salino
	TC-70	312,17	21,65	No salino
	TC-90	482,69	10,04	No salino

6.2.5 Contenido de macronutrientes: nitrógeno, fósforo y potasio

Los resultados del análisis del contenido de nitrógeno se presentan en porcentaje (%), mientras que el contenido de fósforo y potasio, en partes por millón (ppm).

En los tres transectos, el contenido de los macronutrientes no muestra un comportamiento diferenciado en relación con la altitud. Lo que sí se observa a primera vista es que TA presenta los contenidos más altos, tanto para N, P y K; mientras que TB y TC muestran valores similares, y bastante bajos comparados con A.

Los porcentajes de nitrógeno, en TA varían entre 0,12% y 0,18%; en TB varían entre 0,01% y 0,08%, presentándose los valores más bajos de los tres transectos; y en TC varían entre 0,01% y 0,14%, que es el de mayor rango de variación.

El contenido de fósforo, en TA varía entre 6,2 y 17 ppm, presentando los valores más altos; en TB varía entre 1,8 y 3,1 ppm, y en TC varía entre 1,5 y 2,4, presentándose, en promedio, los valores más bajos.

El contenido de potasio, en TA varía entre 108 y 503 ppm, siendo, nuevamente, el transecto con los mayores valores, en TB varía entre 42 y 122 ppm, y en TC varía entre 55 y 139 ppm, cuyos valores están cercanos.

Tabla XIX: Resultados de las proporciones de nitrógeno total (%), fósforo disponible (ppm) y potasio disponible (ppm) y su clasificación

Zona	Código muestra	N (%)	Clasificación	P (ppm)	Clas.	K (ppm)	Clas.
Andenes en descanso	TA-10	0,15	Medianamente rico	11,8	Medio	108	Medio
	TA-30	0,12	Medianamente rico	12,5	Medio	503	Alto
	TA-50	0,15	Medianamente rico	17	Alto	284	Alto
	TA-70	0,18	Rico	8,1	Medio	354	Alto
	TA-90	0,15	Medianamente rico	9,8	Medio	158	Medio
Andenes abandonados	TB-10	0,06	Pobre	3,1	Bajo	104	Bajo
	TB-30	0,08	Medianamente pobre	2,4	Bajo	42	Bajo
	TB-50	0,01	Extremadamente pobre	2,7	Bajo	122	Bajo
	TB-70	0,08	Medianamente pobre	1,8	Bajo	46	Bajo
	TB-90	0,08	Medianamente pobre	2,8	Bajo	93	Bajo
Ladera sin andenes	TC-10	0,08	Medianamente pobre	2,4	Bajo	81	Bajo
	TC-30	0,06	Pobre	1,9	Bajo	55	Medio
	TC-50	0,14	Medianamente rico	1,7	Bajo	139	Bajo
	TC-70	0,01	Extremadamente pobre	1,5	Bajo	80	Medio
	TC-90	0,13	Medianamente rico	2,4	Bajo	135	Medio

6.2.6 *Materia orgánica*

Los porcentajes del contenido de M.O. resultaron de promedio de las dos submuestras (Anexo 5).

El contenido de M.O. está entre 2,66 % y 6,13%, encontrándose ambos valores extremos en TC, lo que demuestra su rango mayor de variación. Los valores más homogéneos se encuentran en TA, presentado contenidos entre 3,86% y 5,25%. En TB, el porcentaje de M.O. varía entre 2,91% y 5,93% (Tabla XX).

Tabla XX: Resultados del contenido de materia orgánica y su clasificación

Zona	Código muestra	M.O. (%)	Clasificación
Andenes en descanso	TA-10	5,005	Alto
	TA-30	3,859	Medio
	TA-50	4,242	Alto
	TA-70	5,250	Alto
	TA-90	5,006	Alto
Andenes abandonados	TB-10	4,722	Alto
	TB-30	4,713	Alto
	TB-50	5,936	Alto
	TB-70	3,304	Medio
	TB-90	2,914	Medio
Ladera sin andenes	TC-10	4,284	Alto
	TC-30	2,668	Medio
	TC-50	6,127	Alto
	TC-70	4,734	Alto
	TC-90	5.322	Medio

7. ANÁLISIS COMPARATIVO Y DISCUSIÓN

La presente investigación considera que los sistemas de andenería es el medio más apropiado para el desarrollo de la actividad agrícola en la sierra, ya que la combinación de sus propiedades edáficas resulta en niveles de fertilidad adecuados para el crecimiento de los cultivos. Con el fin de analizar esta hipótesis, se delimitaron tres zonas en una ladera del sistema de andenería de la CC.CC. San Pedro de Laraos: una zona con andenes en periodo de descanso (A), una zona con andenes en situación de abandono (B) y una zona sin acondicionamiento de andenes (C). Estos fueron comparados en función de cada propiedad física y química, de las cuales se hicieron análisis estadísticos, cuyos valores se mencionan a lo largo de la discusión. Para mayor detalle, ver los anexos 6 a 10.

En las plataformas de las tres zonas predominan suelos de textura media o franca, considerada como la ideal al ser fácilmente laborables (Navarro, 2003: 25) y presentar un equilibrio entre permeabilidad y capacidad de retención del agua en el suelo (MINAG, 2011). Comparando la variación de las texturas entre zonas, A y C presentan un comportamiento similar, con textura franca en las partes más altas, y franco arenosa o textura moderadamente gruesa hacia las partes bajas de la ladera; un caso aparte es el punto TA-90, cuya textura es franco arcillosa. La zona B presenta plataformas con suelo franco; a excepción del punto TB-50 que presenta un suelo franco arcilloso. Las texturas franco arcillosa y franco arenosa también son consideradas adecuadas para la actividad agrícola.

Las proporciones de las partículas coinciden con las que encontró Chilón (1988) en los andenes ubicados en el distrito de San Pedro de Casta, en la misma subcuenca Santa Eulalia. El autor analizó muestras de suelo de una ladera sin acondicionar (A_{11}) y de un andén local en una zona experimental (A_p), tomando las muestras entre 0 – 20 cm de profundidad. En ambos casos, el suelo era de textura franca, con porcentajes de arena, limo y arcilla dentro del rango de valores obtenido en Laraos ($A_1 = 45,8$ % de arena; 31,8 % de limo; 22,4 % de arcilla / $A_p = 44$ % de arena; 39 % de limo; 17 % de arcilla). Adicionalmente, él encontró que a mayor profundidad la textura del suelo se hace más fina, debido a que el agua arrastra las partículas de menor diámetro a mayor profundidad en la plataforma por el proceso de infiltración, dejando suelos de textura medias a gruesas en la superficie; ello explicaría lo encontrado en Laraos.

Por su parte, Ogas (2006) realizó una evaluación y comparación de las propiedades edáficas en los suelos, dentro y fuera de las terrazas arqueológicas de la cuenca alta del Sistema Pirquitas, departamento de Ambato, Argentina. En ambas situaciones,

encontró suelos con textura franco limoso, franco, y franco arenoso, siendo esta última la predominante. Las dos últimas clases mencionadas también se presentan en Laraos; sin embargo, difieren en cuanto a los porcentajes relativos de las partículas. La arena varía entre 38,6 y 66,6 %, porcentaje similar al de Laraos; el limo, entre 16 y 61,7 %, un rango de variación mucho más amplio; pero la diferencia principal está en los porcentajes de arcilla, que están entre 0,6 – 9%; mientras que en Laraos, está por encima del 10%, llegando hasta un porcentaje máximo de 36,28% (Figura 46).

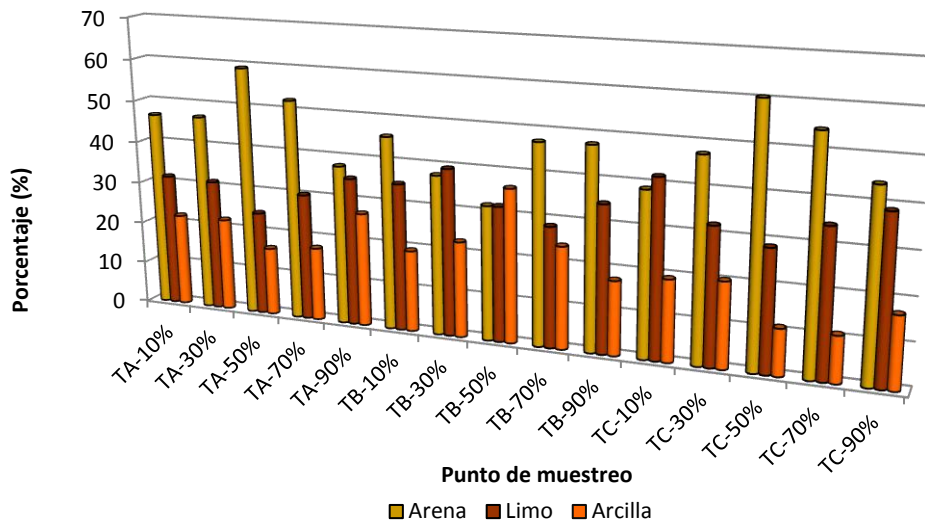


Figura 46: Comparación de los porcentajes relativos de arena, limo y arcilla entre zonas A, B y C

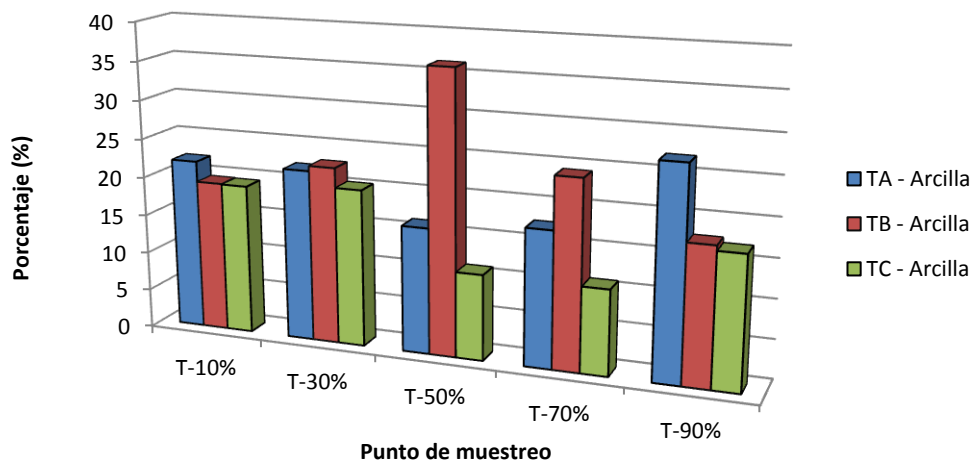


Figura 47: Variación del porcentaje de arcilla a lo largo de los transectos A, B y C

Un aspecto en el que sí se coincide con Ogas (2006) es que los niveles de arcilla son mayores en las plataformas de los andenes, A y B, frente al suelo de las laderas sin modificar (Figura 47). Ello se debería a que las plataformas, al estar en sentido horizontal o con una pendiente ligera, no exponen el suelo directamente a los efectos erosivos del viento y de las precipitaciones, evitando la disgregación de las partículas

o la movilización del suelo superficial (Gustafeson, 1957; citado por Cotler, 1986: 13). Así, se puede decir que la estructura de construcción de los andenes ejerce control sobre la erosión, lo que favorece la retención de partículas finas. En el caso de C, la cobertura vegetativa es la que brinda protección a la capa superficial del suelo, sobre todo frente a la escorrentía superficial (González, 1994).

La textura del suelo tiene relación con su densidad aparente (D.A.); así, cuanto más fina la textura, menor debe ser el valor de una D.A. ideal. A los suelos de textura franca les corresponde una D.A. entre 1,45 y 1,55 g/cm^3 ; franco arenosa, 1,55 y 1,60 g/cm^3 ; y franco arcillosa, 1,40 y 1,50 g/cm^3 (USDA). Según dichos valores, solo las muestras TB-10, TB-50 y TC-50 tienen una D.A. dentro de su intervalo ideal, señalado por un rectángulo amarillo en el gráfico V. TA-10 está por debajo del rango de referencia, y las 12 muestras restantes tienen valores por encima. Los valores elevados indicarían una compactación del suelo, debido al volumen acumulado de las precipitaciones, posible paso del ganado, y al paso de los años en que la tierra no ha sido removida.

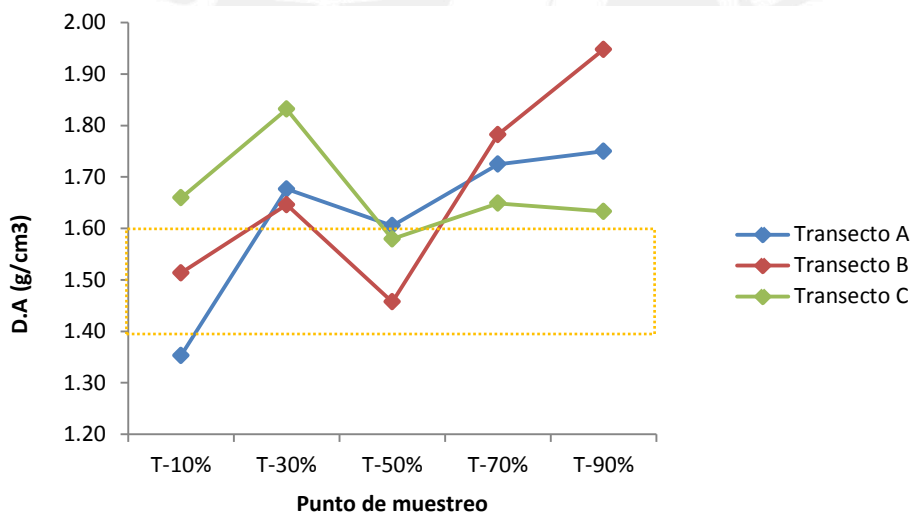


Figura 48: Comparación de la D.A. (g/cm^3) entre las zonas A, B y C y el rango de referencia ideal

Respecto al comportamiento de los valores con relación a la posición relativa en la ladera, la D.A. aumenta ladera abajo en A y B, mostrando un coeficiente de correlación (r) D.A.–Altitud de $-0,818$ en A y $-0,864$ en B. En C no hay una tendencia clara de los valores en función a la gradiente altitudinal, mostrando $r = +0,433$. Llama la atención los puntos con código T-50, ya que en las tres zonas, sobretodo en B, el valor tiene un comportamiento anormal, visualizándose como un quiebre (Figura 48).

Hasta este punto se han discutido los dos parámetros que determinan la fertilidad física del suelo: textura y densidad aparente. Si bien el comportamiento de los valores en relación con la gradiente altitudinal no es el mismo en las tres zonas, su variación

no contrasta fuertemente como para decir que la fertilidad física está más una zona. El suelo de las tres zonas es de clase textural franca, con dos de sus derivados en función de la variación en las proporciones de arena y arcilla. El comportamiento de la D.A. con la altitud es similar entre los andenes (A y B) y estos, a su vez, son contrarios con el de la ladera sin andenes. Sin embargo, no hay un sector que tenga sus valores enmarcados dentro del rango de referencia ideal, sino que lo superan, lo cual indicaría una compactación del suelo, pero que es posible de solucionar mediante su labranza. Entonces, la combinación de dichas propiedades hace que los suelos de A, B y C tengan, desde el punto de vista agrícola, condiciones estructurales adecuadas como para permitir el crecimiento de las raíces, retener la humedad, y permitir la aireación y la infiltración del agua en el suelo.

Las arcillas influyen en el comportamiento físico del suelo, pero también inciden en su aspecto químico. Esta clase de partículas presenta un comportamiento coloidal; es decir, presentan cargas negativas que les permite atraer y retener cationes (como Ca, Mg, K, Na, H y Al), convirtiéndose así en una reserva de nutrientes (MINAG, 2011). Sin embargo, el hecho de que el suelo presente nutrientes, no necesariamente significa que estos se encuentren disponibles para que los asimilen las plantas; ello depende del nivel de pH del suelo.

El pH afecta la disponibilidad de los nutrientes en la solución del suelo al controlar las formas químicas en que se presentan los elementos (Liu y Hanlon, 2012). Además, a partir del pH se pueden determinar las especies potenciales a cultivar, ya que cada una tiene un rango de pH idóneo en el que se desarrollan mejor, y un rango más amplio hasta donde pueden adaptarse. A la mayoría de los cultivos les favorece un suelo con pH entre 5.0 y 7.5 (MINAG, 2011: 15), pues es donde existe la mayor disponibilidad de los nutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas.

En las zonas de muestreo no hay una clasificación de pH representativa, encontrándose diferencias al interior de un mismo sector y entre las tres zonas: ligeramente ácido, neutro, ligeramente alcalino y moderadamente alcalino. En general, los valores se encuentran dentro del rango de mayor disponibilidad (*Figura 49*), con excepción de los puntos TC-70, ligeramente alcalino, y TC-90, moderadamente alcalino.

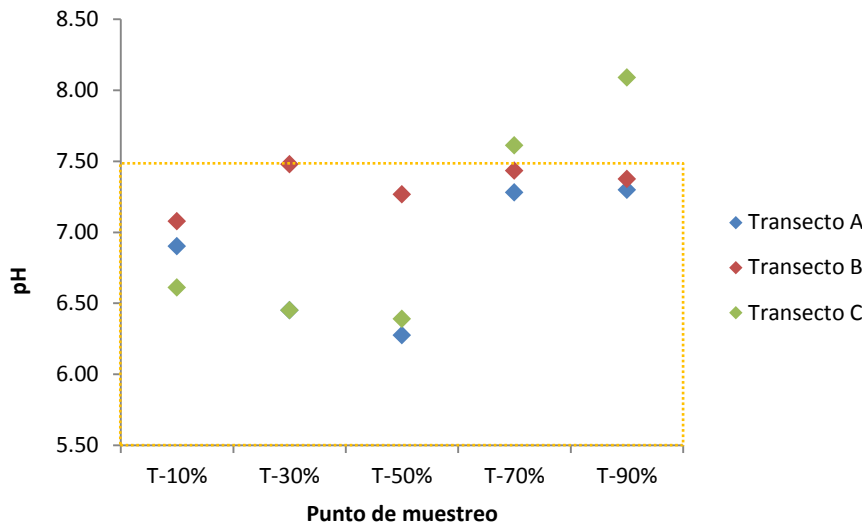


Figura 49: Comparación de los valores del pH entre las zonas A, B y C

En cuanto al comportamiento de los valores en relación a la posición en la ladera, B contrasta frente a A y C. La zona B presenta valores relativamente homogéneos y constantes a lo largo del transecto, con un valor promedio (\bar{X}) de 7,32, y presentando una desviación estándar (S) de 0,160. En cambio, los tres primeros valores de A y C disminuyen ligeramente ladera abajo, permaneciendo entre $6,0 < \text{pH} < 7,0$; a partir del punto al 70 % del transecto, los valores aumentan en relación inversa con la altitud, por encima de pH 7,0, sobretodo en TC, con pH de 7,61 y 8,09.

Los resultados de pH en los perfiles A y C se encuentran dentro del rango de valores presentados por Chilón (1988), entre ligeramente ácido en la ladera sin acondicionar (pH 6,4) y neutro en el andén de la zona experimental (pH 6,8). En Ogas (2006), el pH de sus suelos está entre fuertemente ácido (pH 5,15) y el límite entre moderadamente alcalino y fuertemente alcalino (pH 8,45). En su caso, existe una diferencia marcada entre los suelos fuera y dentro de las terrazas; los primeros tuvieron pH altos, entre 7.5 y 8.45; mientras que los suelos dentro de las terrazas estuvieron por debajo de 7,7. En Laraos, no hubo tal contraste, además que el pH tampoco tiene valores tan elevados, sino que se encuentran en torno al pH calificado como ideal ($\bar{X} = 7,07$; $S = 0,532$).

Las condiciones de pluviosidad influyen en el nivel de pH. El exceso de precipitaciones hace que se pierdan los iones solubles por lixiviación y, en consecuencia, se produce una acidificación del suelo (Navarro, 2003: 119). Por el contrario, el déficit hídrico en el perfil del suelo produce alcalinidad, debido a que ocurre un ascenso de agua con iones por capilaridad, lo que resulta en altas concentraciones de cationes básicos (Zapata, 2004: 51 y 56). En Laraos, a pesar de estar en un periodo de lluvias continuas, la reacción del suelo no pasa de ligeramente ácido, pues las partículas de arcilla, junto

con la materia orgánica, le otorgan capacidad de amortiguación para resistir a modificaciones de su pH.

Los niveles de pluviosidad inciden también en la acumulación de sales. Por estar en condiciones húmedas, los suelos de Laraos resultaron no salinos; las precipitaciones diarias de la época provocan la lixiviación de los suelos, reduciendo la cantidad de sales en ellos. A pesar de no presentar valores significativos, se puede hacer un análisis más detallado en función de la gradiente altitudinal. En las tres zonas, la C.E. aumenta con la disminución de la altitud, con correlaciones de A = 0,950 (excluyendo el punto TA-90, que disminuye abruptamente, llegando al valor más bajo del transecto), B = 0,835, y C = 0,783 (Figura 50).

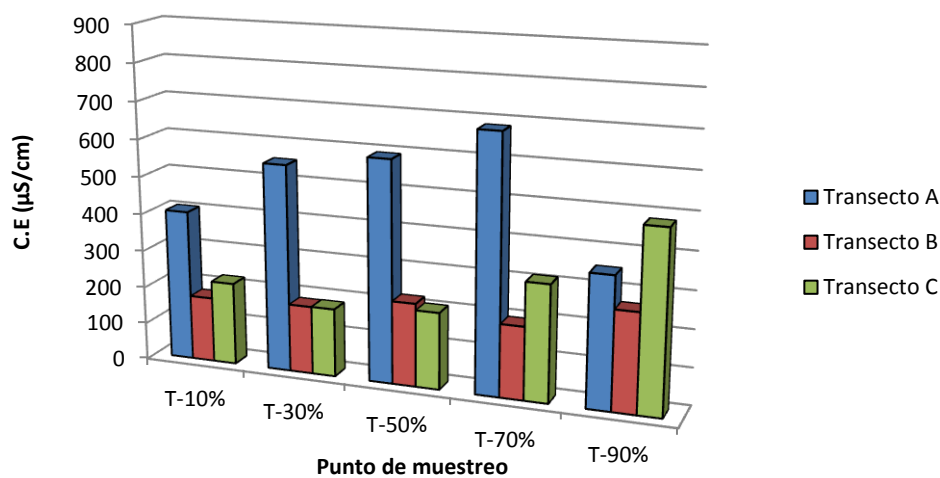
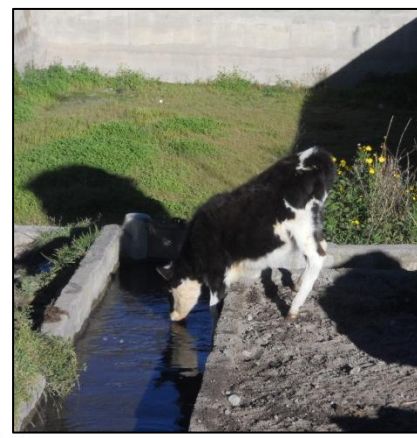
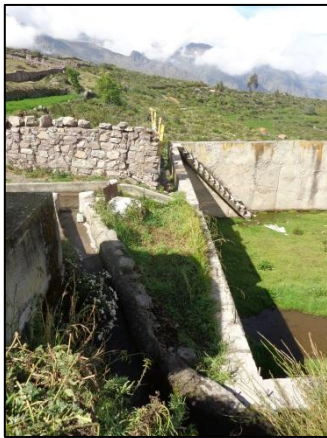


Figura 50: Comparación de los valores de C.E. entre las zonas A, B y C

Los puntos de A son los que claramente presentan una mayor C.E. promedio (A = 0,52; B = 0,21; C = 0,28). Las tres zonas están sometidas a las mismas condiciones naturales; por lo que se descarta salinidad de origen natural. La causa podría ser por la acción antrópica ya que, de las tres zonas, A ha recibido agua de riego a diferencia de los andenes en estado de abandono y la ladera en donde no se ha practicado actividad agrícola alguna.

El manejo del suelo, la aplicación de abono y la calidad de las aguas del sistema de regadío son algunas de las causas para una posible salinidad de origen antrópico (USDA, 2011). De ellas, se debe prestar atención al sistema de riego, ya que Limpe, el sector de donde se obtuvieron las muestras de A es el único que cuenta con canales de riego (Figura 51). La calidad de sus aguas podría estar siendo afectada porque los larahuinos arrojan desechos de todo tipo a las acequias alrededor del pueblo (Figura 52). El ganado también puede estar afectando, pues, al estar suelto, se acerca hasta

las acequias, dejando su excremento y los residuos que transporta en sus patas (Figura 53).



Fuente propia, mayo de 2012

Figura 51: Sistema de riego que provee de agua al sector Limpe

Figura 52: Acequia con desechos domésticos a la salida del pueblo

Figura 53: Vaca bebiendo de una acequia

El aporte de sales no es significativo, como ya se mencionó, pero vale tenerlo en cuenta si se piensa en el desarrollo de una agricultura ecológica, con buenas prácticas y acciones antrópicas limpias.

El contenido de M.O. suele ser bastante variable y está condicionado por el clima y la vegetación principalmente, pero a nivel local está determinado por la fisiografía, la naturaleza del material madre y el sistema de manejo agrícola (Zavaleta, 1992: 132). Los niveles de M.O. se deben juzgar a nivel regional; en Laraos, un porcentaje promedio ideal estaría a partir de 3%, ya que por debajo de 2% es considerado como bajo en la región Sierra (Zavaleta, *ídem*: 133).

A esta altitud, las temperaturas son bajas lo que retarda la descomposición de la materia orgánica haciendo que se acumule en el suelo superficial. Trece de los 15 puntos muestreados están por encima del porcentaje mínimo ideal (Figura 54). La zona A presenta los contenidos más homogéneos de M.O. entre sus plataformas, manteniéndose entre 4 y 5 % ($\bar{X} = 4,67$; $S = 0,59$); B parece tener contenidos de M.O. con una relación directa con la altitud ($r = 0,978$; excluyendo el punto TB-50, que se sale de tendencia, alcanzando el porcentaje más alto del transecto). El comportamiento en TC es más variable sin mostrar una tendencia clara ($\bar{X} = 4,63$; $S = 1,29$); sin embargo, al igual que TB, el punto TC-50 alcanza el porcentaje más alto del conjunto total de puntos.

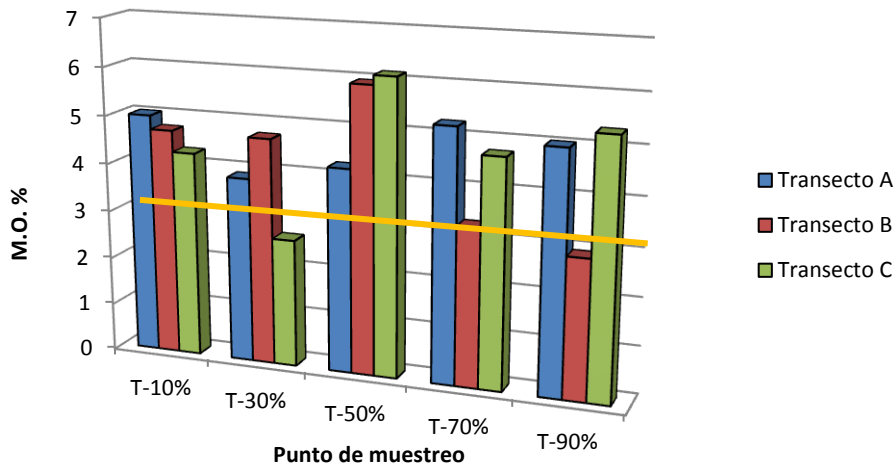


Figura 54: Comparación del contenido de M.O. entre las zonas A, B y C

En la Sierra peruana, el excremento del ganado siempre se ha utilizado y se continúa utilizando como fuente principal de abono y materia orgánica, y no es la excepción en Laraos, ya que abunda en muchas de las plataformas y en varios tramos de la ladera (Figura 55). Si bien no tenían planeada la siembra de las plataformas, la aplicación del excremento podría ser una forma para restituir los nutrientes al suelo durante el periodo de barbecho. Pero, también hay otras fuentes que aportan M.O. al suelo de forma natural, como la descomposición de los restos vegetales y animales.



Fuente propia, marzo 2013

Figura 55: Excremento de ganado en TB-10 y TB-70

Al comparar con Chilón (1988), tanto la ladera sin acondicionar como el andén de la zona experimental tienen contenidos de M.O. por debajo del 3 %, 2,8 % y 2,66 %, respectivamente. En el caso de Ogas (2006), los porcentajes de M.O. son ligeramente menores que los de Laraos. La mayoría de las terrazas argentinas contienen M.O. entre 2 – 3%, lo cual se atribuye a las condiciones regionales del clima. Un aspecto en el que se coincide es que los porcentajes son variables entre puntos muestreados, sin

haber un contraste evidente entre el contenido de M.O. en suelos de andenes y de laderas.

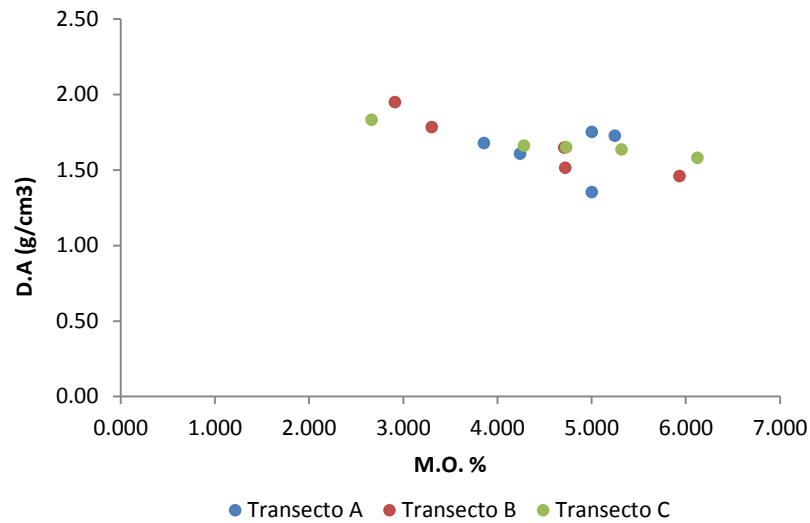


Figura 56: Correlación entre el contenido de M.O. (%) del suelo y su D.A. (g/cm^3)

La materia orgánica tiene efectos beneficiosos en muchas de las propiedades físicas y químicas del suelo. Por un lado, la mayor presencia de M.O. aumenta la cantidad de macro poros así como el volumen de aireación, con lo que mejora la circulación del aire. Por otro lado, aumenta la velocidad de infiltración y de circulación del agua al interior del suelo, con lo que favorece a su permeabilidad (Porta, 2003: 169). Ambas características del suelo están relacionadas con D.A., es por ello que existe una correlación indirecta ($r = -0,692$; $Ar = -0,065$; $Br = -0,945$; $Cr = -0,967$); es decir, a un mayor contenido de M.O., la D.A. del suelo disminuye (Figura 56).

Asimismo, la M.O. favorece a una mayor disponibilidad y, relativamente, un mayor contenido de los macronutrientes (NPK). La M.O. se la relaciona con el nitrógeno total debido a que 98 % de N en el suelo se encuentra formando compuestos orgánicos; por ello, se dice que la M.O. es una reserva de N (Perdomo, 1998: 2). Para el caso del fósforo, la presencia de M.O. en el suelo hace que los iones fosfatados estén libres en la disolución del suelo, pues al estar cargada de forma negativa sus ácidos orgánicos forman combinaciones complejas con cationes hidroxilados, como $Fe(OH)_2$, inmovilizando dichos iones y dejando en libertad los de P. Así la aplicación de estiércol favorece la asimilación de P e incrementa el contenido de P disponible en el suelo (Rojas, 2006: 29). Por último, respecto al potasio, el aporte de la M.O. es cuantitativamente poco importante; la mayor parte del potasio en el suelo se relaciona con la fracción inorgánica del suelo (Sierra y Rojas: 11), pues proviene de la desintegración y descomposición de rocas compuestas por minerales potásicos (Navarro, 2003: 259).

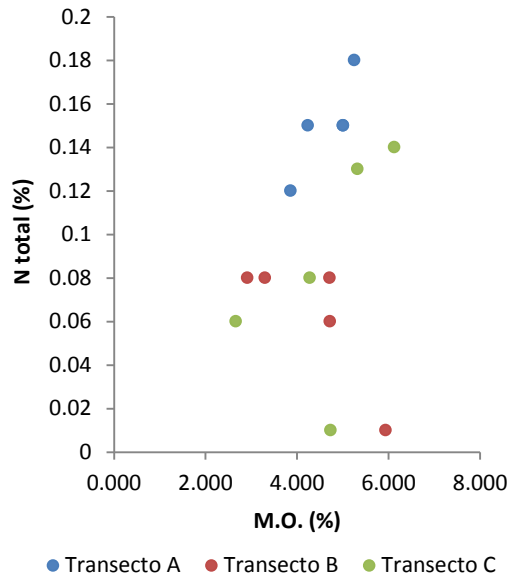


Figura 57: Correlación entre el contenido de M.O. (%) del suelo y la proporción de N total (%)

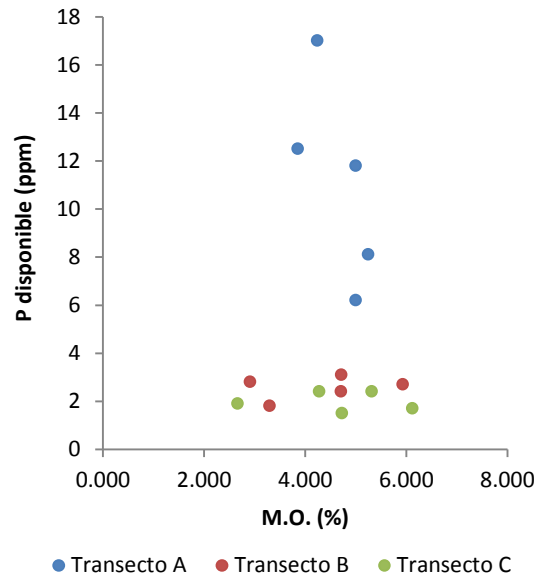


Figura 58: Correlación entre el contenido de M.O. (%) del suelo y la proporción de P disponible (ppm)

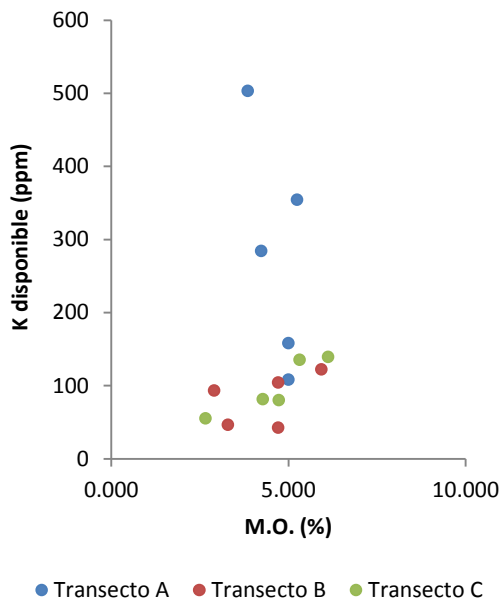


Figura 59: Correlación entre el contenido de M.O. (%) del suelo y la proporción de K disponible (ppm)

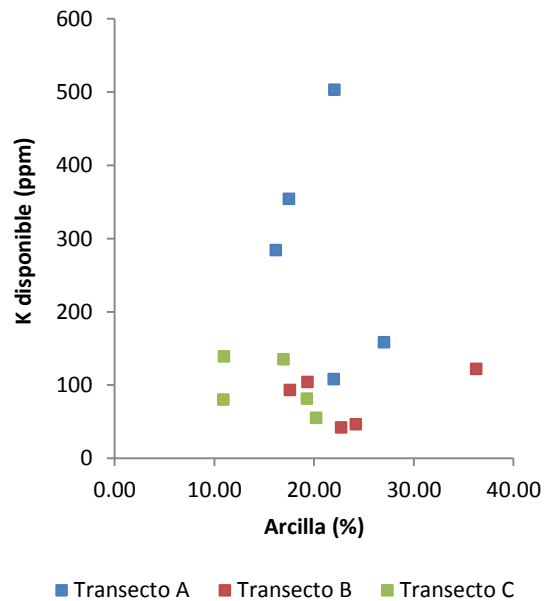
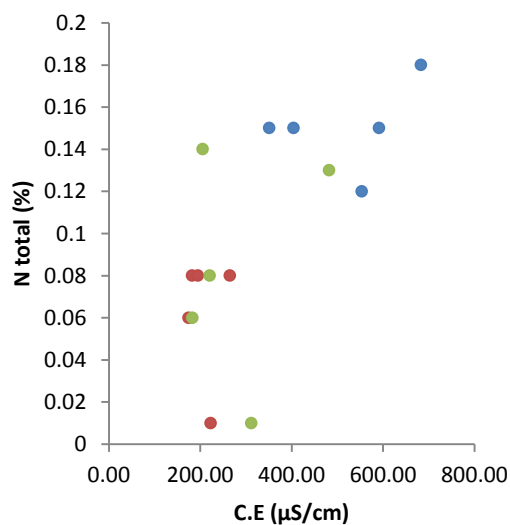


Figura 60: Correlación entre la proporción de arcilla (%) y K disponible (ppm)

Sin embargo, en los suelos de Laraos, no se observa una correlación notoria entre las proporciones de NPK y el porcentaje de M.O. El porcentaje de N total tiende a una relación directa, con excepción de B que es inversa ($r = 0,197$; $A_r = 0,831$; $B_r = -0,821$; $C_r = 0,568$), pero se esperaba una correlación fuerte en las tres zonas dado los porcentajes medios y altos de M.O. (Figura 57). Respecto al P disponible, su proporción no tiene una correlación con el contenido de M.O., salvo en A con una

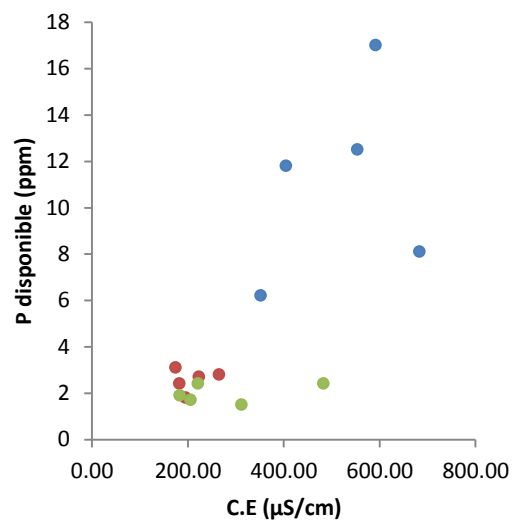
correlación ligeramente fuerte ($r = -0,010$; $Ar = -0,686$; $Br = 0,339$; $Cr = -0,079$) (Figura 58). Por lo dicho en el párrafo anterior, se esperaba encontrar una relación directa con la M.O., pues el color rojizo de los suelos, al secarlos a $105\text{ }^{\circ}\text{C}$, indica la presencia del elemento hierro (Fe) en abundancia. En cuanto al K disponible, sus valores parecen aumentar con la M.O. ($r = 0,085$; $Ar = -0,637$; $Br = 0,453$; $Cr = 0,913$) (Figura 59), pero en teoría los mayores aportes vienen por el lado de la fracción inorgánica del suelo; aunque, al correlacionarlo con el porcentaje relativo de arcilla se observa un correlación débil ($r = -0,049$; $Ar = -0,349$; $Br = 0,346$; $Cr = -0,477$) (Figura 60).

La propiedad con la que hay una correlación directa es la C.E., sobre todo para la zona A; siendo menos fuerte con N total ($r = \mathbf{0,673}$; $Ar = 0,335$; $Br = -0,082$; $Cr = 0,205$) (Figura 61), luego con P disponible ($r = \mathbf{0,755}$; $Ar = 0,317$; $Br = 0,162$; $Cr = 0,367$) (Figura 62), y más fuerte con K disponible ($r = \mathbf{0,812}$; $Ar = 0,700$; $Br = 0,376$; $Cr = 0,496$) (Figura 63). A esta propiedad se la ha correlacionado con las concentraciones de K, Na, Cl, SO_4^{2-} , NH_4^+ y NO_3^- en el suelo; por ello, es utilizada como un indicador indirecto para estimar la cantidad de nutrientes disponibles (USDA, 2011).



● Transecto A ● Transecto B ● Transecto C

Figura 61: Correlación entre C.E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y N total (%)



● Transecto A ● Transecto B ● Transecto C

Figura 62: Correlación entre C.E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y P disponible (ppm)

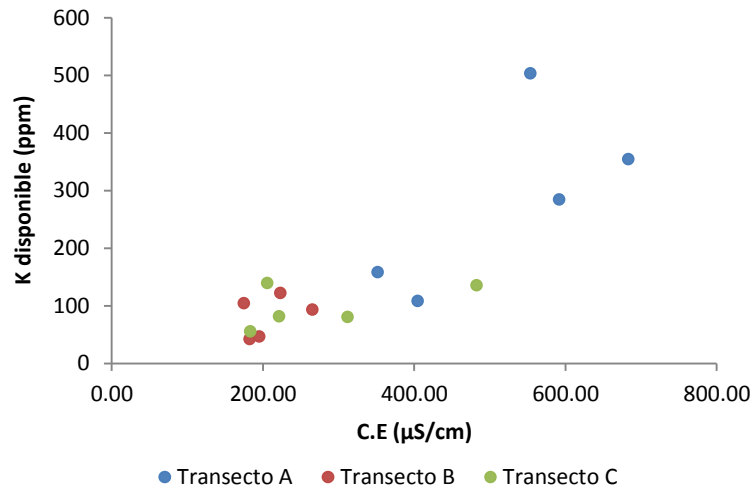


Figura 63: Correlación entre C.E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y P disponible (ppm)

Además de las propiedades edáficas, otros factores que afectan la cantidad y disponibilidad de NPK son las condiciones climáticas. Jenny encontró que en los suelos de ambientes templados existe una relación inversa entre el contenido de N y la temperatura, mientras que la relación es directa con las condiciones de pluviosidad (Fassbender, 1987: 200), lo mismo para el caso de los iones fosfato (Rojas, 2006: 30).

En Laraos, la zona A presenta las proporciones idóneas de N total, por encima de 0,096 % (Figura 64) (Fernandez, 2006) y P y K disponibles, por encima de 7 ppm (Figura 65) y 100 ppm (Figura 66) respectivamente (UNALM). En C, solo TC-50 y TC-90 tienen las proporciones de N y K idóneas, y en B, solo TB-10 y TB-50 tienen la proporción de K idóneo. Las muestras que no se han mencionado presentan proporciones bajas, siendo B el de menores proporciones. En las tres zonas, la temperatura y la humedad inciden de la misma manera; por lo que serían otros los factores que influyen en sobre los macro-elementos; por ejemplo, la cobertura vegetal.

Como consecuencia de las condiciones climáticas de la época, las laderas estaban completamente cubiertas por vegetación, que si bien sus restos constituyen un aporte de macronutrientes, primero necesitan asimilarlos para su desarrollo, provocando la disminución de sus proporciones en el suelo. De las tres zonas, la mayor presencia y diversidad de vegetación se encontraba en la zona B, los cuales pudieron haber asimilado ya los macronutrientes, explicando los bajos valores encontrados.

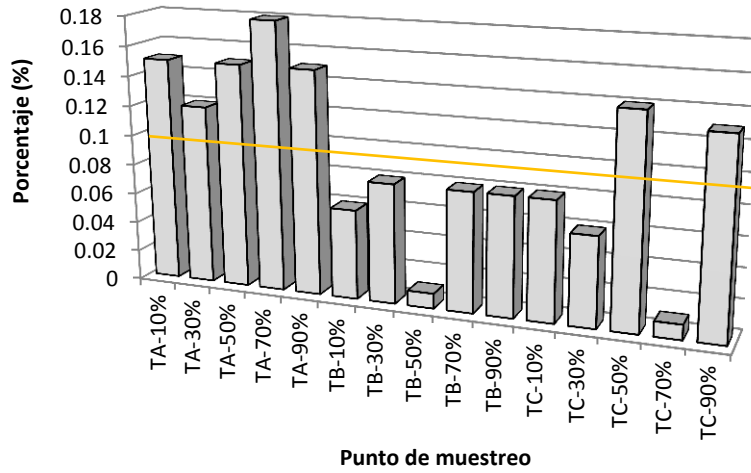


Figura 64: Porcentaje de N total en las zonas A, B y C

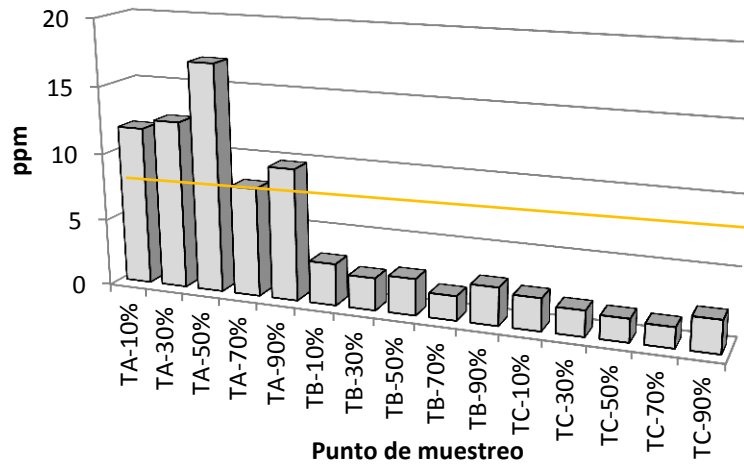


Figura 65: Proporción de P disponible en las zonas A, B y C

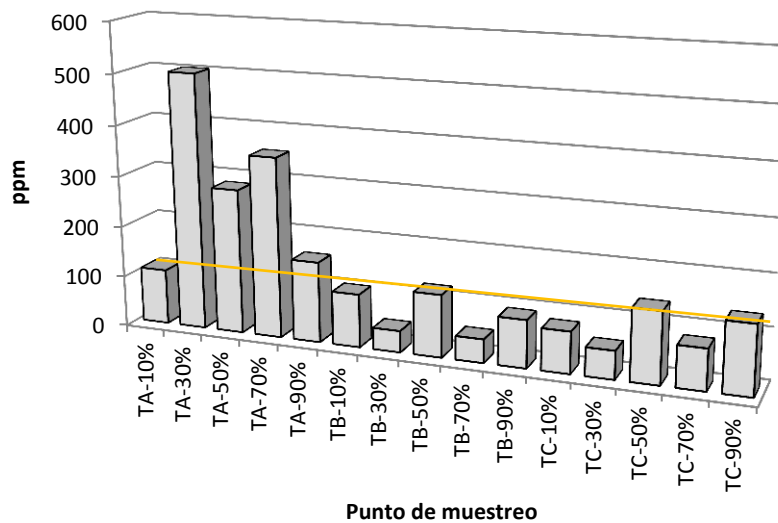


Figura 66: Proporción de K disponible en las zonas A, B y C

En contraste con las demás propiedades que no presentaron diferencias, en los contenidos de macronutrientes existe una diferencia significativa de la zona A frente a las zonas B y C. Los resultados obtenidos coinciden con lo esperado, con valores de NPK por debajo de los ideales en B y C. El abandono de los andenes conlleva a un incremento en la tasa de erosión del suelo y de la producción de sedimentos (Cotler, 1985; Treacy, 1989, citados por Inbar y Llerena, 2000: 72). En consecuencia, el contenido de materia orgánica y nutrientes en los primeros centímetros del suelo resultan bajos, o por debajo del límite de detección.

Las zonas B y C no llegaron al punto de tener contenidos por debajo del límite de detección; es más, en materia orgánica presentaron porcentajes elevados. Ello se debe a que, en la zona B, el plano horizontal y la estructura de los andenes ejercen control sobre la erosión; y tanto en B como en C, la cobertura vegetal estacional protege la capa superficial del suelo y a su vez constituye un aporte. Además de la vegetación, la superficie de los suelos estaba cubierta por piedras, las cuales reducen el impacto de las lluvias, disminuyendo la erosión.

A partir del análisis de los parámetros que determinan la fertilidad química del suelo: potencial de hidrógeno, conductividad eléctrica, macronutrientes (NPK) y materia orgánica, se puede decir que las zonas presentan diferencias entre sus valores, especialmente, en C.E. y NPK, que fueron los indicadores de variación entre las tres zonas. Aunque los niveles de C.E. son bajos en las tres zonas y califica a sus suelos como no salinos, en la zona A, los valores son claramente más elevados respecto a B y C, lo que podría deberse a un aporte adicional de sales proveniente del agua de riego y las aplicaciones de abono relativamente recientes. El contenido de NPK presenta las diferencias más significativas; A muestra los valores más elevados, por encima de mínimo ideal; mientras que en B están los valores más bajos.

A partir de las consideraciones anteriores, se puede decir que hay un desaprovechamiento de suelo con potencial agrícola en Laraos. Los resultados sugieren que el suelo en la zona A ha recuperado sus proporciones de NPK ideales, luego de un periodo de 5 años en barbecho, presentando las mejores condiciones químicas para el desarrollo agrícola. Los andenes abandonados y la ladera sin andenes también presentan condiciones físicas y químicas favorables para el crecimiento de los cultivos, excepto por los bajos contenidos de NPK.

La ventaja de los andenes está en que proporcionan un ambiente adecuado al suelo, al darle abrigo y un soporte plano que reduce la erosión del viento y de las precipitaciones, evitando la pérdida de suelo. Si las estructuras se dejan a merced del

clima y del paso del tiempo, el muro de piedra se desmorona, lo que poco a poco hace que se pierda el plano horizontal de la plataforma. Además, los andenes benefician a los cultivos, pero también al agricultor, quien es el que trabaja la tierra. La presencia de las plataformas, en medio de un ambiente montañoso y de pendientes, facilita el trabajo al campesino, al demandarle un menor esfuerzo físico y darle una mayor libertad para desplazarse, sin el riesgo de perder el equilibrio y caer ladera abajo.



8. CONCLUSIONES

Los sistemas de andenería son una tecnología prehispánica con varios aspectos para ser estudiados. Hay ciencias que ya han producido conocimiento sobre ellos, como la arqueología, dando a conocer su origen, uso y funciones que tuvo en el Perú antiguo; la antropología, explorando el papel actual de los andenes en las comunidades andinas; y la ingeniería, tratando de entender y replicar esta tecnología tradicional. Sin embargo, quedan vacíos en la producción de información, como es en la ciencia de la Edafología. En el Perú, no existen estudios sobre el suelo de los andenes a pesar de ser un recurso cultural que persiste y abunda en los Andes. Esta investigación pretende ser una contribución al conocimiento sobre los suelos de andenes.

A partir de los análisis en laboratorio, se ha encontrado que el suelo de las tres zonas presenta parámetros físicos que indican una adecuada fertilidad física. En su gran mayoría, los suelos presentaron textura franca, la cual los hace fácilmente laborables por el equilibrio en sus proporciones de arena, limo y arcilla. Por la variación de los porcentajes relativos de arena y arcilla, también se encontraron suelos de textura franco arcillosa y franco arenosa, pero que no dejan de ser adecuados para la agricultura. Los valores de densidad aparente estuvieron por encima del rango de referencia ideal según la clase textural, lo que indicaría una compactación de suelo.

En cuanto a las propiedades químicas, el pH de la mayoría de las muestras estuvo dentro del rango de mayor disponibilidad de nutrientes para los cultivos, en especial en la zona de los andenes en descanso, con suelos ligeramente ácidos y neutros; asimismo, el contenido de M.O. presentó los porcentajes adecuados, entre 3 y 5% en las tres zonas, cuya fuente de aporte estaría en la vegetación estacional. Los valores de ambos parámetros se encuentran en un intervalo que no contrasta significativamente entre las tres zonas; no obstante, los parámetros que presentaron variación son la C.E. y los contenidos de NPK. Si bien, la C.E. indica suelos “no salinos”, no se debe ignorar que la zona A tuvo valores por encima de los andenes abandonados y la ladera sin andenes, lo cual podría deberse a la calidad del agua de riego y al mismo contenido de NPK. Este último es el parámetro más sensible que diferencia la zona A frente a las zonas B y C. La primera presentó contenidos más elevados en los tres macronutrientes, encontrándose por encima del mínimo ideal; mientras que los valores más bajos estuvieron, principalmente, en la zona B.

A partir de los resultados alcanzados, se concluye que el sector A es el que presenta un suelo de mejor calidad, sobretodo, por sus parámetros químicos. Después de un periodo de 5 años en barbecho, los suelos habrían recuperado su fertilidad química,

teniendo sus proporciones de NPK en los niveles ideales. Ello no sucede en los andenes abandonados; sin embargo, el resto de sus propiedades presenta valores dentro de los rangos ideales, lo que no descarta que puedan reutilizarse luego de una rehabilitación de su estructura.

La generación de información sobre las propiedades edáficas que ha tenido esta investigación es la base para la toma de decisiones para un buen manejo del suelo, conllevando a una agricultura de montaña eficiente, basada en el conocimiento. Así, esta tecnología antigua podría convertirse, nuevamente, en una fuente alimentaria y en una actividad con aporte económico para la población local. Por ello que se debe rescatar y revalorar el sistema de andenería, un recurso cultural presente en gran parte del territorio andino peruano y que es el legado de las sociedades prehispánicas.



9. RECOMENDACIONES

Toda producción agrícola es resultado de la interacción de una serie de factores. Uno de ellos es el factor suelo, el objeto sobre el que se centra esta investigación, y cuyo reconocimiento se ha hecho a través del análisis de sus parámetros físicos y químicos. Sobre la base de las informaciones generadas es posible hacer una planificación de la actividad agrícola. No obstante, la presente investigación ha estudiado el suelo en un determinado estado y época; por lo que otros estudios complementarían la información. Por ello que se hacen las siguientes recomendaciones.

Algunas de las propiedades químicas analizadas varían con las condiciones estacionales. El muestreo se realizó durante la época húmeda (febrero – marzo); sería recomendable replicar el estudio pero en época seca; por ejemplo, programando una salida entre julio – agosto. Durante estos meses no solo cambia el nivel de las precipitaciones, sino que ello tiene consecuencia sobre el grado y el estado de la cobertura vegetal. Ambos factores generarían cambios en el pH, en los contenidos de M.O. y NPK, y quizás en la textura del suelo.

Asimismo, sería interesante realizar un estudio a los andenes previos a ser sembrados; es decir, con un suelo labrado, para constatar si hay diferencia en las propiedades físicas, sobretodo en la D.A. Posteriormente, repetir los puntos de muestreo luego de la etapa de cosecha, para comparar la variación, esta vez, en cuanto al contenido de M.O. y NPK principalmente.

Si bien los valores de C.E. fueron bajos, la zona A presentó valores superiores al de B y C, lo cual podría deberse a que las aguas que llegan del sistema de riego aportan cierta cantidad de sales. Para corroborar lo planteado, sería recomendable acompañar el análisis de suelo con un estudio de la calidad del agua del reservorio y de las acequias alrededor del pueblo y que riegan el sector Limpe.

BIBLIOGRAFÍA

AGENCIA AGRARIA (2012). *Diagnóstico situacional de la Agencia Agraria Santa Eulalia*. Gobierno Regional de Lima, Dirección Regional de Agricultura de Lima.

ASTM (1995). ASTM International D2974-07: Standard Test Methods for Moisture, Ash, and Organic Matter of Peat and Other Organic Soils. Reapproved 1995.

----- (2007). ASTM International D422 – 63: Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils. Reapproved 2007.

BLOSSIERS, J.; DEZA, C.; LEÓN, B.; SAMAMÉ, R. (2000). "Agricultura de laderas a través de Andenes, Perú". *Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia*. Santiago, número 13, pp. 195 – 215. En la web: <http://www.fao.org/docrep/010/ai128s/ai128s00.htm>. Consulta: 27 de setiembre de 2012.

BUDUBA, C. (2004). "Muestreo de suelos. Criterios básicos". *Patagonia Forestal*. CIEFAP-UNPSJB, N° 1, pp. 9 – 12. En la web: http://ciefap.org.ar/documentos/fichas/FTA10N1Muestreo_de_suelos.pdf. Consulta: 20 de octubre de 2012.

BUSMAN, L.; LAMB, J.; RANDALL, G.; REHM, G.; SCHMITT, M. (2002). *The nature of phosphorus in soils*. Universidad de Minnesota. En la web: <http://www.extension.umn.edu/agriculture/nutrient-management/phosphorus/the-nature-of-phosphorus/index.html>. Consulta: 15 de agosto de 2014.

CHILÓN, E. (1988). "Uso racional de laderas, recuperación de andenes y otras medidas de conservación del suelo en la comunidad de San Pedro de Casta - Lima (cuenca del río Santa Eulalia)". Tesis de Maestría en Suelos. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina, Escuela de Post-Grado.

COSUDE. "Modulo 3: Manejo de la fertilidad del suelo". *Desarrollando habilidades de los productores de la Sierra para articularse con los mercados*. Programa PYMAGROS. Lima. En la web: http://www.cooperacion-suiza.admin.ch/peru/ressources/resource_es_97814.pdf. Consulta: 24 de noviembre de 2012.

COTLER, H. (1986). "Inventario, evaluación y uso de los andenes de la sub-cuenca del río Rímac". Tesis de licenciatura en Ingeniería Agrónoma. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Agronomía.

CRESPO, G. (2004). "Comportamiento y perspectivas de los métodos de evaluación y control de la fertilidad de los suelos". *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. La Habana, volumen 38, número 3, pp. 227 – 234. En la web: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=193017849001>. Consulta: 01 de octubre de 2012.

DESCO (2012). Taller Interregional sobre tecnología de andenes y su impacto en la agricultura (Tacna, Moquegua y Arequipa). Caylloma. En la web: http://www.descosur.org.pe/andenes/evento_andenes_Colca_2012.pdf?x=7220. Consulta: 10 de agosto de 2014.

EARLS, J. (2006). "Bases de la investigación". *Topoclimatología de Alta Montaña: Una experiencia en la vertiente oriental andina*. Lima: Códice ediciones.

ELRASHIDI, M.A. Selection of an Appropriate Phosphorus Test for Soils. Soil Survey Laboratory, USDA NRCS. En la web: http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051918.pdf. Consulta: 06 de diciembre de 2013.

FAO. AGRICULTURA. En la web: <http://www.fao.org/docrep/014/am859s/am859s01.pdf>. Consulta: 8 de abril de 2013.

----- (2009). *Guía para la descripción de suelos*. 4ta edición. Roma: FAO. 111 pp.

----- (2011). *El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura*. Roma: FAO. 48 pp.

----- (2012). “La subnutrición en el mundo en el 2012”. *El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo*. Roma: FAO, pp. 8 – 14.

FASSBENDER, H.W.; BORNEMISZA, E. (1987). *Química del Suelo con énfasis en suelos de América Latina*. 2da ed. San José, Costa Rica: IICA. 420 pp.

FELIPE-MORALES, C. (2004). “Balance de las investigaciones sobre andenes en el Perú”. En LLERENA, Carlos; Moshe INBAR y María BENAVIDES. *Conservación y abandono de andenes*. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina, Universidad de Haifa, pp. 66-69.

FELIPE-MORALES, C; SABOGAL, A. (2014). “Dialogo sobre avances de investigación en andenes y temas a desarrollar a futuro”. Trabajo presentado en el II Congreso Internacional de Terrazas. Cusco.

FERNÁNDEZ, L.; ROJAS, N.; ROLDÁN, T.; RAMIREZ, M.; ZEGARRA, H.; URIBE, R.; REYES, R.; FLORES, D.; ARCE, J. (2006). “Análisis físicos y químicos en suelo”. *Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados*. Instituto Nacional de Ecología. México D.F., pp. 18 – 88.

FUENTES, H. (2010). “Mujer y seguridad alimentaria en los altos Andes del Perú”. *NOSOTRAS: La mujer rural en el Perú*. DESCO. Lima, número 1, pp. 6 – 7. En la web: http://www.desco.org.pe/sites/default/files/noticias/files/bol_nosotras1_1.pdf. Consulta: 16 de abril de 2014.

GALLEGOS DEL TREJO, A. (1997). *La aptitud agrícola de los suelos*. México: Trillas.

GILABERT, J.; LOPEZ, I.; PÉREZ, R. (1990). “Determinación de Fósforo” y “Determinación de Potasio”. *Análisis de suelos para diagnóstico de fertilidad. Manual de métodos y procedimientos de referencia*. Maracay: Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. En la web: http://www.sian.inia.gob.ve/repositorio/manuales_suelos/analisis_suelos_fertilidad/. Consulta: 20 de abril de 2014.

GONZÁLEZ, J.C.; ECHEVARRÍA, M.T.; PELLICER, F. (1994). “Variaciones espaciales de la textura en laderas de exposición topográfica contrastada en el semiárido aragonés”. *Cuadernos de Investigación Geográfica*. Año 1994-95, número 20-21, pp. 7-22. En la web: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=262435>. Consulta: 25 de noviembre de 2013.

INBAR, M; LLERENA, C. (2004). “Procesos de erosión en andenes agrícolas andinos en la cuenca del río Santa Eulalia, Lima, Perú”. En LLERENA, C.; INBAR, M.; BENAVIDES, M.

Conservación y abandono de andenes. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina, Universidad de Haifa, pp. 141- 148.

INEI (1981). Censo Nacional VII de Población y III de Vivienda. En la web: <http://censos.inei.gob.pe/censos1981/redatam/>. Consulta: 10 de enero de 2014.

----- (1993). Censo Nacional IX de Población y IV de Vivienda. En la web: <http://censos.inei.gob.pe/censos1993/redatam/>. Consulta: 10 de enero de 2014.

----- (2007). Censo Nacional XI de Población y VI de Vivienda. Sistema de Consulta de datos de Centros Poblados y Población Dispersa.

JARAMILLO, D. (2002). *Introducción a la Ciencia del Suelo*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. 613 pp.

KENDALL, A. (2008). *Tecnología tradicional andina: Rehabilitación agrícola y ambiental para el desarrollo rural del sector comunal*. 2da Edición. The Cusishaca Trust – Asociación Andina Cusishaca. 58 pp.

KENDALL, A.; DEN OUDEN, G. (2008). “Terrazas, una infraestructura agrícola como contribución a las estrategias de manejo de riesgos climáticos”. Ponencia presentada en el XII Congreso de Historia Agraria, Córdoba, España. En la web: seha.info/congresos/01_05.pdf. Consulta: 15 de mayo de 2014.

KENDALL, A.; RODRIGUEZ, A. (2001). “Restauración agrícola en los Andes: aspectos socio-económicos de la rehabilitación de terrazas en regiones semi-áridas”. Ponencia presentada en el II Encuentro sobre Historia y Medio Ambiente, Huesca, España. En la web: <http://www.condesan.org/memoria/SOWA0201.pdf>. Consulta: 04 de abril de 2014.

----- (2009). *Desarrollo y Perspectivas de los Sistemas de Andenerías en los Andes Centrales del Perú*. Cusco: Centro Bartolomé de las Casas, Instituto Francés de Estudio Andinos. 312 pp.

LIU, G.; HANLON, E. (2012). *Soil pH Range for Optimum Commercial Vegetable Production*. HS1207 Florida: University of Florida. En la web: <http://edis.ifas.ufl.edu/hs1207>. Consulta: 09 de agosto de 2014.

LLERENA, C.; INBAR, M.; DE LA TORRE, A. (2004). “Caracterización de andenes en la cuenca del río Santa Eulalia, Lima, Perú”. En LLERENA, C.; INBAR, M.; BENAVIDES, M. *Conservación y abandono de andenes*. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina, Universidad de Haifa, pp. 166 – 176.

LOPEZ, D. (1998). “Procesos de erosión hídrica en andenes abandonados de la comunidad campesina de San Juan de Iris – Lima”. Tesis de Maestría en Conservación de Recursos Forestales. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina, Escuela de Post-Grado.

MARAPI, R. (2013). “Andenes: cuando el pasado, el presente y el futuro se encuentran”. *La Revista Agraria*. Lima, número 148, pp. 7 – 9. En la web: <http://www.larevistaagraria.org/sites/default/files/revista/LRA148/Andenes%20cuando%20el%20pasado%20el%20presente%20y%20el%20futuro%20se%20encuentran.pdf>. Consulta: 05 de marzo de 2014.

MASSON, L. (1993). "Contribución al conocimiento de los andenes". *Debate Agrario*. Lima, número 19, pp. 1 – 27. En la web: http://www.cepes.org.pe/debate/debate19/01_Articulo.pdf. Consulta: 21 de setiembre de 2012.

MINAG (2011). *Cadena Agroproductiva de Papa. Manejo y Fertilidad de Suelos*. Dirección General de Competitividad Agraria. Lima. En la web: http://agroaldia.minag.gob.pe/biblioteca/download/pdf/manuales-boletines/papa/manejo_y_fertilidaddesuelos.pdf. Consulta: 26 de noviembre de 2013.

----- "Suelos". *Sector Agrario*. En la web: <http://www.minag.gob.pe/portal/sector-agrario/recursos-naturales/suelo/clasificaci%C3%B3n>. Consulta: 6 de junio del 2013.

NAVARRO, S.; NAVARRO, G. (2003). *Química Agrícola*. 2da edición. Madrid: Mundi Prensa.

OGAS, R.; PERNASETTI, O.; AGÜERO, J.; GONZÁLEZ, M.; WATKINS, P.; GÓMEZ, C.; SALAS, M.; KRISKAUSKY, N. (2006). "Evaluación de la fertilidad de los suelos de las terrazas arqueológicas de la cuenca alta del sistema Pirquitas". *Revista del CIZAS*. Volumen 7, número 1 y 2, pp. 37 – 46. En la web: <http://www.editorial.unca.edu.ar/Publicacione%20on%20line/CIZAS/imagenes/pdf/V1y2/4.%20Ogas.37-46.pdf>. Consulta: 18 de setiembre de 2012.

PALACIOS, O.; CALDAS, J.; VELA, C. (1992). "Estratigrafía". *Geología de los cuadrángulos de Lima, Lurín, Chancay y Chosica*. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Lima, número 43, pp. 13 – 56.

PANREAC COMPANY. (2011). *Determinación de nitrógeno por el método Kjeldahl*. En la web: http://www.panreaC.E.s/pdf/determinacion_nitrogeno_esp.pdf. Consulta: 19 de abril de 2014.

PEASE, F. (2007). "La Economía de los Incas". *Los Incas*. 4ta edición. Lima: Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú, pp. 53 – 94.

PERDOMO, C.; BARNAZÁN, M.; DURÁN, J. (1998). *Nitrógeno*. Desarrollo de material didáctico. Montevideo. En la web: <http://www.fagro.edu.uy/~fertilidad/publica/Tomo%20N.pdf>. Consulta: 21 de julio de 2014.

PNUMA (2002). "Estado del medio ambiente y medidas normativas: 1972 – 2002: Zonas urbanas". *Perspectivas del Medio Ambiente mundial 2002 GEO-3*. Madrid: Mundi Prensa. En la web: <http://www.unep.org/geo/GEO3/spanish/403.htm>. Consulta: 23 de noviembre de 2013.

PORTA, J.; LÓPEZ, M.; ROQUERO, C. (2003). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. 3era edición. Madrid: Mundi Prensa. 929 pp.

REHM, G.; SCHMITT, M. (2002). *Potassium for crop production*. Universidad de Minnesota. En la web: <http://www.extension.umn.edu/agriculture/nutrient-management/potassium/potassium-for-crop-production/index.html>. Consulta: 15 de agosto de 2014.

ROJAS, C. (2006). "Interpretación de la disponibilidad de Fósforo en los Suelos de Chile". En CAMPILLO, Ricardo. *Manejo de los recursos naturales en el sistema de incentivos para*

la recuperación de suelos degradados de la Araucanía. Temuco: Instituto de Investigaciones Agropecuarias, pp. 24 – 43.

ROSTWOROWSKI, M. (1999). “Los Recursos Rentables del Tahuantinsuyu”. *La Historia del Tahuantinsuyu*. 2da Edición. Lima: Instituto de Estudios Peruanos.

SALA, M.; BATALLA, R. (1996). “Edafología”. *Teoría y Métodos en Geografía Física*. Serie Espacios y Sociedades. Madrid: Editorial Síntesis, pp. 115 – 136.

SANTILLANA, J. (1999). “Andenes, Canales y Paisaje”. *Los Incas: Arte y Símbolos*. Lima: Banco de Crédito del Perú, pp. 77 – 107.

SIERRA, C.; ROJAS, C. *La materia orgánica y su efecto en las características físico-químicas y biológicas del suelo*. INIA. En la web: <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/serieactas/NR29542.pdf>. Consulta: 15 de agosto de 2014

SSDS (1993). “Examination and Descriptions of Soils”. *Soil survey manual. Handbook No. 18*. Washington D.C: USDA.

TABOADA, L. (2011). *Rehabilitación de Andenes. La experiencia de la Comunidad Campesina de San Juan de Iris*. Lima: PRONAMACHCS. En la web: <http://es.scribd.com/doc/77781711/Rehabilitacion-de-andenes-en-San-Juan-de-Iris>. Consulta: 27 de agosto de 2012.

TANTALEÁN, J. (2011). “El uso de la mita en un nuevo universo de dominación” y “Las reducciones indígenas”. *El virrey Francisco de Toledo y su tiempo*. Dos volúmenes. Lima: Fondo Editorial de la Universidad San Martín de Porres, pp. 191 – 228.

THOMAS, J. (2000). “Soil Test Phosphorus: Olsen P”. *Methods of Phosphorus Analysis for Soils, Sediments, Residuals, and Waters*. Manhattan, número 396, pp. 20 – 21. En la web: http://www.soil.ncsu.edu/sera17/publications/sera17-2/pm_cover.htm. Consulta: 20 de abril de 2014.

USDA (1999). *Soil Quality Test Kit Guide*. Washington. D.D: Agricultural Research Service and Natural Resources Conservation Service-Soil Quality Institute. En la web: http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044790.pdf. Consulta: 16 de noviembre de 2013.

----- (2011). *Soil Quality Indicators: Soil Electrical Conductivity*. Washington D.C: USDA. En la web: <http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/health/assessment/?cid=stelprdb1237387>. Consulta: 09 de agosto de 2014.

----- (2011). *Soil Quality Indicators: Soil pH*. Washington D.C: USDA. En la web: <http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/health/assessment/?cid=stelprdb1237387>. Consulta: 09 de agosto de 2014.

ZAPATA, R. (2004). “Origen de la acidez del suelo”. *Química de la Acidez del Suelo*. Medellín. En la web: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1735/>. Consulta: 29 de noviembre del 2013.

ZAVALETA, A. (1992). *Edafología: El suelo en relación con la Producción*. Lima: A & B S.A. 223 pp.

ANEXOS

1. Lecturas del hidrómetro (g/L), dos submuestras

Código	Tiempos de lectura (ASTM International D422-63)						
	40 "	2 '	5 '	15 '	30 '	60 '	120 '
TA-10	28,7	24,2	20,7	17,7	15,7	13,7	11,6
	24,8	22,1	19,7	17,3	15,3	12,4	10,4
TA-30	26,5	22,7	19,8	17,5	16,2	14,3	11,6
	26,7	22,1	19,9	16,2	15,1	12,4	10,4
TA-50	18,5	16,4	14,7	10,6	9,1	8,2	8,0
	22,3	18,6	16,4	12,2	11,3	9,3	8,2
TA-70	24,2	21,3	18,3	15,8	13,8	11,4	9,8
	23,5	20,3	16,3	14,3	12,1	10,1	7,7
TA-90	30,4	26,4	23,4	19,4	18,2	16,5	13,5
	31,7	27,7	24,9	22,0	20,3	18,4	13,5
TB-10	26,7	22,9	19,5	16,3	14,3	11,8	9,5
	27,6	23,6	20,6	16,8	14,6	11,8	9,8
TB-30	30,7	26,2	23,0	18,5	15,9	13,4	10,5
	31,6	27,6	23,9	19,9	17,0	14,1	12,2
TB-50	34,6	30,6	27,6	24,7	22,7	19,8	18,0
	33,5	29,5	27,5	24,3	22,5	20,2	18,3
TB-70	26,1	22,7	20,4	17,2	14,9	13,4	11,7
	26,6	23,6	20,6	17,8	15,5	13,9	12,5
TB-90	26,3	22,8	18,9	14,9	12,8	10,3	8,3
	26,0	21,5	18,5	15,1	13,5	12,0	9,3
TC-10	30,6	24,3	20,6	15,7	13,7	11,6	9,8
	30,6	25,2	21,1	16,4	15,4	13,4	9,5
TC-30	25,9	21,7	18,2	14,7	13,1	11,4	9,8
	26,6	21,9	18,2	14,7	14,2	11,6	10,4
TC-50	20,4	15,4	12,5	10,0	8,5	7,2	5,5
	19,2	14,7	11,7	8,9	7,8	6,7	5,5
TC-70	24,1	20,1	15,4	11,2	10,1	7,3	6,2
	21,4	16,6	13,4	9,4	8,1	6,3	4,7
TC-90	28,2	23,6	19,8	16,6	14,7	10,9	8,6
	27,6	22,6	19,6	15,6	12,8	10,7	8,4

2. Proporciones de arena, limo y arcilla, dos submuestras.

Código	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)
TA-10	23,1	34,3	42,6
	20,9	28,8	50,3
TA-30	23,2	29,8	46,9
	20,9	32,6	46,6
TA-50	15,9	21,2	62,9
	16,4	28,1	55,5
TA-70	19,6	28,8	51,6
	15,4	31,6	53,1
TA-90	27,0	33,8	39,2
	27,0	36,5	36,5
TB-10	19,0	34,4	46,6
	19,7	35,5	44,8
TB-30	21,0	40,4	38,6
	24,4	38,7	36,9
TB-50	36,0	33,3	30,8
	36,6	30,5	32,9
TB-70	23,3	28,8	47,9
	25,1	28,1	46,8
TB-90	16,5	36,2	47,3
	18,7	33,3	48,1
TC-10	19,5	41,6	38,8
	19,1	42,1	38,8
TC-30	19,7	32,1	48,2
	20,8	32,4	46,8
TC-50	11,0	29,8	59,2
	11,0	27,5	61,5
TC-70	12,4	35,8	51,8
	9,5	33,3	57,2
TC-90	17,2	39,2	43,7
	16,8	38,5	44,7

3. Lecturas de pH del suelo, tres lecturas por cada muestra.

Código	t. lectura	T (°C)	pH	\bar{X} pH	S
TA-10	0	19,1	6,91	6,90	± 0,036
	30'	19,3	6,86		
	60'	19,3	6,93		
TA-30	0	18,4	6,59	6,45	± 0,123
	30'	18,8	6,40		
	60'	19,1	6,36		
TA-50	0	18,7	6,26	6,27	± 0,015
	30'	19,1	6,27		
	60'	19,3	6,29		
TA-70	0	18,3	7,17	7,28	± 0,095
	30'	18,8	7,33		
	60'	19,2	7,34		
TA-90	0	19,4	7,31	7,30	± 0,012
	30'	19,6	7,29		
	60'	19,9	7,29		
TB-10	0	19,5	7,18	7,08	± 0,093
	30'	18,7	7,05		
	60'	20,1	7,00		
TB-30	0	19,6	7,41	7,48	± 0,074
	30'	17,0	7,56		
	60'	17,9	7,47		
TB-50	0	19,6	7,21	7,27	± 0,055
	30'	19,9	7,27		
	60'	19,9	7,32		
TB-70	0	19,9	7,38	7,43	± 0,046
	30'	19,9	7,46		
	60'	20,1	7,46		
TB-90	0	20,3	7,22	7,37	± 0,172
	30'	20,5	7,34		
	60'	20,0	7,56		
TC-10	0	19,1	6,55	6,61	± 0,055
	30'	19,9	6,61		

	60'	20,1	6,66		
	0	20,6	6,34		
TC-30	30'	20,3	6,44	6,45	± 0,115
	60'	20,1	6,57		
	0	21,7	6,30		
TC-50	30'	22,0	6,41	6,39	± 0,086
	60'	21,3	6,47		
	0	19,8	7,55		
TC-70	30'	20,0	7,64	7,61	± 0,052
	60'	20,1	7,64		
	0	20,0	8,01		
TC-90	30'	19,8	8,13	8,09	± 0,069
	60'	19,8	8,13		

4. Lectura de la C.E. del suelo, tres lecturas por cada muestra.

Código	T (°C)	C.E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	f (25°C)	Corrección ($\mu\text{S}/\text{cm}$)*f	\bar{X} C.E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	S ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	\bar{X} C.E. (dS/m)
	20,9	350	1,153	403,66			
TA-10	20,7	353	1,158	408,75	404,61	± 3,760	0,405
	21,6	353	1,137	401,41			
	19,0	468	1,197	560,29			
TA-30	19,3	464	1,190	552,29	553,92	± 5,732	0,554
	19,7	465	1,181	549,18			
	19,4	502	1,188	596,36			
TA-50	20,1	503	1,172	589,41	591,73	± 4,010	0,592
	20,1	503	1,172	589,41			
	19,7	582	1,181	687,36			
TA-70	19,9	582	1,176	684,67	683,27	± 4,948	0,683
	20,5	583	1,163	677,77			
	19,5	298	1,186	353,32			
TA-90	19,9	298	1,176	350,57	351,81	± 1,397	0,352
	20,1	300	1,172	351,54			

	20,6	150,8	1,160	174,96			
TB-10	20,7	150,9	1,158	174,70	174,84	$\pm 0,134$	0,175
	20,7	151,0	1,158	174,85			
	20,9	158,3	1,153	182,57			
TB-30	20,9	158,2	1,153	182,45	182,66	$\pm 0,261$	0,183
	20,7	158,0	1,158	182,95			
	21,4	194,2	1,142	221,73			
TB-50	21,1	194,4	1,149	223,31	223,08	$\pm 1,252$	0,223
	20,9	194,4	1,153	224,20			
	21,9	168,5	1,130	190,44			
TB-70	21,1	170,9	1,149	196,31	195,26	$\pm 4,390$	0,195
	20,5	171,2	1,163	199,03			
	17,2	212,0	1,239	262,62			
TB-90	18,6	223,0	1,206	269,04	265,64	$\pm 3,224$	0,266
	19,1	222,0	1,195	265,27			
	19,7	186,8	1,181	220,62			
TC-10	19,6	186,8	1,183	221,05	221,55	$\pm 1,259$	0,222
	19,4	187,7	1,188	222,98			
	19,7	155,7	1,181	183,89			
TC-30	19,6	159,7	1,183	188,98	183,25	$\pm 6,071$	0,183
	19,4	148,9	1,188	176,89			
	17,1	172,4	1,241	213,96			
TC-50	18,9	168,9	1,200	202,60	206,00	$\pm 6,920$	0,206
	19,5	169,9	1,186	201,44			
	15,8	265,0	1,271	336,85			
TC-70	18,1	249,0	1,218	303,28	312,17	$\pm 2,649$	0,312
	19,3	249,0	1,190	296,38			
	16,6	394,0	1,253	493,54			
TC-90	18,4	397,0	1,211	480,79	482,69	$\pm 10,041$	0,483
	19,3	398,0	1,190	473,73			

5. Resultados del contenido de M.O. (%), dos submuestras

Código	Peso inicial	M.O. (g)	M.O. (%)	\bar{X} M.O. (%)
TA-10	1,0015	0,0513	5,122	5,005
	1,0004	0,0489	4,888	
TA-30	1,0004	0,0398	3,978	3,859
	1,0001	0,0374	3,740	
TA-50	1,0008	0,0428	4,277	4,242
	1,0005	0,0421	4,208	
TA-70	1,0006	0,0520	5,197	5,250
	1,0013	0,0531	5,303	
TA-90	1,0006	0,0495	4,947	5,006
	1,0010	0,0507	5,065	
TB-10	1,0006	0,0476	4,757	4,722
	1,0008	0,0469	4,686	
TB-30	1,0003	0,0487	4,869	4,713
	1,0004	0,0456	4,558	
TB-50	1,0008	0,0589	5,885	5,936
	1,0005	0,0599	5,987	
TB-70	1,0000	0,0337	3,370	3,304
	1,0008	0,0324	3,237	
TB-90	1,0003	0,0290	2,899	2,914
	1,0004	0,0293	2,929	
TC-10	1,0000	0,0432	4,320	4,284
	1,0007	0,0425	4,247	
TC-30	1,0007	0,0265	2,648	2,668
	1,0008	0,0269	2,688	
TC-50	1,0002	0,0624	6,239	6,127
	1,0008	0,0602	6,015	
TC-70	1,0001	0,0489	4,890	4,734
	10004	0,0458	4,578	
TC-90	1.0007	0,0541	5,406	5,322
	1,0006	0,0524	5,237	

6. Tablas de estadísticos descriptivos

Zona A

<i>Propiedad</i>	<i>Media (\bar{X})</i>	<i>Desviación estándar (S)</i>
Altitud	3408,40	119,83
Arena	48,53	7,90
Limo	30,52	3,80
Arcilla	20,95	4,30
D.A.	1,62	0,16
pH	6,84	0,47
C.E.	0,52	0,14
N total	0,15	0,02
P disponible	11,12	4,19
K disponible	281,40	157,86
M.O.	4,67	0,59

Zona B

<i>Propiedad</i>	<i>Media (\bar{X})</i>	<i>Desviación estándar (S)</i>
Altitud	3518,40	92,33
Arena	42,07	7,00
Limo	33,90	4,09
Arcilla	24,04	7,33
D.A.	1,67	0,20
pH	7,33	0,16
C.E.	0,21	0,04
N total	0,06	0,03
P disponible	2,56	0,49
K disponible	81,40	35,70
M.O.	4,32	1,22

Zona C

<i>Propiedad</i>	<i>Media (\bar{X})</i>	<i>Desviación estándar (S)</i>
Altitud	3458.20	97,35
Arena	49.07	8,47
Limo	35.25	5,23
Arcilla	15.68	4,47
D.A.	1.67	0,10
pH	7.03	0,77
C.E.	0.28	0,12
N total	0.08	0,05
P disponible	1.98	0,41
K disponible	98.00	37,12
M.O.	4.63	1,29

Conjunto total (A, B y C)

<i>Propiedad</i>	<i>Media (\bar{X})</i>	<i>Desviación estándar (S)</i>
Altitud	3461,67	106,83
Arena	46,56	7,95
Limo	33,22	4,57
Arcilla	20,22	6,25
D.A.	1,65	0,15
pH	7,065	0,53
C.E.	0,33550	0,17
N total	0,0987	0,05
P disponible	5,220	4,88
K disponible	153,600	129,14
M.O.	4,539	1,02

7. Correlaciones entre las propiedades analizadas de la zona A (Correlación de Pearson)

Propiedad	Altitud	Arena	Limo	Arcilla	D.A.	pH	C.E.	N total	P disponible	K disponible	M.O.
Altitud	1										
Arena	0,084	1									
Limo	-0,114	-0,973**	1								
Arcilla	-0,054	-0,979**	0,906*	1							
D.A.	-0,818	-0,138	0,170	0,103	1						
pH	-0,485	-0,585	0,715	0,444	0,252	1					
C.E.	-0,143	.0,779	-0,652	-0,857	0,308	-0,257	1				
N total	-0,516	0,251	-0,096	-0,376	0,106	0,626	0,335	1			
P disponible	0,493	0,754	-0,859	-0,627	-0,427	-0,942*	0,317	-0,371	1		
K disponible	0,022	0,317	-0,265	-0,349	0,498	-0,415	0,700	-0,334	0,223	1	
M.O.	-0,361	-0,277	0,407	0,149	-0,065	0,889*	-0,181	0,831	-0,686	-0,637	1

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

* La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

8. Correlaciones entre las propiedades analizadas de la zona B (Correlación de Pearson)

Propiedad	Altitud	Arena	Limo	Arcilla	D.A.	pH	C.E.	N total	P disponible	K disponible	M.O.
Altitud	1										
Arena	-0,426	1									
Limo	0,386	-0,210	1								
Arcilla	0,192	-0,838	-0,357	1							
D.A.	-0,864	0,690	-0,077	-0,616	1						
pH	-0,499	-0,029	0,068	-0,010	0,570	1					
C.E.	-0,835	0,087	-0,149	0,0002	0,581	0,205	1				
N total	-0,312	0,757	0,242	-0,859	0,740	0,469	-0,082	1			
P disponible	0,320	-0,104	0,460	-0,157	-0,327	-0,752	0,162	-0,344	1		
K disponible	0,091	-0,285	-0,133	0,346	-0,420	-0,756	0,376	-0,760	0,765	1	
M.O.	0,743	-0,880*	0,188	0,736	-0,945*	-0,399	-0,372	-0,821	0,339	0,453	1

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

* . La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

9. Correlaciones entre las propiedades analizadas de la zona C (Correlación de Pearson)

<i>Propiedad</i>	Altitud	Arena	Limo	Arcilla	D.A.	pH	C.E.	N total	P disponible	K disponible	M.O.
Altitud	1										
Arena	-0,425	1									
Limo	0,190	-0,894*	1								
Arcilla	0,584	-0,851	0,526	1							
D.A.	0,433	-0,341	-0,036	0,689	1						
pH	-0,802	-0,154	0,408	-0,186	-0,282	1					
C.E.	-0,783	-0,215	0,427	-0,091	-0,353	0,953*	1				
N total	-0,131	0,047	-0,098	0,025	-0,446	-0,088	0,205	1			
P disponible	0,248	-0,864	0,783	0,724	0,017	0,171	0,367	0,453	1		
K disponible	-0,578	0,338	-0,141	-0,477	-0,812	0,302	0,496	0,814	0,148	1	
M.O.	-0,549	0,472	-0,144	-0,726	-0,967**	0,280	0,382	0,568	-0,079	0,913*	1

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

* . La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

10. Correlaciones entre las propiedades analizadas del conjunto de muestras de las zonas A, B y C (Correlación de Pearson)

Propiedad	Altitud	Arena	Limo	Arcilla	D.A.	pH	C.E.	N total	P disponible	K disponible	M.O.
Altitud	1										
Arena	-0,339	1									
Limo	0,239	-0,619*	1								
Arcilla	0,256	-0,819**	0,056	1							
D.A.	-0,442	0,098	0,078	-0,182	1						
pH	-0,308	-0,360	0,452	0,127	0,108	1					
C.E.	-0,560*	0,346	-0,348	-0,185	-0,045	-0,048	1				
N total	-0,454	0,353	-0,296	-0,232	-0,018	-0,215	,673**	1			
P disponible	-0,162	0,301	-0,530*	0,005	-0,266	-0,466	,755**	0,599*	1		
K disponible	-0,306	0,272	-0,405	-0,049	-0,014	-0,347	,812**	0,519*	0,712**	1	
M.O.	-0,095	-0,063	0,028	0,060	-0,692**	0,177	0,148	0,197	-0,010	0,085	1

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

* La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).