



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

**“EVALUACIÓN DEL ESTADO DE DEGRADACIÓN Y DE
FERTILIDAD SEGÚN EL USO DEL SUELO EN TRES
AGROECOSISTEMAS”**

TRABAJO DE TITULACIÓN
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PARA TITULACIÓN DE GRADO

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
TÍTULO DE INGENIERA AGRÓNOMA**

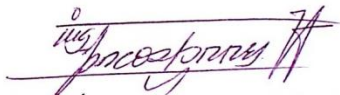
MARITZA KATHERINE VIMOS REINOSO

RIOBAMBA – ECUADOR

2017

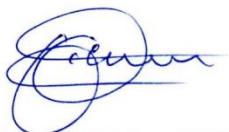
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

El suscrito **TRIBUNAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN, CERTIFICA QUE:** el trabajo de investigación titulado: **“EVALUACIÓN DEL ESTADO DE DEGRADACIÓN Y DE FERTILIDAD SEGÚN EL USO DEL SUELO EN TRES AGROECOSISTEMAS”**, de responsabilidad de la Srta. Egresada Maritza Katherine Vimos Reinoso, ha culminado y fue prolijamente revisado, quedando autorizada su presentación y defensa.



ING. JOSÉ FRANKLIN ARCOS TORRES

DIRECTOR



ING. JORGE PATRICIO CEVALLOS RODRIGUEZ

ASESOR

RIOBAMBA – ECUADOR

2017

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Maritza Katherine Vimos Reinoso, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes y el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autora, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 04 de Julio de 2017



Maritza Katherine Vimos Reinoso
Cédula de Ciudadanía: 060494446-2

DEDICATORIA

A Dios por darme la vida, por bendecirme en cada paso, cada meta, cada sueño anhelado y alcanzado y ayudarme a vencer cualquier obstáculo presentado.

A ti mi bello ángel David Sebastián quien con su mirada y sonrisa llenó de alegría mi corazón, ahora eres la luz que ilumina mi camino, eres mi inspiración y mi fuerza para seguir adelante.

Maritza Vimos Reinoso

AGRADECIMIENTO

A Dios por no permitirme desmayar en los momentos más difíciles de mi vida y darme la fuerza necesaria para continuar, a mis mamis Anita Reinoso, Susana y Anita Vimos quienes han sido mi ejemplo, mi fortaleza, mi orgullo, gracias por su amor y apoyo incondicional en cada momento de mi vida. A Ceci, Paty, Alicita, Edwin Vimos por su cariño, afecto; por su ayuda brindada y estar siempre en el instante oportuno. A mi hermana Mony a mis primas Naty, Jessy, Verito, Nicol, Dany quienes con sus ocurrencias alegran mi vida gracias por su apoyo y estar siempre conmigo. A Alexandra por su amistad incondicional, por estar en los malos y buenos momentos, por ser mi confidente y hermana que Dios puso en mí camino y estar siempre ahí para mí.

A mis amigos y amigas de aula gracias por su amistad por los momentos compartidos que de una u otra manera contribuyeron en mi vida.

A la ONG EKORURAL, especialmente al Ing. Mark Caulfield por su apoyo brindado para la realización y culminación del presente trabajo.

A todos mis profesores por su contribución en mi formación profesional especialmente al Ing. Franklin Arcos, Ing. Jorge Cevallos, Ing. Víctor Lindao e Ing. Carlos Carpio quienes han sido mi guía y mi apoyo en mi trabajo de titulación. A la Lic. Ruth Moreno por su amistad y ayuda brindada durante el transcurso de la carrera.

TABLA DE CONTENIDOS

LISTA DE TABLAS	viii
LISTA DE CUADROS	ixx
LISTA DE GRÁFICOS	xv
LISTA DE FIGURAS	xvii
LISTA DE ANEXOS	xviii

CAPÍTULO

I	TÍTULO	1
II	INTRODUCCIÓN	1
III	REVISIÓN DE LITERATURA.	4
IV	MATERIALES Y MÉTODOS	38
V	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	50
VI.	CONCLUSIONES	115
VII	RECOMENDACIONES	116
VIII	RESUMEN	117
IX	SUMMARY	118
X	BIBLIOGRAFIA	119
IX.	ANEXOS	126

LISTA DE TABLAS

N°	DESCRIPCIÓN	PÁG
1	Áreas de producción de cultivos y porcentaje de degradación del suelo	8
2	Estado de la erosión por categorías, superficie y porcentajes en el Ecuador continental	9
3	Tipos de erosión en la provincia de Chimborazo	11
4	Interpretación de la erosión hídrica expresada en t/ha/año	14
5	Conjunto de indicadores físicos, propuesto para monitorear los cambios que ocurren en el suelo.	19
6	Clasificación de las partículas del suelo según el United States Department of Agriculture (USDA)	20
7	Clases texturales de suelos, según el USDA	22
8	Relación general entre densidad aparente del suelo y crecimiento radicular, en base a la textura del suelo	24
9	Rango de conductividad hidráulica y su interpretación	26
10	Conjunto de indicadores químicos, propuesto para monitorear los cambios que ocurren en el suelo	27
11	Escala de pH para describir categorías de acidez o alcalinidad	30

12	Niveles del porcentaje de la materia orgánica	31
13	Niveles de fertilidad del Nitrógeno total del suelo	32
14	Niveles de fertilidad del Fósforo del suelo	33
15	Niveles de fertilidad del Potasio del suelo	35
16	Niveles de fertilidad del Calcio del suelo	36
17	Niveles de fertilidad del Magnesio del suelo	37
18	Metodología para propiedades físicas	44
19	Metodología para propiedades químicas	45

LISTA DE CUADROS

N°	DESCRIPCIÓN	PÁG
1	Esquema del análisis de varianza para los agroecosistemas de la comunidad de Naubug	47
2	Esquema del análisis de varianza para la zona alta y baja	48
3	Esquema del análisis de varianza para la zona media	48
4	Esquema del análisis de varianza para la erosión hídrica	48
5	Descripción de los tratamientos en estudio	49
6	Prueba de chi-cuadrado para la textura en sus tres agroecosistemas	50
7	Prueba de chi-cuadrado para la textura según sus usos	51
8	Análisis de varianza según la densidad aparente del suelo en los 3 agroecosistemas	52
9	Prueba de Tukey al 5% entre agroecosistemas según la densidad aparente en g/cm^3 del suelo	53
10	Análisis de varianza según la densidad aparente en los usos de suelo de la zona alta	54
11	Análisis de varianza según la densidad aparente en los usos de suelo de la zona media	55
12	Análisis de varianza según la densidad aparente en los usos de suelo de la zona baja	55

13	Prueba de Kruskal Wallis para la conductividad hidráulica (cm/min) entre agroecosistemas	57
14	Comparación de pares para la conductividad hidráulica (cm/min) entre agroecosistemas	57
15	Prueba de Kruskal Wallis para la conductividad hidráulica (cm/min) entre usos de la zona alta	59
16	Prueba de Kruskal Wallis para la conductividad hidráulica (cm/min) entre usos de la zona media	59
17	Prueba de Kruskal Wallis para la conductividad hidráulica (cm/min) entre usos de la zona baja	60
18	Análisis de varianza según el pH del suelo en los 3 agroecosistemas	62
19	Prueba de Tukey al 5% entre agroecosistemas según el pH del suelo	62
20	Análisis de varianza según el pH en los usos de suelo de la zona alta	64
21	Prueba de Tukey al 5% entre usos de suelo de la zona alta según el pH del suelo	64
22	Análisis de varianza según el pH en los usos de suelo de la zona media	66
23	Prueba de Tukey al 5% entre usos de suelo de la zona media según el pH del suelo	66
24	Análisis de varianza según el pH en los usos de suelo de la zona baja	68
25	Análisis de varianza según la materia orgánica del suelo en los 3 agroecosistemas	70
26	Prueba de Tukey al 5% entre agroecosistemas según el contenido de materia orgánica del suelo expresado en porcentaje	70

27	Análisis de varianza según la materia orgánica en los usos del suelo de la zona alta	72
28	Prueba de Tukey al 5% entre usos de suelo de la zona alta según el contenido de materia orgánica del suelo expresado en porcentaje	72
29	Análisis de varianza según la materia orgánica en los usos del suelo de la zona media	74
30	Prueba de Tukey al 5% entre usos de suelo de la zona media según el contenido de materia orgánica del suelo expresado en porcentaje	74
31	Análisis de varianza según la materia orgánica en los usos del suelo de la zona baja	76
32	Prueba de Tukey al 5% entre usos de suelo en la zona baja según el contenido de materia orgánica del suelo expresado en porcentaje	76
33	Análisis de varianza según el nitrógeno total del suelo en los tres agroecosistemas	79
34	Prueba de Tukey al 5% entre agroecosistemas según el contenido de nitrógeno total del suelo en %	80
35	Análisis de varianza según el nitrógeno total del suelo entre los usos de la zona alta	81
36	Prueba de Tukey al 5% entre usos de suelo de la zona alta según el contenido de nitrógeno total	82
37	Análisis de varianza según el nitrógeno total entre los usos del suelo de la zona media	83
38	Prueba de Tukey al 5% entre usos de suelo de la zona media según el contenido de nitrógeno total	84

39	Análisis de varianza según el nitrógeno total entre los usos del suelo de la zona baja	85
40	Prueba de Tukey al 5% entre usos de suelo de la zona baja según el contenido de nitrógeno total	86
41	Análisis de varianza según el fósforo del suelo en los tres agroecosistemas	88
42	Prueba de Tukey al 5% entre agroecosistemas según el contenido de fósforo del suelo en ppm	88
43	Análisis de varianza según el fósforo del suelo entre los usos de la zona alta	90
44	Análisis de varianza según el fósforo entre los usos del suelo de la zona media	90
45	Prueba de Tukey al 5% entre usos de suelo de la zona media según el contenido de fósforo	91
46	Análisis de varianza según el fósforo entre los usos del suelo de la zona baja	92
47	Análisis de varianza según el potasio del suelo en los tres agroecosistemas	94
48	Análisis de varianza según el potasio del suelo entre los usos de la zona alta	94
49	Prueba de Tukey al 5% entre usos de suelo de la zona alta según el contenido de potasio	95
50	Análisis de varianza según el potasio entre los usos del suelo de la zona media	96

51	Análisis de varianza según el potasio entre los usos del suelo de la zona baja	97
52	Prueba de Tukey al 5% entre usos de suelo de la zona baja según el contenido de potasio	97
53	Análisis de varianza según el calcio del suelo en los tres agroecosistemas	99
54	Prueba de Tukey al 5% entre agroecosistemas según el contenido de calcio	100
55	Análisis de varianza según el contenido de calcio del suelo entre los usos de la zona alta	101
56	Análisis de varianza según el contenido de calcio entre los usos del suelo de la zona media	102
57	Análisis de varianza según el contenido de calcio entre los usos del suelo de la zona baja	102
58	Análisis de varianza según el magnesio del suelo en los tres agroecosistemas	104
59	Prueba de Tukey al 5% entre agroecosistemas según el contenido de magnesio	104
60	Análisis de varianza según el contenido de magnesio del suelo entre los usos de la zona alta	106
61	Análisis de varianza según el contenido de magnesio entre los usos del suelo de la zona media	106
62	Prueba de Tukey al 5% entre usos de suelo de la zona media según el contenido de magnesio en el suelo	107

63	Análisis de varianza según el contenido de magnesio entre los usos del suelo de la zona baja	109
64	Prueba de Tukey al 5% entre usos de suelo de la zona baja según el contenido de magnesio	109
65	Análisis de varianza según la erosión hídrica del suelo en los 2 agroecosistemas	111
66	Prueba de Tukey al 5% para la erosión hídrica del suelo entre agroecosistemas expresado en t/ha/año	112
67	Prueba de Tukey al 5% para la erosión hídrica del suelo entre tratamientos expresados en t/ha/año	113

LISTA DE GRÁFICOS

N°	DESCRIPCIÓN	PÁG
1	Textura del suelo de la comunidad de Naubug	50
2	Densidad aparente entre agroecosistemas en g/cm ³	53
3	Conductividad hidráulica entre agroecosistemas en cm/min	58
4	Diferencia de pH entre agroecosistemas	63
5	Diferencia de pH entre los usos de suelo de la zona alta	65
6	Diferencia de pH entre usos de la zona media	67
7	Materia orgánica entre agroecosistemas expresado en porcentaje	71
8	Materia orgánica entre usos de la zona alta expresada en porcentaje	73
9	Materia orgánica entre usos de suelo de la zona media expresada en porcentaje	75
10	Materia orgánica entre usos de suelo de la zona baja expresada en porcentaje	77
11	Contenido de nitrógeno total en el suelo entre agroecosistemas en %	80
12	Contenido de nitrógeno total en el suelo entre usos de la zona alta en %	82
13	Contenido de nitrógeno total en el suelo entre usos de la zona media en %	84
14	Contenido de nitrógeno total en el suelo entre usos de la zona baja en %	86

15	Contenido de fósforo en el suelo entre agroecosistemas en ppm	89
16	Contenido de fósforo en el suelo entre usos de la zona media en ppm	91
17	Contenido de potasio en el suelo entre usos de la zona alta en meq/100ml	95
18	Contenido de potasio en el suelo entre usos de la zona baja en meq/100ml	98
19	Contenido de calcio en el suelo entre agroecosistemas en meq/100ml	100
20	Contenido de magnesio en el suelo entre agroecosistemas en meq/100ml	105
21	Contenido de magnesio en el suelo entre usos de la zona media en meq/100ml	108
22	Contenido de magnesio en el suelo entre usos de suelo de la zona baja en meq/100ml	110
23	Erosión hídrica del suelo entre agroecosistemas expresado en t/ha/año	112
24	Erosión hídrica del suelo entre tratamientos expresada en t/ha/año	113

LISTA DE FIGURAS

N°	DESCRIPCIÓN	PÁG
1	Degradación del suelo debida a la fertilidad	5
2	Erosión de la provincia de Chimborazo	10
3	Mapa de erosión del cantón Riobamba	11
4	Etapas de degradación del suelo bajo explotación agrícola inadecuadas	12
5	Diagrama textural de la USDA	21
6	Disponibilidad de nutrientes en función del pH	29
7	Selección de puntos del agroecosistema de la zona alta de Naubug	40
8	Selección de puntos del agroecosistema de la zona media de Naubug	40
9	Selección de puntos del agroecosistema de la zona baja de Naubug	41
10	Ubicación del área de muestreo en un polígono o parcela	42
11	Área de muestreo general con ubicación de los diferentes puntos para sub-muestras	42

LISTA DE ANEXOS

N°	DESCRIPCIÓN	PÁG
1	Ubicación geográfica de Naubug	126
2	Esquema de la parcela experimental de erosión	126
3	Distribución de las parcelas experimentales de erosión en el campo	127
4	Características físicas de los suelos según sus usos en la zona alta	128
5	Características físicas de los suelos según sus usos en la zona media	129
6	Características físicas de los suelos según sus usos en la zona baja	131
7	Características químicas de los suelos según sus usos en la zona alta	132
8	Características químicas de los suelos según sus usos en la zona media	133
9	Características químicas de los suelos según sus usos en la zona baja	135
10	Datos de pérdida de suelo en la zona alta de la comunidad de Naubug	136
11	Datos de pérdida de suelo en la zona baja de la comunidad de Naubug	137
12	Precipitación anual en la comunidad de Naubug	138
13	Presupuesto	139
14	Toma de muestra para la densidad aparente	140

15	Toma de datos para la conductividad hidráulica	140
16	Uso de suelo agrícola	141
17	Uso no agrícola (Bosque de pino)	141
18	Uso no agrícola (Abandonado)	142
19	Parcelas experimentales de erosión	142

I. EVALUACIÓN DEL ESTADO DE DEGRADACIÓN Y DE FERTILIDAD SEGÚN EL USO DEL SUELO EN TRES AGROECOSISTEMAS.

II. INTRODUCCIÓN

El suelo es uno de los recursos básicos que sustentan la vida en el planeta. De tal manera se afirma, que toda la vida terrestre se relaciona directamente con el suelo y depende del mismo. El suelo ha sido estudiado durante muchos años y hoy es bien conocido que hay factores que dañan y amenazan su existencia; como también hay otros que contribuyen a perpetuarlos para las futuras generaciones.

El suelo es parte esencial del paisaje, es un recurso limitado ya que no es un medio totalmente renovable en el lapso de tiempo necesario para su regeneración y se requiere que los factores sean óptimos para lograrlo.

Después de alrededor de cinco décadas de la aplicación de los principios de la revolución verde en la agricultura ecuatoriana, buena parte de los suelos del país, se han visto seriamente deteriorados por el uso de tecnologías inadecuadas a nuestra realidad, ecológica, económica y socio cultural, propiciando bajas sensibles en la productividad de los cultivos, severos desbalances en los agroecosistemas y contaminación ambiental, influyendo de manera determinante en el estado de los mismos.

La FAO (2015) señala que una de las causas principales de la degradación de los suelos en América Latina es, sin duda, la aplicación de técnicas de labranzas inadecuadas, con el consiguiente deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, la disminución de los rendimientos agrícolas y más importante aún, el deterioro del medio ambiente. La degradación del suelo está aumentando en severidad y extensión en muchas partes del mundo, con más del 20% de las tierras agrícolas afectadas, el 30% de los bosques y el 10% de los pastizales. Cerca de 1.500 millones de personas, un cuarto de la población mundial, dependen directamente de suelos sujetos a degradación.

En términos generales según Jiménez (2011) en el Ecuador se estima que las pérdidas de suelo varían de acuerdo a su pendiente y está entre 5 a 50 TM/ha/año, siendo la región interandina la más afectada con un 4% en la provincia de Chimborazo provocando alteraciones en el nivel de fertilidad del suelo y consecuentemente en su capacidad de sostener una agricultura productiva, así también afectando su ecosistema.

A. JUSTIFICACIÓN

El suelo se ve afectado por varios factores como la erosión, degradación, manejo inadecuado del mismo con el consiguiente desgaste físico, pérdida de la base nutrimental, comprometiendo su fertilidad y productividad, en detrimento de la seguridad y soberanía agroalimentaria de la sociedad ecuatoriana, de las economías campesinas y de la calidad de vida del sector rural.

El Ecuador al igual que la mayoría de los países en desarrollo no ha escapado al problema de la degradación de los suelos, estimándose que este constituye el mayor problema ambiental que el país soporta, pues se ha calculado que alrededor del 48% de la superficie nacional tiene serios problemas de erosión que se va incrementando y los efectos de este proceso generalmente ocasionan la pérdida de la fertilidad del suelo y por ende los ecosistemas naturales y la producción agropecuaria.

Frente a esta realidad, se realizó la presente investigación con la finalidad de buscar alternativas conducentes para evitar la pérdida de fertilidad del suelo y de otras funciones ecosistémicas como la hidrología, biodiversidad, etc., propiciando un manejo racional y conservación del mismo a fin de mejorar la producción de los agricultores de la comunidad de Naubug y su entorno natural.

Además es de interés de la Fundación McKnight y la Organización EKORURAL ayudar a mejorar la vida de los pequeños agricultores de la zona, quienes financian y dan apoyo logístico respectivamente a esta investigación que es parte del proyecto denominado: Investigación de los impactos de los sistemas de gestión agrícola de los pequeños

agricultores sobre los servicios ecosistémicos del paisaje en los Andes ecuatorianos, dirigido por el Ing. Mark Caulfield.

B. OBJETIVOS

1. General

Evaluar el estado de degradación y de fertilidad según el uso del suelo en 3 agroecosistemas.

2. Específicos

- a. Determinar las propiedades físicas del suelo en los 3 agroecosistemas según el uso.
- b. Evaluar las propiedades químicas del suelo en los 3 agroecosistemas según el uso.
- c. Estimar la erosión hídrica del suelo en el agroecosistema de la zona alta y baja mediante la metodología de parcelas experimentales de Wischmeier.
- d. Comparar cuál de los tres tipos de cercas vivas ayudan a disminuir la erosión hídrica del suelo.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

A. MARCO TEÓRICO

1. Degradación

Según la ONU (2010) las tierras de 110 países están en riesgo de degradación. El 24% del suelo mundial está degradado y alrededor de 12 millones de hectáreas de suelo se pierden cada año, lo que se traduce en una pérdida de 20 millones de toneladas de grano al año.

Entre un 20 y un 25% del suelo en degradación son pastizales. El 20% del suelo en degradación son tierras de cultivo. Es decir que 1.500 millones de personas en el mundo dependen de las tierras en degradación.

a. Tipos de degradación

Dentro del amplio concepto de degradación se distinguen una serie de degradaciones diferentes de las cuales tenemos:

1) Degradación de la Fertilidad

Es la disminución de la capacidad del suelo para soportar vida. Se producen modificaciones en sus propiedades físicas, químicas, fisicoquímicas y biológicas que conllevan a su deterioro (Suquilanda, 2007).

En la Figura 1, se puede observar que la producción disminuye cuando el suelo se encuentra degradado y a pesar del abonamiento que se le dé, la producción seguirá siendo baja comparado a un suelo no degradado.

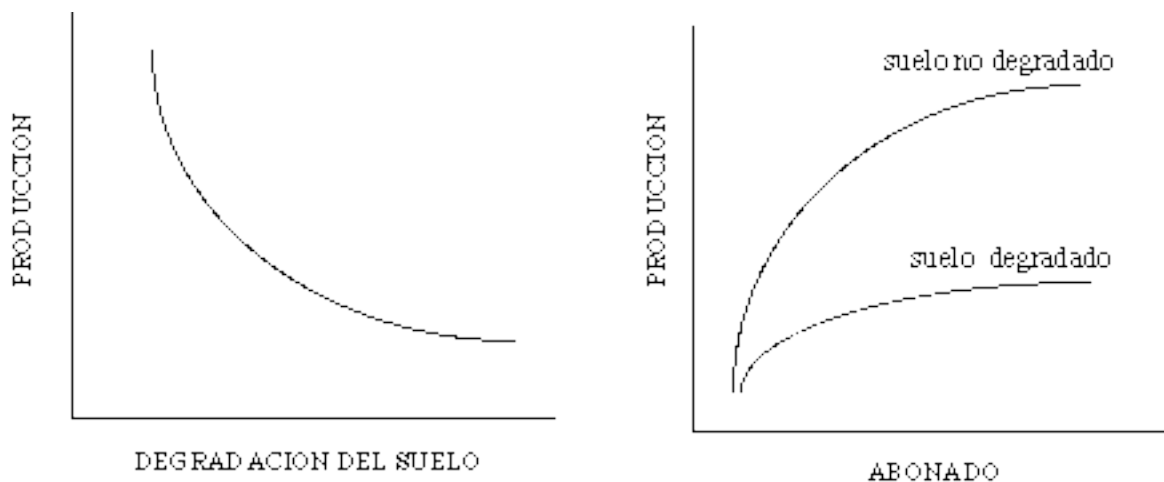


Figura 1. Degradación del suelo debida a la fertilidad

Fuente: (Suquilanda, 2007)

Puede tratarse de una degradación química, que se debe a varias causas: pérdida de nutrientes, acidificación, salinización, sodificación, aumento de la toxicidad por liberación o concentración de determinados elementos químicos. El deterioro del suelo a veces es consecuencia de una degradación física, por: pérdida de estructura, aumento de la densidad aparente, disminución de la permeabilidad, disminución de la capacidad de retención de agua. En otras ocasiones se habla de degradación biológica, cuando se produce una disminución de la materia orgánica incorporada (Suquilanda, 2007).

2) Degradación por erosión

La degradación del suelo, como consecuencia de los procesos de erosión ha sido reconocido como el principal proceso inducido por la actividad humana responsable de la degradación de tierras (Ibáñez, 2006).

En términos generales, la erosión supone la remoción de la capa superficial del suelo, sea cual sea el agente responsable: agua, viento, hielo, actuaciones humanas etc. Como resultado, el suelo manifiesta un descenso neto de su fertilidad natural y productividad biológica mediante la reducción del espesor efectivo, pérdida de materia orgánica y de

nutrientes, degradación de la estructura física y disminución de la capacidad de retención de agua (Ibáñez, 2006).

La formación de suelo fértil, susceptible de ser económicamente productivo, mediante la alteración del material original, es un proceso sumamente lento, medible únicamente en una escala de tiempo geológico. La formación de apenas 5 cm de suelo puede suponer el transcurso de cientos e incluso miles de años, mientras que los procesos de erosión pueden actuar rápida y drásticamente. El equivalente a 1 cm de espesor de la capa superficial de suelo puede ser eliminado durante una única tormenta de lluvia o viento. En condiciones naturales, los procesos responsables de la formación de los suelos y aquellos responsables de su destrucción por erosión, alcanzan un equilibrio tal que asegura el mantenimiento de una capa superficial de suelo capaz de soportar una cubierta vegetal estable. La ruptura del equilibrio suelo-vegetación-clima, debido a las actividades humanas puede llegar a desencadenar la degradación irreversible del suelo y, con ello, limitar tanto su potencial productivo agro-forestal como su capacidad de regeneración y soporte de ecosistemas naturales (Ibáñez, 2006).

b. Consecuencias de la degradación

La degradación del suelo tiene importantes consecuencias, entre las cuales se destacan las siguientes:

1) Pérdida de nutrientes (N, P, S, K, Ca, Mg, etc.)

De manera directa, bien al ser eliminados por las aguas que se infiltran en el suelo o bien por erosión a través de las aguas de escorrentía, o de una forma indirecta, por erosión de los materiales que los contienen o que podrían fijarlos (Alarcón, 2008).

2) Modificación de las propiedades físico-químicas

Acidificación, desbasificación y bloqueo de los oligoelementos que quedan en posición no disponible (Alarcón, 2008).

3) Deterioro de la estructura

La compactación del suelo produce una disminución de la porosidad, que origina una reducción del drenaje y una pérdida de la estabilidad, como consecuencia se produce un encostramiento superficial y por tanto aumenta la escorrentía (Alarcón, 2008).

4) Disminución de la capacidad de retención de agua

Puede ser por degradación de la estructura o por pérdida de suelo. Esta consecuencia es especialmente importante para los suelos sometidos a escasas precipitaciones anuales (Alarcón, 2008).

5) Pérdida física de materiales

Erosión selectiva (parcial, de los constituyentes más lábiles, como los limos) o masiva (pérdida de la capa superficial del suelo, o en los casos extremos de la totalidad del suelo (Alarcón, 2008).

6) Incremento de la toxicidad

Al modificarse las propiedades del suelo se produce una liberación de sustancias nocivas (Alarcón, 2008).

c. Degradación del suelo en el Ecuador

El Ecuador se caracteriza por la gran variedad y la riqueza de sus recursos naturales, dentro de los cuales se puede destacar en particular la presencia de suelos volcánicos con un potencial agrícola elevado y una amplia gama de climas sobre distancias cortas. Sin embargo, los suelos de la sierra Ecuatoriana están sustentados por una capa dura amarilla, conocida localmente como cangahua, que a menudo está expuesta en laderas de pendiente erosionada (MAE, 2012).

A continuación en la tabla 1, se observa que en el Ecuador aproximadamente la mitad del total de las tierras agrícolas se encuentran en un estado de degradación.

Tabla 1. Áreas de producción de cultivos y porcentaje de degradación del suelo.

Descripción	Mundo	Ecuador (2011)
Total tierras de cultivo (ha)	1500 millones	2'361.786
Tierras de cultivo afectadas por degradación del suelo (%)	38	46

Fuente: (MAE, 2012)

2. Erosión

Erosión del suelo es una crisis silenciosa, un desastre insidioso, provocado por el hombre, que se desarrolla gradualmente. En muchos lugares ni siquiera se lo reconoce como tal, el suelo desaparece, día tras día, en incrementos tan pequeños que apenas se observa el proceso (Jimenez, 2011).

En términos espaciales, la región con más problemas de erosión es la Sierra con un 64%, donde se encuentran procesos muy acelerados, aunque también la desprotección de la cobertura vegetal de las cuencas hidrográficas de las vertientes pacífica y amazónica ha

propiciado en los últimos tiempos severos procesos erosivos, que han contribuido a la degradación de los suelos agrícolas en detrimento de su fertilidad (Suquilanda, 2007).

Se estima que en el país las pérdidas de suelos varían entre 30 y 50 TM/ha/año en áreas de estribaciones con pendientes superiores a 25%. En zonas con pendientes que varían entre 12 y 25%, la erosión está comprendida entre 10 y 30 TM/ha/año y en suelos con pendientes menores al 12% la erosión se sitúa entre < 5 y 10 TM/ha/año (Jimenez, 2011).

En la tabla 2, se muestra por categoría el estado de la erosión en el Ecuador continental. Es importante puntualizar que la primera categoría de intensidad erosiva, cada vez va en aumento debido a los procesos de deforestación y de manejo inadecuado de los suelos, en áreas potencialmente erosionables (Suquilanda, 2007).

Tabla 2. Estado de la erosión por categorías, superficie y porcentajes en el Ecuador continental.

Categorías de intensidad de los procesos erosivos	Superficie/ha	Porcentajes estimados en relación con la superficie del Ecuador **
Muy activa	339 035	1.30
Activa	808 468	3.10
Activa y potencial	2'008 200	7.70
Potencial	9'690 000	35.80
TOTAL	12'492 129	47.90

* Fuente: (MAG, 2000). Diagnóstico Ambiental del Sector Agropecuario

** 260 079 km²/ 26' 079 600 ha

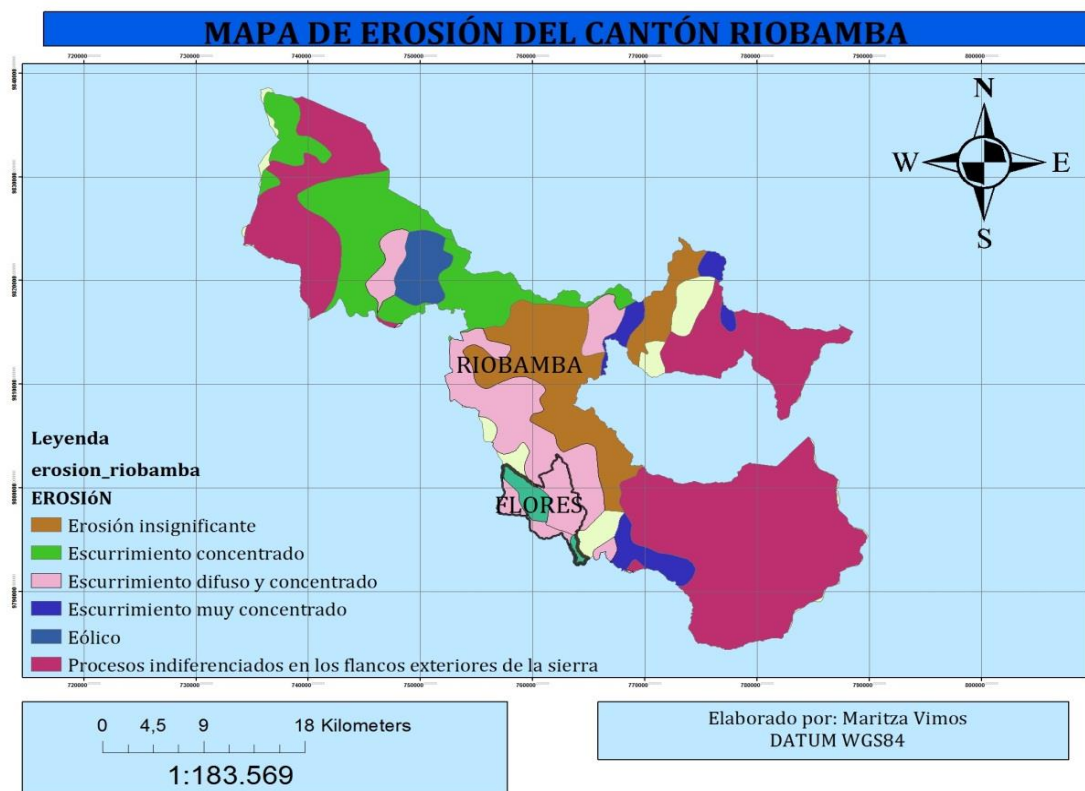
En la figura 2 se puede observar en el mapa de erosión de la provincia de Chimborazo el grado de degradación del suelo, que a nivel general se aumentan los riesgos de aceleración erosiva por procesos de carácter indiferenciado: movimientos en masa en suelos volcánicos y arcillosos; escurrimiento difuso y concentrado en suelos graníticos, arenosos y limosos; movimientos de gravedad de las pendientes más fuertes (Trujillo & Noni, 2000).

Tabla 3. Tipos de erosión en la provincia de Chimborazo.

EROSIÓN	ÁREA (Has)	Área total (%)
Erosión Hídrica	27.567	4,51
Escurrecimiento concentrado	87.270	14,27
Escurrecimiento difuso y concentrado	44.863	7,34
Escurrecimiento muy concentrado	17.303	2,83
Erosión eólica	19.577	3,20
Procesos indiferenciados	415.012	67,86
Total	611.592	100,00

Fuente: (GAD, 2011).

En la parroquia Flores la erosión se da por escurrecimiento difuso y concentrado como se puede observar a continuación en la figura 3.

**Figura 3.** Mapa de erosión del cantón Riobamba.

El fenómeno de la erosión tiene una serie de efectos negativos tales como la pérdida de fertilidad de los suelos agrícolas y forestales, la aceleración de los procesos de degradación de la cubierta vegetal, la disminución de la regulación natural de las aguas, además de condicionar la productividad de la actividad agraria y favorecer las inundaciones catastróficas (Jimenez, 2011).

En la figura 4, podemos observar las etapas de degradación del suelo en donde en la etapa I la materia orgánica y su estructura se destruyen gradualmente, la erosión es poco perceptible para los campesinos por sus niveles tolerables, la aplicación de fertilizantes ayuda para enmendar las afectaciones de la capa arable. En la etapa 2 la estructura del suelo se pierde y el porcentaje de materia orgánica disminuye poco a poco, se produce una compactación de los suelos impidiendo la infiltración del agua y por ende de las raíces de los cultivos. Los fertilizantes son menos eficaces ya sea por las condiciones físicas o por las pérdidas de grandes cantidades de suelos que se han producido anteriormente. Finalmente la erosión se acelera y los rendimientos de los cultivos es cada vez menor. Y en la etapa III los procesos de erosión son más agresivos, las tierras prácticamente son improductivas y se evidencia la presencia de surco y cárcavas, la aplicación de enmiendas como los fertilizantes ya no surge resultados. Por lo general el trabajador de o agricultor en esta etapa abandona las tierras.

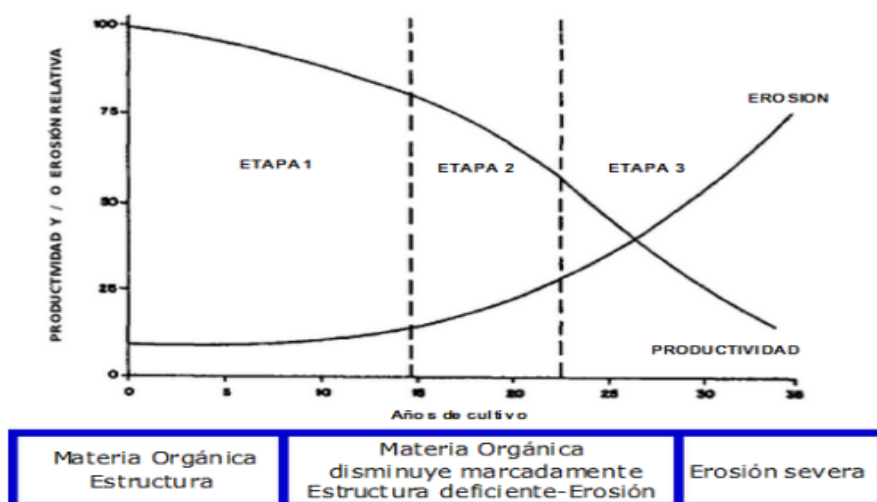


Figura 4. Etapas de degradación del suelo bajo explotación agrícola inadecuada.

Fuente: (FAO, 2015).

a. Evaluación de la erosión del suelo.

El grado y tipo de erosión del suelo deben ser identificadas en el campo antes de que puedan ser tomadas acciones para solucionar el problema y seleccionar tecnologías apropiadas.

Un proceso erosivo se puede definir como una secuencia compleja de eventos, que implican cambios en la constitución del material. Los procesos que se suceden en la naturaleza casi nunca se pueden observar sensorialmente, por ocurrir muy lentamente o violentamente rápido, por lo tanto su identificación y clasificación se fundamenta en las características o huellas que van quedando durante la etapa evolutiva (Peralta, 2001).

1) Erosión hídrica

Es el proceso en el cual la remoción del suelo y transporte de la partículas se debe principalmente al agente agua (Almorox, López, & Rafaelli, 2010). (Núñez, 2001) manifiesta que la lluvia es el principal agente en este tipo de erosión que debido a su intensidad, duración y frecuencia de eventos pluviométricos determina ciertas características en el proceso de erosión. Influyen en la pérdida del suelo por el impacto que esta causa al momento de la caída de las gotas, por la fuerza con la que golpeó el suelo y por su contribución a la erosión por flujo superficial.

Según la FAO (2015) en su "metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos"; elaboró la siguiente lista de clases de pérdidas de suelo (Tabla 4).

Tabla 4. Interpretación de la erosión hídrica expresada en t/ha/año

Erosión hídrica	Pérdida de suelos en t/ha/año
Ninguna a ligera	<10
Moderada	10-50
Alta	50-200
Muy alta	>200

Fuente: (FAO, 2015)

a) Determinación de la erosión hídrica por la Metodología de Wischmeier

Las parcelas experimentales son esencialmente instrumentos de campo que permiten medir la producción de escorrentía y sedimentos en una superficie de terreno delimitada, de la que se conoce con detalle sus características edáficas, topográficas y morfológicas, y aquellas relativas al estado de la vegetación, recubrimiento del suelo, prácticas de manejo, historia de los usos del suelo, etc.

Las parcelas de erosión permiten registrar de forma dinámica la producción de escorrentía y sedimentos en relación con la precipitación caída sobre la superficie de la parcela. Dado que el volumen de sedimentos registrado corresponde a una superficie conocida, la pérdida de suelo puede ser expresada por unidad de área y de tiempo obteniéndose tasas de erosión (Pérez, 2002).

3. Agroecosistemas de la comunidad de Naubug

Agroecosistema según Gómez Sal, (2001) es cualquier tipo de ecosistema modificado y gestionado por los seres humanos con el objetivo de obtener alimentos, fibras y otros materiales de origen biótico.

Lo que concuerda con la FAO (2015) que manifiesta que los agroecosistemas son ecosistemas en los que el ser humano ha ejercido una intencionada selectividad sobre la

composición de los organismos vivos. Los agroecosistemas contienen poblaciones humanas y dimensiones tanto económicas como ecológico-ambientales y se diferencian de los ecosistemas no gestionados en que están alterados intencionadamente, y a menudo manejados intensivamente, con el fin de proporcionar alimentos, fibra y otros productos.

Para esta investigación se realizó un mapeo comunitario con los agricultores de Naubug quienes dividieron a la comunidad en tres agroecosistemas tomando en cuenta factores como: altitud, distancia a la casa, gestión agrícola (rotaciones, etc), tipo de suelo, grado de degradación del suelo, clima/cultivos; identificándolos así como zona alta, zona media y zona baja.

a. Zona alta

En el agroecosistema de la zona alta existe una rotación de cultivos (quinua, cereal para forraje, habas, papas) intensiva sin descanso. Suelo caracterizado por niveles medio altos de materia orgánica (6%) y nitrógeno total (0,21%). Rendimiento: regular (Caulfield, 2015).

b. Zona media

En la zona media de igual manera hay una rotación de cultivos (quinua, cereales para forraje y consumo, habas, papas) intensivo sin descanso. Suelo caracterizado por niveles menos altos que la zona alta de materia orgánica (3,8%) y nitrógeno total (0,14%). Rendimiento: regular. Aquí tenemos también bosque de eucalipto y/o pino que son parcelas de terreno pequeñas hasta áreas más extensas. Se cosechan para leña y para la venta mayorista. Y terreno abandonado parcelas de terreno pequeñas hasta áreas más extensas donde ya no se practica la agricultura como resultado de varios factores, entre los cuales los más importantes son el decremento de fertilidad y la emigración (Caulfield, 2015).

c. Zona baja

En la zona baja hay una rotación de cultivos (maíz, cebada, trigo) con descanso de 4-6 meses, sobre todo durante el periodo seco. Suelo caracterizado por niveles muy bajos de materia orgánica (0,9%) y nitrógeno total (0,025%). Rendimiento: malo – muy malo. Al igual que en la zona media también encontramos terrenos abandonados y bosque ya sea de eucalipto y/o pino (Caulfield, 2015).

4. Suelo

a. Composición del suelo

Está compuesto de 3 fases:

1) Fase sólida

Se divide en orgánica e inorgánica. La inorgánica son los fragmentos de rocas y minerales producto de la meteorización. Gravas > 2mm y arenas 2mm – 0,02mm; limos 0,02 – 0,002; arcillas < 0,002. Las arcillas forman agregados con el humus muy importante para la fertilidad del suelo al retener sales minerales. La orgánica está compuesta por materia orgánica procedente de seres vivos como excrementos, madera, etc; en mayor o menor grado de descomposición (Bermudez, 2006).

2) Fase líquida

Es el agua que lleva en disolución sales minerales y coloides de arcillas y humus. El agua generalmente se encuentra en los poros del suelo de tamaño pequeño o mediano, si los poros son demasiado pequeños no puede ser absorbida por las raíces y si son demasiado grandes tampoco porque se escurre por gravedad para formar parte del agua de acuíferos subterráneos (Bermudez, 2006).

3) Fase gaseosa

Es el aire que ocupa los poros de tamaño grande y aquellos en los que el agua se ha consumido, su composición es similar a la del aire atmosférico pero con una menor proporción de O₂ y mucho mayor de CO₂ debido a la gran actividad biológica que se desarrolla en el suelo (Bermudez, 2006).

b. Usos de suelo de la comunidad de Naubug

El uso del suelo abarca la gestión y modificación del medio ambiente natural para convertirlo en un ambiente construido tal como campos de sembradío, pasturas y asentamientos humanos. También ha sido definido como las acciones, actividades e intervenciones que las personas realizan sobre un determinado tipo de superficie para producir, modificarla o mantenerla (FAO, 2000).

Dentro del mapeo comunitario que se realizó con los agricultores de la comunidad de Naubug también se identificó los principales usos de suelo que se da actualmente que son los siguientes:

1) Agrícola

Es aquel que se utiliza en el ámbito de la productividad para hacer referencia a un determinado tipo de suelo que es apto para todo tipo de cultivos y plantaciones, es decir, para la actividad agrícola o agricultura. Este debe ser un suelo fértil que permita el crecimiento y desarrollo de diferentes tipos de cultivo que sean luego cosechados y utilizados por el hombre (Acosta, 2006).

En la zona se produce una variedad de gramíneas (cebada, maíz y trigo), leguminosas (habas y frejol); tubérculos (papa) y en una pequeña escala, hortalizas, legumbres (arveja), quinua, melloco, oca y mashua (MAGAP, 2013).

2) Usos no agrícolas

Se considera uso no agrícola al bosque de eucalipto y/o pino que son parcelas de terreno pequeñas hasta áreas más extensas, se cosechan para leña y para la venta mayorista. Y a los terrenos abandonados que son parcelas de terreno pequeñas hasta áreas más extensas donde ya no se practica la agricultura. Suelos caracterizados por niveles de materia orgánica (1,4 – 2,4%) y de nitrógeno total (0,06 – 0,08%) muy bajos en las zonas media y baja (Caulfield, 2015).

3) Cercas vivas

Aquí tenemos 3 tipos de cercas vivas que son: Pasto milin, que se cosecha para forraje. Árboles nativos (tilo, quishuar, yagual, aliso, lupina, etc.) muchas veces se encuentran pasto entre los árboles. Y mixto que son cercas vivas de distintos árboles, arbustos y pastos. Suelos caracterizados por niveles de materia orgánica (ZA: 4%, ZM: 3,8%, ZB: 1,75%) y de nitrógeno total (ZA: 0,16%, ZM: 0,13%, ZB: 0,075%) que bajan suavemente con la zona. Alta diversidad de macrofauna y vegetación (Caulfield, 2015).

5. Evaluación de la fertilidad del suelo

a. Indicadores físicos

Las propiedades físicas que pueden ser utilizadas como indicadores de la fertilidad del suelo son aquellas que reflejan la manera en que este recurso acepta, retiene y transmite agua a las plantas, así como las limitaciones que se pueden encontrar en el crecimiento de las raíces, la emergencia de las plántulas, la infiltración o el movimiento del agua dentro del perfil y que además estén relacionadas con el arreglo de las partículas y los poros (Singer & Ewing, 2000).

Tabla 5. Conjunto de indicadores físicos, propuesto para monitorear los cambios que ocurren en el suelo.

Propiedad	Relación con la condición y función del suelo	Valores o unidades relevantes ecológicamente; comparaciones para evaluación
Textura	Retención y transporte de agua y compuestos químicos; erosión del suelo	% de arena, limo y arcilla; pérdida del sitio o posición del paisaje
Profundidad del suelo, superficial y raíces	Estima la productividad potencial y la erosión	cm o m
Infiltración y densidad aparente	Potencial de lavado; productividad y erosividad	minutos/2.5 cm de agua y g/cm ³
Capacidad de retención de agua	Relación con la retención de agua, transporte, y erosividad; humedad aprovechable, textura y materia orgánica	% (cm ³ /cm ³), cm de humedad aprovechable/30 cm; intensidad de precipitación

Fuente: (Seybold, Mausbach, Karlen, & Rogers, 1997).

Las propiedades físicas que se consideran en este estudio son:

1) **Textura**

El término textura, se refiere la proporción de arena, limo y arcilla expresados en porcentaje. En la fracción mineral del suelo, son de interés edafológico solamente las partículas menores de 2mm de diámetro (Sánchez, 2008).

Siguiendo la terminología establecida por la USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América), tenemos las siguientes clases de partículas inferiores a 2 mm de diámetro (\emptyset):

Tabla 6. Clasificación de las partículas del suelo según el United States Department of Agriculture (USDA)

Nombre de la partícula	TAMAÑO (límites del diámetro en milímetros)
Arena	0.05 a 2.0
Arena muy gruesa	1.0 a 2.0
Arena gruesa	0.5 a 1.0
Arena mediana	0.25 a 0.5
Arena fina	0.10 a 0.25
Arena muy fina	0.05 a 0.10
Limo	0.002 a 0.05
Arcilla	menor de 0.002

Fuente: (USDA, 2006).

A grandes rasgos tenemos: Arena $2 \text{ mm} > \emptyset > 0,05 \text{ mm}$; Limo $0,05 \text{ mm} > \emptyset > 0,002 \text{ mm}$ y Arcilla $\emptyset < 0.002 \text{ mm}$.

Estas fracciones granulométricas, le otorgan al suelo las siguientes características:

La arena gruesa le da macroporosidad alta, permeabilidad alta, compacidad baja, poca inercia térmica, facilidad de laboreo, energía de retención de agua baja, almacenamiento de nutrientes bajo. El limo le proporciona una fertilidad física deficiente, riesgo de encostramiento superficial, velocidad de infiltración baja, inestabilidad estructural alta, permeabilidad media a baja, erosionabilidad alta, almacenamiento de nutrientes y capacidad de retención de agua útil media a baja. Mientras que la arcilla le da una fertilidad química alta según mineralogía, superficie específica muy alta, capacidad de intercambio catiónico

alta y variable con mineralogía, capacidad de retención de agua útil alta, microporosidad alta, dificultad penetración raíces (Quiroga, 2008).

El Diagrama textural de la USDA es una herramienta para obtener las clases texturales en función de los porcentajes de arena, limo y arcilla.

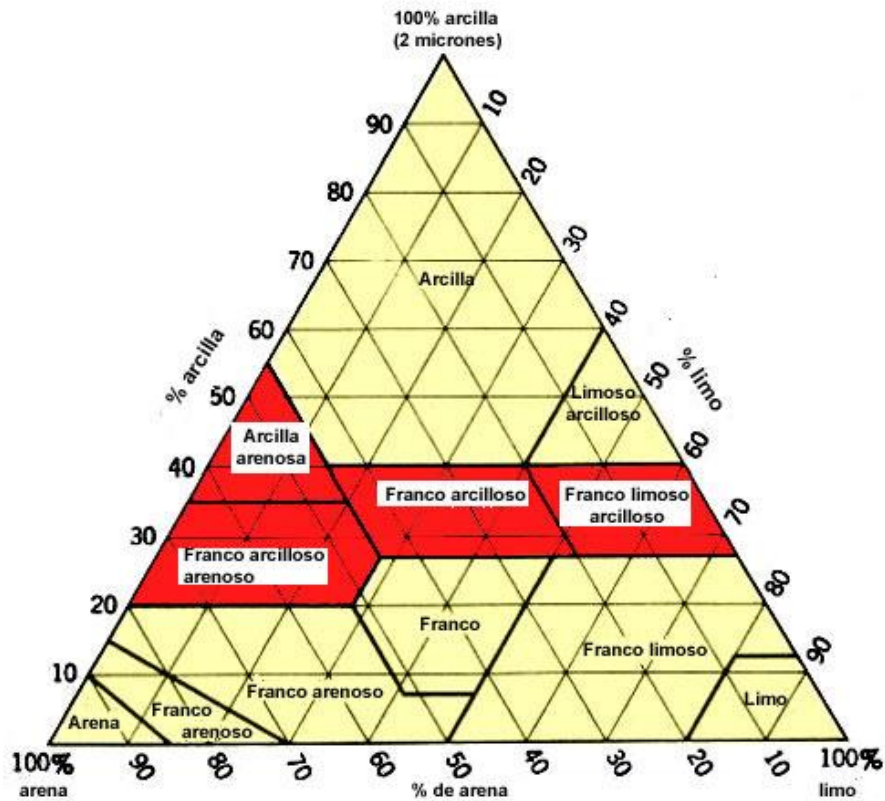


Figura 5. Diagrama textural de la USDA

Fuente: (USDA, 2006)

El triángulo se divide en una serie de áreas que corresponden a las diversas clases texturales, que representan grupos de texturas con aptitudes o propiedades análogas. Las clases suelen asociarse en cuatro grupos principales que corresponden a las texturas arcillosas, limosas, arenosas y francas o equilibradas; según exista un componente dominante o una proporción adecuada de todos ellos (Blanquer, 2001).

Tabla 7. Clases texturales de suelos, según el USDA

Nombres vulgares de los suelos(textura general)	Arenoso	Limoso	Arcilloso	Clase textural
Suelos arenosos (textura gruesa)	86-100	0-14	0-10	Arenoso
	70-86	0-30	0-15	Franco arenoso
Suelos francos (textura moderadamente gruesa)	50-70	0-50	0-20	Franco arenoso
Suelos francos (textura mediana)	23-52	28 - 50	7 – 27	Franco
	20-50	74 – 88	0 – 27	Franco limoso
	0-20	88 - 100	0 - 12	Limoso
Suelos francos (textura moderadamente fina)	20 – 45	15 – 52	27 – 40	Franco arcilloso
	45 – 80	0 – 28	20 – 35	Franco arenoso arcilloso
	0 – 20	40 - 73	27 - 40	Franco limoso arcilloso
Suelos arcillosos (textura fina)	45 – 65	0 – 20	35- 55	Arcilloso arenoso
	0 – 20	40 – 60	40 – 60	Arcilloso limoso
	0 - 45	0 - 40	40 - 100	Arcilloso

Fuente: (USDA, 2006).

A grandes rasgos y una vez definida la textura de los horizontes del suelo, sabemos que esta influye en: la capacidad de retención de agua para las plantas, riesgo de compactación (dificultad de paso de las raíces en horizontes muy arcilloso), disponibilidad de nutrientes, erosionabilidad, rendimiento de los cultivos, comportamiento frente al laboreo (Blanquer, 2001).

a) Determinación de la textura por el método de Bouyoucos

El método del hidrómetro de Bouyoucos es una de las formas más rápidas para analizar el tamaño de las partículas del suelo. El método del hidrómetro implica dispersar las partículas de suelo con una sustancia tal como metafosfato de sodio y después agitar la solución. La cantidad de arena, limo y arcilla en la muestra de suelo está determinada, después de la dispersión, por un hidrómetro, que mide las partículas en suspensión. La cantidad de cada tipo de partícula es determinada utilizando la ley de Stokes, que determina la cantidad de cada tipo de partícula presente por la velocidad a la que cada tipo de ellas cae fuera de suspensión, en base a su tamaño (Crosara, 2004).

2) Densidad aparente

La densidad aparente se define como la masa de suelo por unidad de volumen (g/cm^3 o t/m^3). Describe la compactación del suelo, representando la relación entre sólidos y espacio poroso (Keller, 2010).

Lo que concuerda con Pinot, (2000) que manifiesta que la densidad aparente se define como el peso seco del suelo por unidad de volumen de suelo inalterado, tal cual se encuentra en su emplazamiento natural, incluyendo el espacio poroso.

Para medir la densidad aparente se retira del campo una muestra de suelo de volumen conocido y se seca en el horno a 105°C , hasta que alcanza un peso constante. La densidad aparente se calcula dividiendo el peso seco del suelo por el volumen que ocupaba en el campo (Pinot, 2000).

La densidad aparente del suelo es un buen indicador de propiedades importantes del suelo, como son: la compactación, porosidad, grado de aireación y capacidad de infiltración, lo que condiciona la circulación de agua y aire en el suelo, los procesos de establecimiento de las plantas (emergencia, enraizamiento) y el manejo del suelo (Rubio, 2010).

Se puede asumir los siguientes valores promedio para cada grupo de suelos:

Tabla 8. Relación general entre densidad aparente del suelo y crecimiento radicular, en base a la textura del suelo.

Clase Textural	Densidades aparentes ideales (g/cm³)	Densidades aparentes que restringen el crecimiento radicular (g/cm³)
Arena, areno-franco	1,3 – 1,8	>1.80
Franco-arenosa	1,3 – 1,8	>1.80
Franco	1,0 – 1,3	
Franco-arcilla-arenosa, franco, franco-arcillosa	1,0 – 1,3	> 1.75
Limosa, franco-limosa	1,0 – 1,3	> 1.75
Franco-limosa, franco arcillo-limosa	1,0 – 1,3	> 1.65
Arcillo-arenosa, arcillo-limosa, algunas franco-arcillosas (35-45% de arcilla)	< 1.10	> 1.58
Arcillosa (>45% de arcilla)	< 1.10	> 1.47

Fuente: (Heredia, 2006)

A valores más bajos de densidad aparente existe una mayor porosidad y, por lo tanto, una mayor aireación, una densidad aparente alta implica una menor porosidad y, por lo tanto una menor tensión de oxígeno y reserva de humedad en el suelo, estos dos factores afectan el crecimiento radicular de las plantas (Rojas, 2003).

a) Determinación de la densidad aparente por el método del cilindro metálico

Es el método más sencillo y consiste en tomar un volumen fijo de suelo sin perturbar y pesarlo una vez seco, por calentamiento en el horno a 105° C durante 24 horas. Para ello se suele utilizar un cilindro metálico con un volumen conocido. En uno de sus extremos se le

coloca un cabezal cilíndrico, que se irá golpeando con un mazo de goma para poder presionar e introducir el cilindro o anillo toma de muestras dentro del suelo sin afectar a la muestra. Una vez clavado completamente, se extrae el cilindro del suelo, cortando con una herramienta apropiada, que nos permitirá eliminar el sobrante del extremo que se ha clavado. Una vez el cilindro esté lleno y enrasado en ambos extremos, se le coloca dos tapaderas de plástico a ambos extremos. En el laboratorio se extrae el suelo contenido, cuyo volumen corresponde con el del cilindro y que es conocido, se deseca y se pesa. La densidad viene determinada por la relación entre el peso seco obtenido y el volumen correspondiente (Rubio, 2010).

3) Conductividad hidráulica

La conductividad hidráulica se refiere a la velocidad con la que el agua pasa a través de la masa del suelo, por unidad de gradiente de carga hidráulica. Este parámetro depende de la porosidad del suelo, particularmente, de la proporción de poros.

Los valores bajos de conductividad hidráulica podrían ser debidos a una baja porosidad, pocos poros grandes y una pobre interconectividad entre ellos, así como a la presencia de una elevada cantidad de arcillas expandibles. Valores altos de conductividad hidráulica generalmente, se presentan en suelos de textura gruesa, a pesar de su baja porosidad. (Flores & Alcalá, 2010).

La tabla 9, muestra valores de conductividad hidráulica y su interpretación.

Tabla 9. Rango de conductividad hidráulica y su interpretación.

Conductividad hidráulica (cm/h)	Conductividad hidráulica (cm/min)	Interpretación
<0,0036	< 0,00006	Muy baja
0,0036 a < 0,036	0,00006 a < 0,0006	Baja
0,0360 a < 0,360	0,0006 a < 0,006	Moderadamente baja
0,360 a < 3,60	0,006 a < 0,06	Moderadamente alta
3,60 a < 36,0	0,06 a < 0,6	Alta
≥36,0	≥ 0,6	Muy alta

Fuente: (Flores & Alcalá, 2010)

b) Determinación mediante el infiltrómetro.

El movimiento del agua en el suelo es espacialmente variable. El infiltrómetro de mini disco es una forma rápida de comprobar las tasas de conductividad hidráulica insaturada y de infiltración (Ruiz, 2011).

El infiltrómetro de minidisco consiste en un tubo de ensayo graduado, de unos 20 cm de longitud y 2 cm de diámetro. En la parte inferior del tubo se coloca un disco de cerámica porosa y justo por encima de esta base hay un pequeño capilar insertado en la pared lateral; mientras que el extremo superior queda abierto para que pueda llenarse de agua. Este tipo de infiltrómetros permiten realizar infiltraciones a diferentes tensiones de succión de 0,5 a 7 cm de columna de agua (Ruiz, 2011).

Las tasas de infiltración son diferentes para cada tipo de suelo, por ello es necesario ajustar una tasa de succión adecuada a cada uno. En la mayoría de suelos suele ser adecuada una tasa de succión de 2 cm, pero en suelos arenosos con tasas de infiltración elevadas es conveniente hacer un ajuste a 6 cm y en suelos compactados con tasas de infiltración lentas, es mejor ajustar la succión a 0.5 cm (Ruiz, 2011).

b. Indicadores químicos

Los indicadores químicos propuestos se refieren a condiciones de este tipo que afectan las relaciones suelo planta, la calidad del agua, la capacidad amortiguadora del suelo, la disponibilidad de agua y nutrimentos para las plantas y microorganismos (SQI, 1996).

Tabla 10. Conjunto de indicadores químicos, propuesto para monitorear los cambios que ocurren en el suelo

Propiedad	Relación con la condición y función del suelo	Valores o unidades relevantes ecológicamente; comparaciones para evaluación
Materia orgánica (N y C total)	Define la fertilidad del suelo; estabilidad; erosión	Kg de C o N ha ⁻¹
pH	Define la actividad química y biológica	comparación entre los límites superiores e inferiores para la actividad vegetal y microbiana
Conductividad eléctrica	Define la actividad vegetal y microbiana	dSm ⁻¹ ; comparación entre los límites superiores e inferiores para la actividad vegetal y microbiana
P, N, y K extractables	Nutrientes disponibles para la planta, pérdida potencial de N; productividad e indicadores de la calidad ambiental	Kg ha ⁻¹ ; niveles suficientes para el desarrollo de los cultivos

Fuente: (Seybold, Mausbach, Karlen, & Rogers, 1997).

Las propiedades químicas que se consideran en este estudio son:

1) Reacción del suelo (pH)

Es una propiedad que tiene influencia indirecta en los procesos químicos, disponibilidad de nutrientes, procesos biológicos y actividad microbiana.

Es definido como el logaritmo inverso de la actividad de iones hidrógeno en la solución suelo. Normalmente el rango de pH de los suelos varía entre 3.5 a 9.0, la razón por la que no se alcanza valores extremos de 0 o 14 se debe a que la solución suelos no es una solución verdadera, sino una solución coloidal (Sánchez, 2008).

El pH es una de las mediciones químicas más importante que se puede hacer en un suelo. A pesar de su simplicidad, no sólo indica si el mismo es ácido, neutro o alcalino, sino que aporta información básica para conocer su potencial agrícola, estimar la disponibilidad de nutrientes esenciales y la toxicidad de otros elementos. Permite predecir los cationes dominantes en los coloides del suelo (Azcarate, 2008).

El pH influye en las propiedades físicas y químicas del suelo. Las propiedades físicas resultan más estables a pH neutro. A pH muy ácido hay una intensa alteración de minerales y la estructura se vuelve inestable. A pH alcalino, las arcillas se dispersan, se destruye la estructura y existen malas condiciones desde el punto de vista físico. La asimilación de nutrientes del suelo es afectada por el pH, ya que determinados nutrientes no se encuentran disponibles para las plantas en determinadas condiciones de pH. La mayor disponibilidad de nutrientes se da a pH entre 6-7,5 pero esto depende de cada cultivo (Azcarate, 2008).

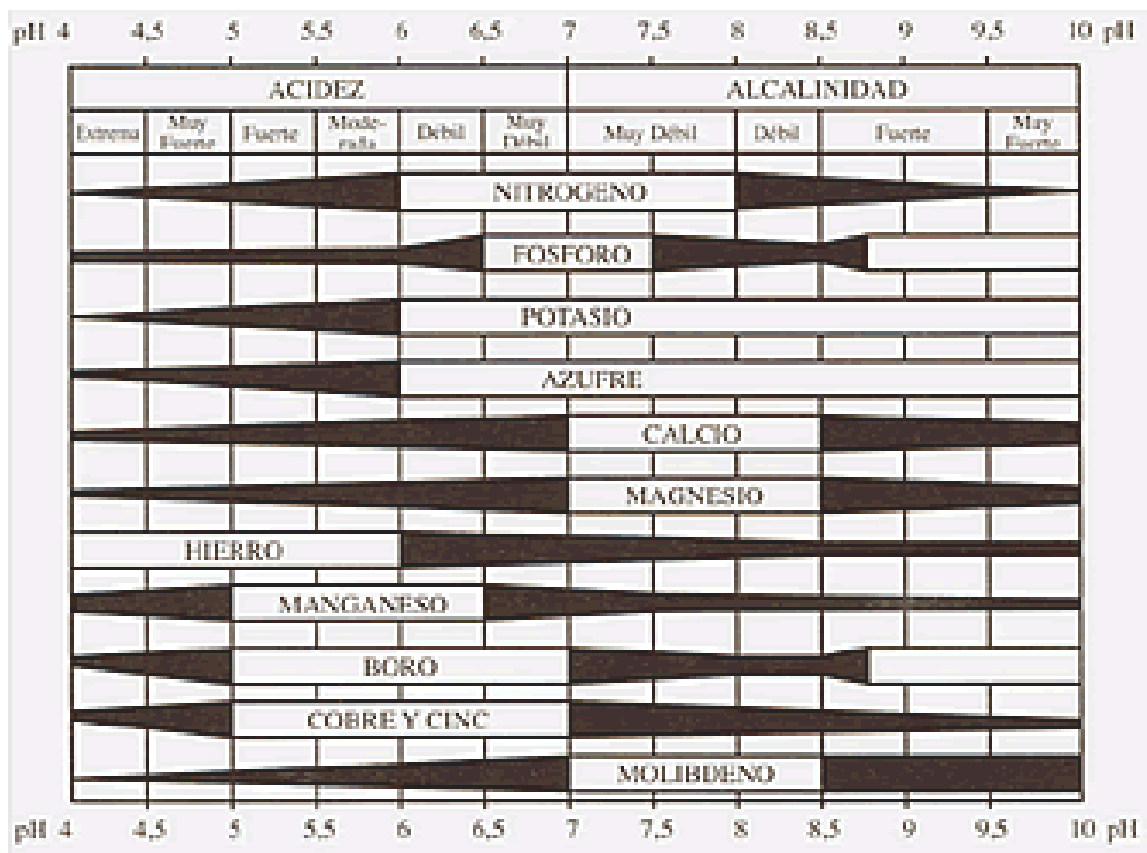


Figura 6. Disponibilidad de nutrientes en función del pH.

Fuente: (INFOAGRO, 2008)

Los suelos según el pH que tengan presentan características distintas:

Los suelos con pH ácido son desfavorables para el desarrollo radicular, suelen ser pobres en bases de cambio: Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , en ellos se reduce la actividad microbiana, disminuye la asimilación del fósforo, que precipita dando formas insolubles con Mn, Al y Fe. En cambio los suelos con pH básico tienen un alto contenido en bases de cambio: Ca^{++} , Mg^{++} , por la presencia de carbonato cálcico presentan bloqueos y antagonismos que dificultan la asimilación del Fe, Mn y Zn, si hay carbonato sódico aparecen problemas de impermeabilidad y compacidad, disminuye la asimilación del fósforo que precipita dando formas insolubles: $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. Suelos con pH neutro son la condición óptima para el desarrollo de la mayoría de los cultivos y para la asimilación de la mayoría de los nutrientes (Andrades, 2014).

La escala del pH se presenta entre un rango que va de 0 a 14; en la cual valores menores a 7 se consideran ácidos, mientras que valores mayores a 7 son básicos y aquellos alrededor de 7 serán neutros (Salazar, 2003).

Tabla 11. Escala de pH para describir categorías de acidez o alcalinidad

pH	Denominación
< 5,5	Ácido
5,5 – 6,4	Ligeramente ácido
6,5 – 7,5	Neutro
7,6 – 8,0	Ligeramente alcalino
> 8,0	Alcalino

Fuente: (INIAP- Santa Catalina, 2011)

2) **Materia orgánica del suelo**

La calidad del suelo es uno de los factores más importantes en el sostenimiento global de la biosfera y en el desarrollo de prácticas agrícolas sustentables. La materia orgánica (MO) es el principal indicador e indudablemente el que posee una influencia más significativa sobre la calidad del suelo y su productividad (Azcarate, 2008).

Su adecuada proporción favorece el desarrollo de una buena estructura, mejorando la aireación del suelo y la capacidad de retención del agua, protege frente a la erosión, reduce la fijación del fósforo y el potasio, aumenta la capacidad total de cambio favoreciendo una buena reserva de elementos nutritivos, mejora los niveles de fertilidad de los suelos (Andrades, 2014).

Con un buen contenido de la materia orgánica se regula en mejor forma el ciclo de nutrientes, especialmente nitrógeno, azufre, fósforo y boro. En cuanto a los micronutrientes, la quelatación de éstos permite su mejor absorción, favoreciendo el proceso de nutrición de la planta por efecto de una nutrición más balanceada (Rojas, 2003).

La pérdida continuada de materia orgánica, produce una serie de efectos negativos que afectan la productividad del suelo; desde el punto de vista de la fertilidad química, disminuye la capacidad de intercambio catiónico y el pH tiende a incrementarse, debido a que la materia orgánica normalmente tiende a acidificar el suelo (Rojas, 2003).

Para la interpretación de la materia orgánica se puede utilizar la siguiente tabla:

Tabla 12. Niveles del porcentaje de la materia orgánica

% M.O	Interpretación
<3,0	Bajo
3,0 – 5,0	Medio
> 5,0	Alto

Fuente: (INIAP- Santa Catalina, 2011)

a) Determinación de la MO

Existen diferentes técnicas analíticas para su determinación, dos de las cuales están muy difundidas y son las que se utilizan en el laboratorio: el método de pérdida por ignición y el método de combustión húmeda de Walkley – Black (Álvarez & Steinbach, 2006).

El método de combustión húmeda de Walkley-Black consiste en una oxidación con dicromato de potasio en medio de ácido sulfúrico. La reacción toma el calor de la disolución del ácido, lo que eleva la temperatura y logra la oxidación del carbono orgánico. El dicromato residual es posteriormente titulado con una sal ferrosa. Este método es ampliamente utilizado porque requiere un equipamiento mínimo, puede adaptarse para la manipulación de gran número de muestras y no es muy costoso (Rosell, 2001).

3) Nitrógeno

El N es uno de los elementos más comunes del planeta, es también el nutriente que más frecuentemente limita la producción de los cultivos. El N presente en el suelo bajo formas orgánicas no está disponible como tal para las plantas, sino que para ser absorbido tiene que pasar a formas inorgánicas. El N inorgánico representa un 2% del N total del suelo, encontrándose en formas de nitrato (NO_3^-), amonio (NH_4^+) y nitrito (NO_2^-). Estas formas inorgánicas son transitorias en el suelo, por lo cual las cantidades de N inorgánico del suelo son extremadamente variables, pudiendo existir desde unos pocos gramos hasta más de 100 kg/ha de N. Debido a que ésta es la forma en que el N es absorbido por las plantas, el N inorgánico es muy importante para la nutrición vegetal (Perdomo, 2001).

Desde el punto de vista agrícola y del medio ambiente, lo deseable sería que el NO_3^- de cualquier origen (suelo, material orgánico agregado o fertilizante), fuera finalmente absorbido por las plantas. Sin embargo, esta forma de N mineral puede también perderse del sistema suelo-planta. Los dos procesos de pérdida más importantes, el lavado y la desnitrificación, ocurren en condiciones de exceso de agua en los suelos (Perdomo, 2001).

Tabla 13. Niveles de fertilidad del Nitrógeno total del suelo

Valor (%) de nitrógeno	Valor (kg/ha) de nitrógeno	Interpretación
<0,032	< 640	Extremadamente pobre
0,032 – 0,063	640 - 1260	Pobre
0,064 – 0,095	1261 – 1900	Medianamente pobre
0,096 – 0,126	1901 – 2520	Medio
0,127 – 0,158	2521 – 3160	Medianamente rico
0,159 -0,221	3161 – 4420	Rico
> 0,221	> 4420	Extremadamente rico

Fuente: (Moreno, 2001)

4) Fósforo

El fósforo en el suelo, funcionalmente se presenta como tres fracciones. La fracción en solución, la cual es inmediatamente disponible para la absorción de las plantas y resultante del equilibrio entre los distintos componentes y mecanismos que dominan la fracción lábil. La fracción lábil, la que representa la cantidad de P que puede pasar a la solución en una temporada de cultivo y la fracción no lábil que representa todos aquellos compuestos fosforados en el suelo que no salen a la solución del suelo durante la temporada del cultivo (Bernier, 2000).

La disponibilidad de fósforo en el suelo, corresponde a una pequeña fracción del fósforo total contenido en el suelo, reflejando parte del fósforo de la solución suelo y aquella que se encuentra en la fase sólida, susceptible de ser asimilada por las plantas. El fósforo forma compuestos débilmente solubles con cationes bivalentes y monovalentes. Por esta razón, la cantidad de fósforo de la solución suelo es muy pequeña (Bernier, 2000).

a) Determinación de fósforo (P)

El fósforo extractable se determina por el método de Olsen, utilizando bicarbonato de sodio, 1 M, a pH 8,5. Las categorías de disponibilidad corresponden a rangos expresados en partes por millón (ppm) o miligramos por kilogramo (mg/kg).

Tabla 14. Niveles de fertilidad del Fósforo del suelo

Fósforo (ppm)	Fósforo (kg/ha)	Interpretación
<10,0	< 20,	Bajo
10,0 – 20,0	20,0 – 40,0	Medio
> 20,0	> 40,0	Alto

Fuente: (INIAP- Santa Catalina, 2011)

5) Potasio

El contenido total de potasio en la naturaleza es de alrededor de 2,3 a 2,4 %, pero solamente una pequeña porción es disponible para las plantas. Las formas más comunes de potasio en el suelo son:

Potasio estructural que es la fracción que se encuentra formando parte de los minerales, constituyendo un 90- 99% del K total. Potasio soluble es el que se encuentra en la solución del suelo. Es la fracción cuantitativamente menos importante. Se encuentra en concentraciones que oscilan entre 0,1 a 1000 ppm (pocos Kg/ha), y es renovado constantemente. Es el K directamente aprovechable por las plantas. El potasio intercambiable es la fracción que se encuentra adsorbida en el complejo de cambio y que es intercambiable con otros cationes. La saturación potásica del complejo de cambio oscila entre 1 y 5%. Potasio fijado es el K no intercambiable acumulado en el espacio interlaminaar de las arcillas. El término fijación debe tomarse en un sentido relativo ya que el K fijado puede ser luego disponible para las plantas. La fijación ocurre frecuentemente en suelos que contienen minerales arcillosos 2:1 del tipo de la illita y de la vermiculita (Sanzano, 2000).

a) Funciones en la planta

El potasio se toma del suelo en forma iónica (K^+). A diferencia del N y P, el K no forma compuestos orgánicos, su función está relacionada con diversos procesos metabólicos. Es vital en la fotosíntesis; cuando hay deficiencias, ésta se reduce e incrementa la respiración, por lo que disminuye la acumulación de carbohidratos, como consecuencia adversa en el crecimiento y producción de la planta. El potasio está presente en todo el tejido vegetal; es un componente importante de los suelos fértiles (Vidal, 2003).

Tabla 15. Niveles de fertilidad del Potasio del suelo

Potasio (meq/100ml)	Potasio (kg/ha)	Interpretación
<0,2	< 156,4	Bajo
0,2 – 0,4	156,4 – 312,8	Medio
> 0,4	> 312,8	Alto

Fuente: (INIAP- Santa Catalina, 2011).

6) Calcio

El calcio en el suelo se encuentra combinado en compuestos minerales y orgánicos. Existe además calcio iónico (Ca^{2+}) fijado sobre el complejo adsorbente o libre en la solución del suelo. El calcio es muy importante para el suelo desde un punto de vista físico, es necesario para una buena estructura (floculante del complejo arcillo-húmico), aumenta la ligereza de los suelos pesados. Desde un punto de vista químico, es antagónico del H, por lo que los suelos ricos en Ca presentan un pH básico, regula las posibilidades de solubilización del resto de los elementos del suelo (Báscones, 2007).

Cantidades muy elevadas de calcio asimilable en el suelo originan problemas importantes en la fisiología de la planta por su interacción con otros macro y microelementos, como el antagonismo con el potasio que se presentan en los suelos calizos o después de fuertes encalados, donde pueden producirse carencias de potasio. También se produce la precipitación de los fosfatos, y los antagonismos con algunos microelementos (Fe, Mn, B, Zn) pueden originar estados carenciales por deficiente absorción por la planta (Monge, 2000).

La presencia de calcio realiza una influencia sobre las propiedades físicas y mecánicas del suelo provocando la floculación de los contenidos coloidales, favoreciendo los fenómenos de agregación estructural y mejorando la permeabilidad; los mecanismos químico – físicos, definiendo el grado de reacción del suelo y regulando los fenómenos de solubilización y de

insolubilización de los nutrientes; la actividad biótica, incrementa en particular el proceso de nitrificación (Arcos, 2003).

Tabla 16. Niveles de fertilidad del Calcio del suelo

Calcio (meq/100ml)	Calcio (kg/ha)	Interpretación
< 4,0	< 1603,2	Bajo
4,0 – 8,0	1603,2 – 3206,4	Medio
> 8,0	> 3206,4	Alto

Fuente: (INIAP- Santa Catalina, 2011)

7) Magnesio

El magnesio se encuentra en el suelo principalmente en forma mineral como silicatos, carbonatos, sulfatos y cloruros (Báscones, 2007).

El magnesio es fundamental para varias funciones importantes en los vegetales, como la intervención en la síntesis de xantofilas y carotenos, activador de varias enzimas, particularmente aquellas involucradas en el metabolismo de carbohidratos y proteínas, que contribuyen a la mantención de una turgencia óptima de las células y participan en la formación de carbohidratos en la planta. Uno de los papeles más importantes del magnesio se encuentra en el proceso de la fotosíntesis ya que es un componente básico de la clorofila, la molécula que provee a las plantas de su color verde. La deficiencia de magnesio, por lo tanto, se transforma en un factor importante que limita la producción de cultivos (Henríquez, 2010).

En el suelo, el magnesio está presente en tres formas: magnesio de la solución del suelo está en equilibrio con el magnesio intercambiable y está fácilmente disponible para las plantas. El magnesio intercambiable es la fracción más importante para determinar el magnesio disponible. El magnesio adsorbido electrostáticamente a las partículas de arcilla y materia orgánica, dependiendo su liberación del efecto que tiene la absorción de un Mg^{2+}

en la solución del suelo, en el equilibrio con la fracción intercambiable. Normalmente en equilibrio con el Mg de la solución del suelo. Y el magnesio no intercambiable como componente de los minerales primarios en el suelo. El Mg está en la red de cristal la cual es la base estructural directa de los silicatos del suelo. Como el proceso de descomposición de los minerales en el suelo es muy lento, esta fracción de Mg no está disponible para las plantas (Terron, 2011).

Tabla 17. Niveles de fertilidad del Magnesio del suelo

Magnesio (meq/100ml)	Magnesio (kg/ha)	Interpretación
< 1,0	< 243,2	Bajo
1,0 – 2,0	243,2 – 486,4	Medio
> 2,0	> 486,4	Alto

Fuente: (INIAP- Santa Catalina, 2011)

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

A. CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR

1. Localización

La presente investigación, se realizó en la provincia Chimborazo, cantón Riobamba, parroquia Flores, comunidad Naubug (Anexo 1).

2. Ubicación geográfica¹

Altitud: 3450 msnm

Latitud: 760668 UTM.

Longitud: 9795150 UTM

3. Condiciones climatológicas¹

Temperatura media anual: 12 - 16°C

Precipitación media anual: 360– 600 mm

4. Clasificación ecológica

De acuerdo a la clasificación de Sierra (1999) citado por (Andino, 2012) la parroquia Flores pertenece a la zona de vida Matorral seco montano.

5. Características del suelo¹

Son suelos caracterizados por ser poco profundos, sobre canchagua. La textura del suelo puede ser arenosa, arena fina, limo arenosa, roca.

¹ (GAD parroquial de Flores, 2012)

B. MATERIALES

1. Materiales de campo y de oficina

Portapapeles, lápiz, cinta métrica de 50 metros, banderines, botella de agua, regla de 30 cm, pala delgada cuadrada y plana, cilindros metálicos, martillo y bloque de madera, cuchillo, bolsas de plástico para muestras, marcadores, zinc, estacas, plástico, valde, hojas de papel bond, internet, lápiz, libreta de apuntes, Software QGIS, mapas y orthofotos de la comunidad de Naubug.

2. Equipos de campo y de oficina

GPS, cámara digital, clinómetro, balanza digital, infiltrómetro, cronometro, Computadora.

C. METODOLOGÍA

1. Muestreo para las propiedades físicas y químicas del suelo

a. Fase de Campo

1) Selección de puntos

Antes de proceder a la selección de puntos se realizó un mapeo comunitario con los agricultores de la comunidad de Naubug donde identificaron 3 agroecosistemas que los denominaron zona alta, zona media y zona baja tomando en cuenta factores como altura, distancia a la casa, gestión agrícola (rotaciones etc), tipo de suelo, grado de degradación del suelo, clima/cultivos; y 4 usos de suelo que son cultivado o agrícola (cebada, quinua, maíz, papa), cercas vivas (mixta, árboles nativos, pasto); bosque y suelo abandonado. De allí se seleccionó los puntos de muestreo al azar antes de ir al campo utilizando el programa de SIG QGIS que es un diseño ‘semi-random, semi-purposeful’ de distintos bloques (o usos de tierra) como se observa en las figuras 7, 8 y 9.

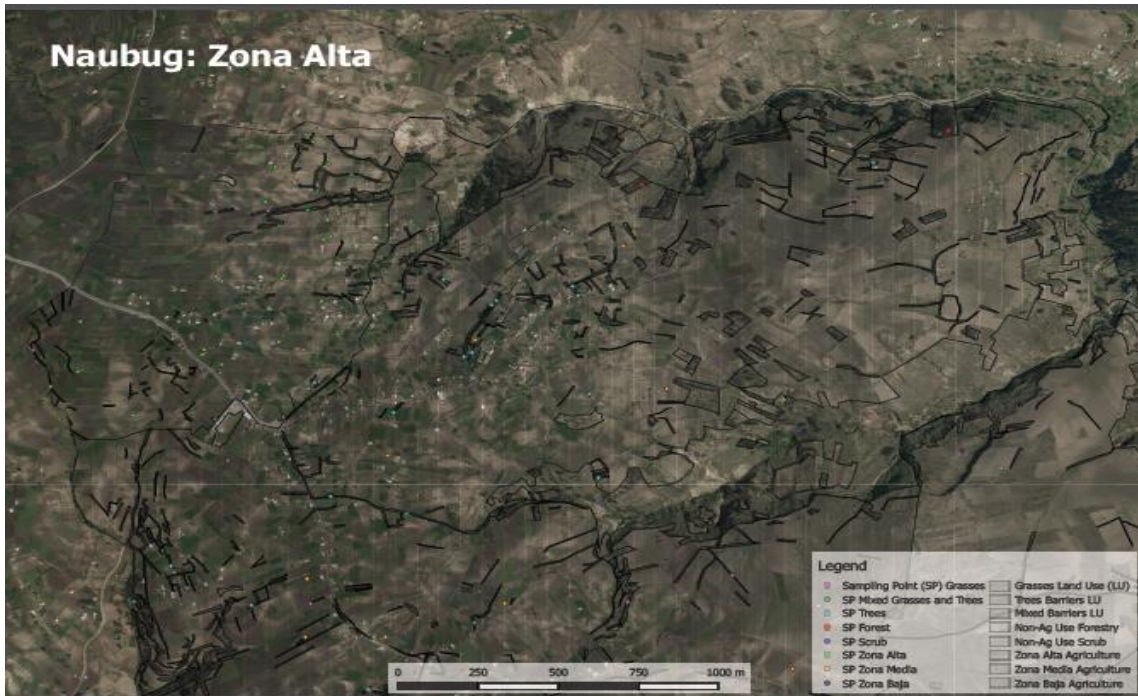


Figura 7. Selección de puntos del agroecosistema de la zona alta de Naubug

Elaborado por: Caufield, M. (2015)

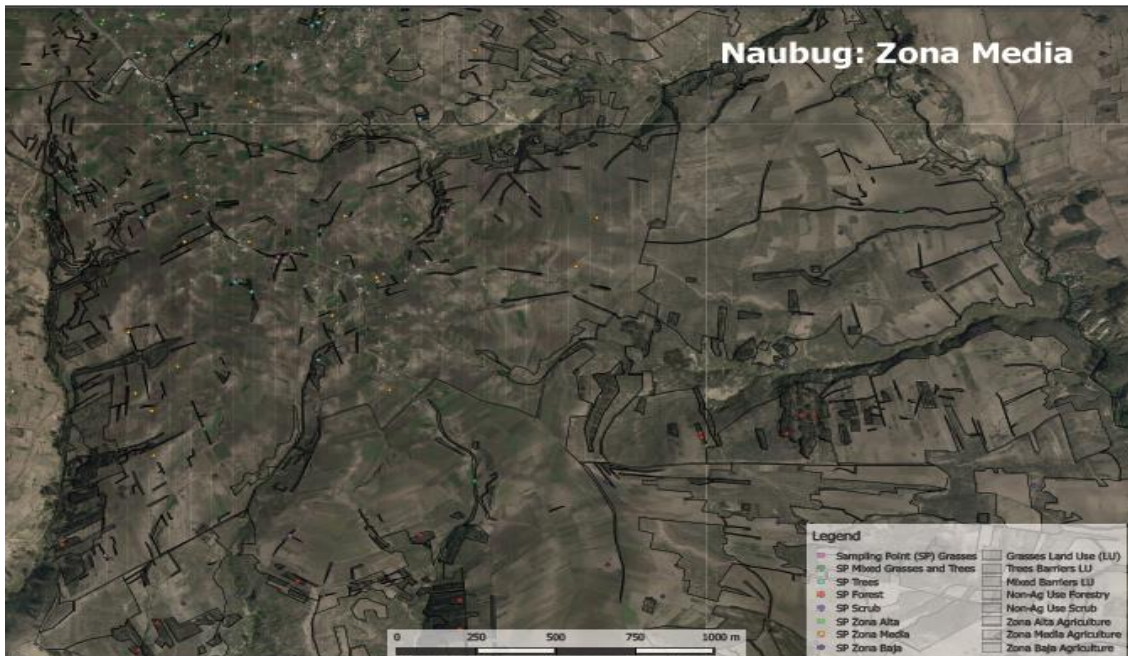


Figura 8. Selección de puntos del agroecosistema de la zona media de Naubug

Elaborado por: Caufield, M. (2015)

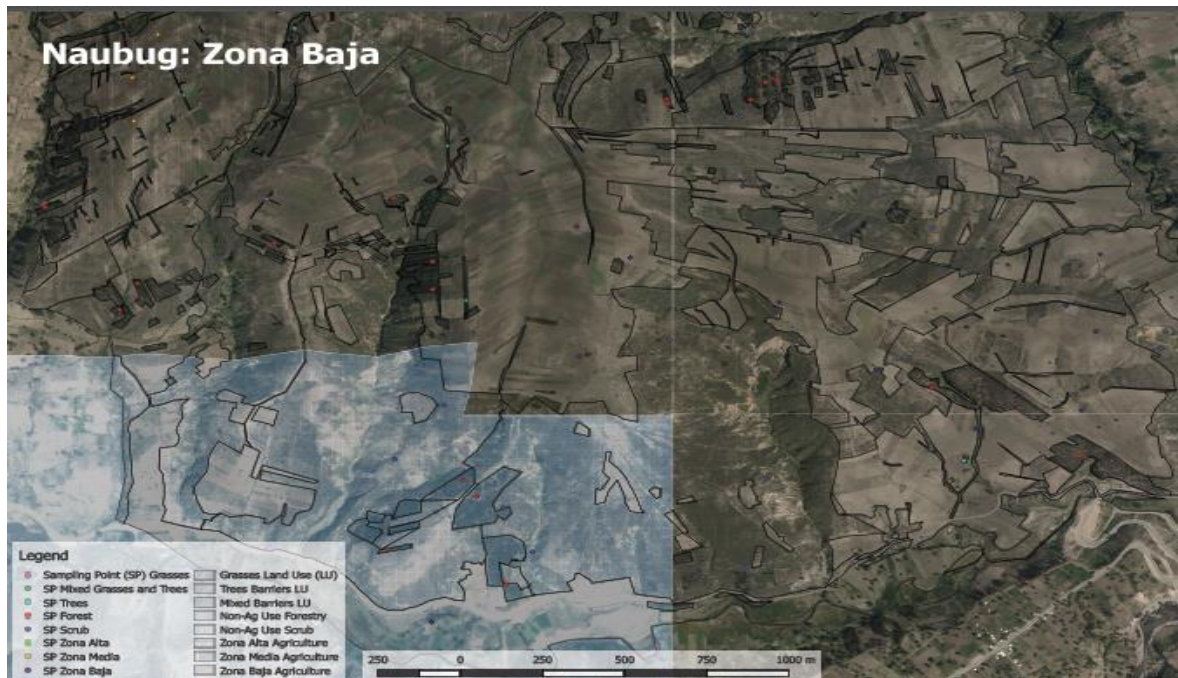


Figura 9. Selección de puntos del agroecosistema de la zona baja de Naubug

Elaborado por: Caufield, M. (2015)

2) Marcación de puntos

Los puntos se ubicaron con GPS utilizando sus coordenadas. El área de muestreo se estableció empezando con un transecto central de 20 m (Figura 10). Este transecto define donde se tomaron las mediciones. Después de marcar el transecto central, se señalaron los 3 puntos de muestreo con 3 banderines a 0, 10 y 20 m. También se marcaron 2 transectos paralelos a 5 m de distancia en los 2 lados (Figura 11).

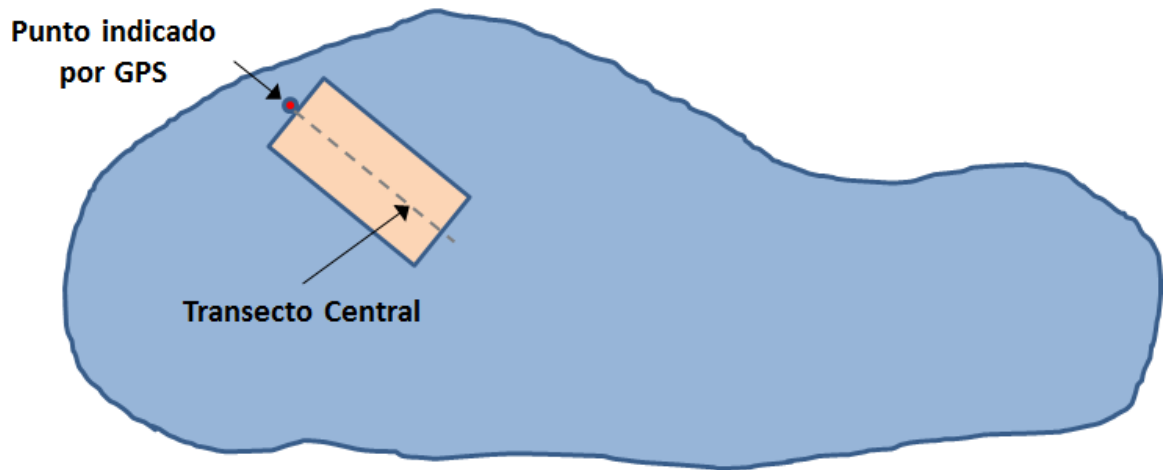


Figura 10. Ubicación del área de muestreo en un polígono o parcela

Elaborado por: Fonte, S. (2015)

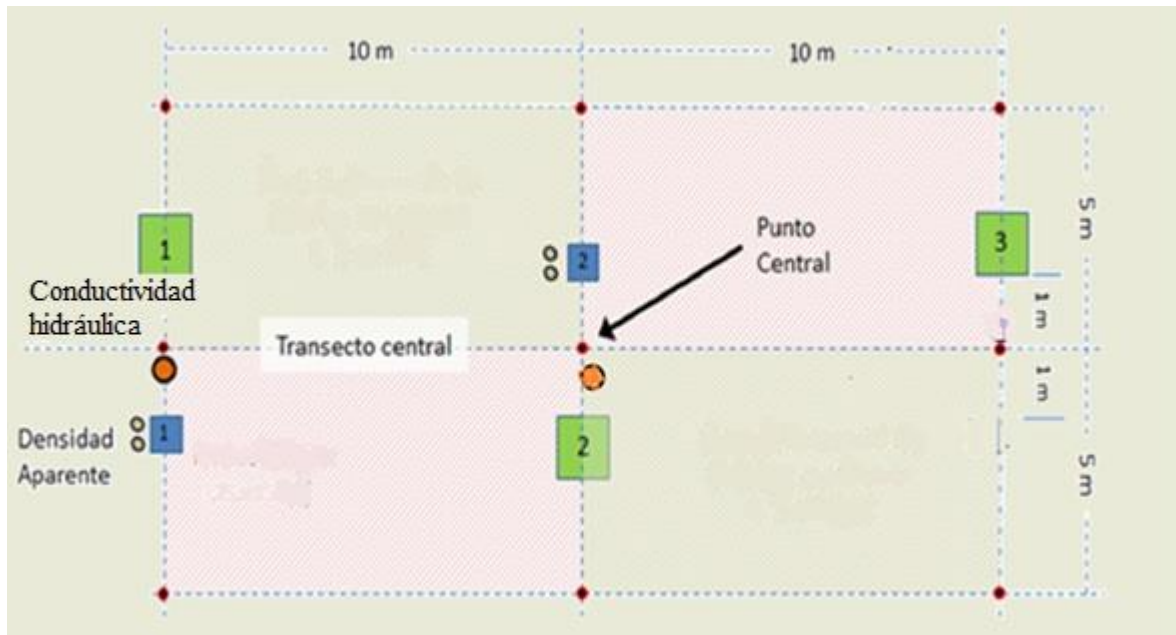


Figura 11. Área de muestreo general con ubicación de los diferentes puntos para submuestras

Elaborado por: Fonte, S. (2015)

Antes de proceder al muestreo se tomaron datos básicos del punto de muestreo como uso de tierra, fecha, pendiente y comentarios generales según la hoja de datos.

3) Conductividad hidráulica²

Se realizó mediante la utilización del infiltrómetro y se procedió de la siguiente manera:

Llenamos con agua el infiltrómetro por la parte superior e inferior. Ajustamos la tasa de succión del infiltrómetro en donde para la mayoría de los suelos, una tasa de succión de 2 cm es la adecuada. En suelos arenosos donde la infiltración se produce muy rápidamente, se ajusta a 6 cm, y se recomienda una tasa de succión de 0,5 para el suelo más compacto con infiltración más lenta.

Colocamos el infiltrómetro sobre el suelo, eliminando basura orgánica para buen contacto y ponerlo al nivel (sin sacar mucho de la capa superficial de suelo - máximo 5mm). Para asegurar un buen contacto entre el suelo y el infiltrómetro se colocó una fina capa de arena en el suelo.

A medida que el nivel del agua baja, se anotó el volumen a intervalos de tiempo específicos durante 15-60 minutos, el tiempo puede variar mucho dependiendo de la textura del suelo, con un mínimo de 8 lecturas.

4) Densidad aparente

Para la densidad aparente se realizó un hoyo de 25 cm x 25 cm x 25 cm en los dos sub-puntos, se utilizó cilindros metálicos, un bloque de madera y un martillo.

Se colocó el cilindro en la pared del hoyo y con la ayuda del bloque de madera se martilló a una profundidad de 0-10cm y 10-20 cm, se tomaron 360 muestras. Con el cuchillo se definió el volumen de suelo cortando los excesos de tierra en los bordes del cilindro. La muestra de suelo se transfirió a una bolsa de plástico y en el campo se pesó para obtener su peso húmedo, luego se secó en la estufa para obtener su peso seco.

² (Decagon Devices, Inc., 2014)

5) Muestra de suelo para determinación de textura y propiedades químicas del suelo

En cada punto de muestreo con la ayuda de una pala se cavo un hoyo de 25 cm x 25 cm x 25 cm en los tres sub-puntos marcados en el transecto principal (Figura 11), la tierra extraída se colocó en un saco para mezclar las tres sub-muestras, una vez mezclado se extrajo aproximadamente un kilogramo y se envió al laboratorio para su análisis.

b. Fase de laboratorio

Las muestras se enviaron al laboratorio de suelos y aguas del INIAP Estación Santa Catalina y las metodologías que se utilizaron son las siguientes:

1) Propiedades físicas

Tabla 18. Metodología para propiedades físicas

INDICADOR	METODOLOGÍA
Textura	Método de Bouyoucus o hidrómetro

Fuente: (INIAP- Santa Catalina, 2011)

2) Propiedades químicas

Tabla 19. Metodología para propiedades químicas

PARAMETRO	DETERMINACION	METODOLOGIA	UNIDADES
N total	Digestión (TECATOR)	Digestión ácida (H ₂ SO ₄ + catalizador). Destilación alcalina (NaOH 10 N)	%
N- amoniacal		Titulación (H ₂ SO ₄ 0.05 N) Fotolorimetría Fenol básico	ppm
P	EXTRACTO OLSEN MODIFICADO	Fotolorimetría azul de molibdeno	ppm
K, Mg, Ca		Espectrometría de Absorción Atómica	meq/100ml
Materia Orgánica		Análisis elemental TOC Walkley Black	%
pH	MEDICION DIRECTA	Potenciometría	

Fuente: (INIAP- Santa Catalina, 2011)

2. Determinación de la erosión hídrica del suelo

Se instaló 24 parcelas experimentales de 3 x 8 m cada una en 2 ubicaciones en el paisaje (Anexo 2). En el agroecosistema de la zona alta y baja, 12 en cada lugar. Las 12 parcelas consisten de 3 repeticiones de 4 tratamientos: testigo donde no hay cerca viva (C) y 3 tipos de cerca viva: aliso (AF), pasto milin (GS) y pasto milin y aliso (AF + GS) (Anexo 3). No se instaló las parcelas experimentales en la zona media debido a falta de presupuesto.

En cada evento de precipitación se sacó toda la escorrentía y sedimentos de cada parcela. Se filtró el agua para separar de la tierra erosionada. Se pesó la tierra húmeda, luego se secó y se pesó nuevamente.

Se contó con 2 estaciones meteorológicas que pertenecen al proyecto y están ubicadas en la zona alta y la otra en la parte baja de la zona media de la comunidad de Naubug. Para calcular la erosión hídrica total se sumó el suelo erosionado durante un año y se llevó de $\text{g}/24\text{m}^2/\text{año}$ a toneladas por hectárea al año.

3. Variables

a. Dependientes

- 1) Características físicas del suelo
- 2) Características químicas del suelo
- 3) Erosión hídrica

b. Independientes

- 1) Agroecosistemas: zona alta, media y baja.
- 2) Usos de suelo: Bosque, abandonado, cultivado (cebada, quinua, papa, maíz) y cerca viva (pasto, árboles nativos y mixta).

4. Indicadores

a. Físicos

- 1) Textura (%)
- 2) Densidad aparente (g/cm^3)
- 3) Conductividad hidráulica (cm/min)

b. Químicos

- 1) pH
- 2) MO %
- 3) Nitrógeno total (%)
- 4) Fósforo (ppm)
- 5) Potasio (meq/100ml)
- 6) Calcio (meq/100ml)
- 7) Magnesio (meq/100ml)

c. Erosión hídrica (tn/ha/año)

5. Diseño experimental

El diseño que se utilizó en el presente trabajo es el Diseño completamente aleatorizado y para el análisis de erosión hídrica un Diseño de bloques completamente al azar.

a. Esquema del análisis de varianza para densidad aparente, pH, materia orgánica, nitrógeno total, fósforo, potasio, calcio y magnesio.

Cuadro 1. Esquema del análisis de varianza para los agroecosistemas de la comunidad de Naubug

Fuente de variación	Grados de libertad
Agroecosistemas	2
Error	87
Total	89

Elaborado por: Vimos, M. (2015)

Cuadro 2. Esquema del análisis de varianza para la zona alta y baja

Fuente de variación	Grados de libertad
Uso	4
Error	20
Total	24

Elaborado por: Vimos, M. (2015)

Cuadro 3. Esquema del análisis de varianza para la zona media

Fuente de variación	Grados de libertad
Uso	7
Error	32
Total	39

Elaborado por: Vimos, M. (2015)

b. Esquema del análisis de varianza para la erosión hídrica**Cuadro 4.** Esquema del análisis de varianza para la erosión hídrica

Fuente de variación	Grados de libertad
Total	23
Agroecosistemas	1
Tratamientos	3
Repeticiones	2
Agroecosistemas * Tratamientos	3
Error	14

Elaborado por: Vimos, M. (2015)

Cuadro 5. Descripción de los tratamientos en estudio

Tratamiento	Descripción
T1	Cultivado (rotación papa - cebada) sin cerca viva
T2	Cultivado (rotación papa - cebada) + cerca viva (Pasto milin)
T3	Cultivado (rotación papa - cebada) + cerca viva (Aliso)
T4	Cultivado (rotación papa - cebada)+ cerca viva (Pasto milin + Aliso)

Elaborado por: Vimos, M. (2015)

c. Análisis funcional

Los datos de textura se analizaron mediante la prueba de chi-cuadrado.

Los datos para densidad aparente, pH, materia orgánica, nitrógeno total, fósforo, potasio, calcio y magnesio y erosión hídrica fueron sometidos a:

- 1) Análisis de varianza (ADEVA)
- 2) Para separar medias se utilizó la prueba de Tukey al 5%
- 3) Se determinó el coeficiente de variación.

Los datos de conductividad hidráulica fueron sometidos a:

- 1) Prueba de Kruskal Wallis
- 2) Para determinar si existen diferencias se utilizó comparaciones de pares

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. DESCRIPCIÓN DE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUELO

1. Textura

a. Según los agroecosistemas

Para el análisis de la textura se realizó la prueba de chi-cuadrado (Cuadro 6) por ser una variable cualitativa y en la cual presentó diferencias significativas para los agroecosistemas.

Cuadro 6. Prueba de chi-cuadrado para la textura en sus tres agroecosistemas

	Valor	g.l.	Sig. asintótica (bilateral)	Significancia
Chi-cuadrado de Pearson	16,810 ^a	6	0,010	*
Razón de verosimilitudes	17,977	6	0,006	
N de casos válidos	90			

Elaborado por: Vimos, M. (2016)

*: Significativo

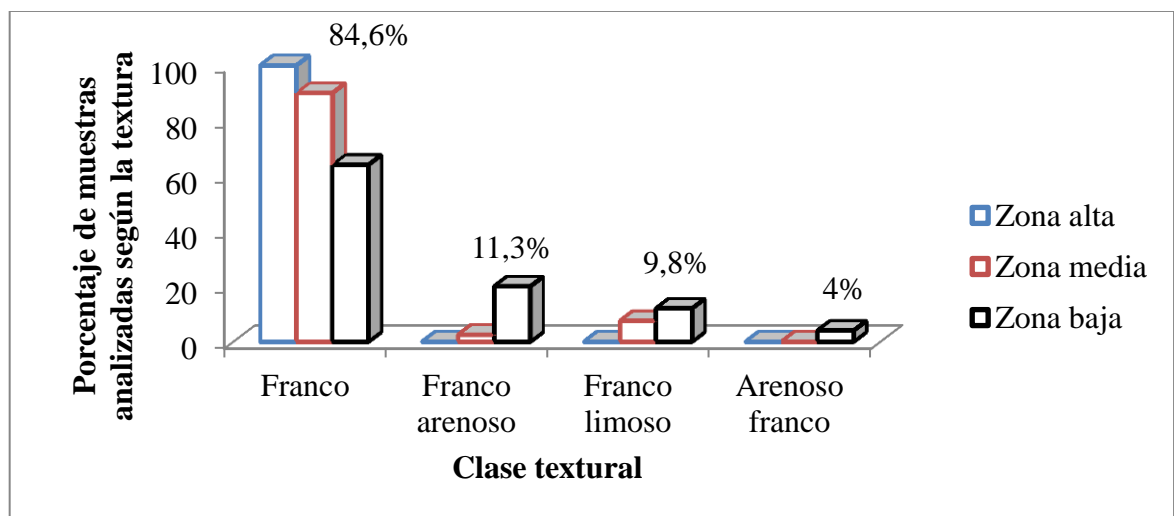


Gráfico 1. Textura del suelo de la comunidad de Naubug

Como se observa en el gráfico 1 en la comunidad de Naubug predomina la textura franca, en la zona alta con el 100% seguido de la zona media y baja con un 90% y un 64% respectivamente.

b. Según los usos de suelo

Para el análisis de la textura según sus usos se realizó la prueba de chi-cuadrado (Cuadro 7), en el cual no presentó diferencias significativas.

Cuadro 7. Prueba de chi-cuadrado para la textura según sus usos

	Valor	g.l.	Sig. asintótica (bilateral)	Significancia
Chi-cuadrado de Pearson	33,636 ^a	24	0,091	ns
Razón de verosimilitudes	29,511	24	0,201	
N de casos válidos	90			

Elaborado por: Vimos, M. (2016)

ns: No significativo

DISCUSIÓN:

La textura se vio influenciada por el agroecosistema y no por el uso que se le dé al suelo, es así que en la comunidad de Naubug en las zonas media y baja se encontró suelos con texturas franco arenoso y franco limoso con un 11,3% y 9,8% respectivamente, arenoso franco en la zona baja con 4% y predominando en los tres agroecosistemas la textura franca en un 84,6% como se observa en el gráfico 1. Según (Peralta M. , 2002) los suelos francos tienen proporciones adecuadas de arena, limo y arcilla, que le da al suelo una excelente condición para el uso para plantas, poseen permeabilidad y capacidad de retención de agua media, una aireación buena, capacidad de retención de nutrientes de media a alta.

Existe una proporción similar de las partículas de limo en los tres agroecosistemas en un promedio de 44,7%; este aspecto es importante tomar en cuenta ya que según (Bastidas, 2003) las partículas finas son susceptibles ante los procesos erosivos. Además el alto contenido de limo puede ser un factor clave en cuanto a la baja fertilidad de los suelos ya que (Quiroga, 2008) menciona que los suelos con altos contenidos de limo tienen fertilidad deficiente debido a un bajo almacenamiento de nutrientes; existe mayor evidencia de este proceso en la zona baja en donde su productividad es menor en comparación a los otros agroecosistemas por lo que existe un mayor abandono de suelo o conversión a bosque en esta zona.

2. Densidad aparente (g/cm^3) del suelo

a. Según sus agroecosistemas

En el análisis de varianza para la densidad aparente en los 3 agroecosistemas (Cuadro 8), presentó diferencias altamente significativas. El coeficiente de variación fue 8,16%.

El promedio de densidad aparente presente en los suelos en los 3 agroecosistemas fue de $1,10 \text{ g}/\text{cm}^3$.

Cuadro 8. Análisis de varianza según la densidad aparente del suelo en los 3 agroecosistemas

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor	SIG.
Agroecosistemas	2	0,42	0,21	26,13	<0,0001	**
Error	87	0,71	0,01			
Total	89	1,13				
CV %	8,16					
MEDIA	1,10					

Elaborado por: Vimos, M. (2016)

** : Altamente significativo

En la prueba de Tukey al 5 % entre agroecosistemas según la densidad aparente del suelo (Cuadro 9) presentaron tres rangos; en el rango “A” se ubicó al agroecosistema de la zona baja con una media de $1,20 \text{ g/cm}^3$ en el rango “B” al agroecosistema de la zona media con un valor de $1,09 \text{ g/cm}^3$ y el agroecosistema de la zona alta con una media de $1,02 \text{ g/cm}^3$ en el rango “C”.

Cuadro 9. Prueba de Tukey al 5% entre agroecosistemas según la densidad aparente en g/cm^3 del suelo

AGROECOSISTEMAS	MEDIAS (g/cm^3)	n	E.E.	RANGO
Zona Baja	1,20	25	0,02	A
Zona Media	1,09	40	0,01	B
Zona Alta	1,02	25	0,02	C

Elaborado por: Vimos, M. (2016)

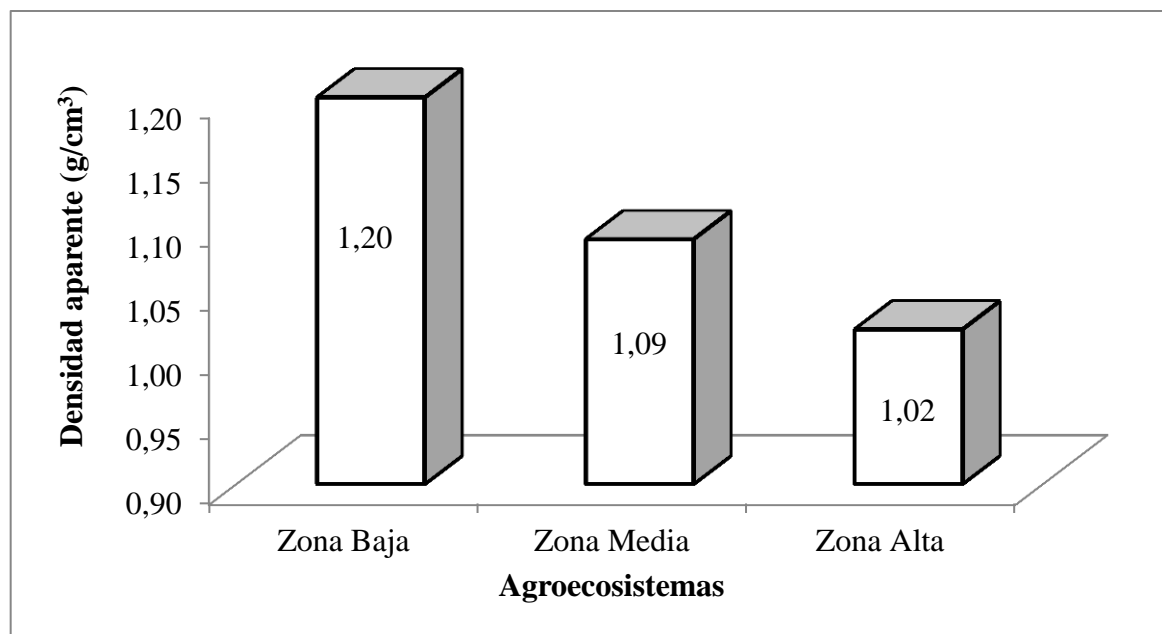


Gráfico 2. Densidad aparente entre agroecosistemas en g/cm^3

En el gráfico 2 se observa que la densidad aparente de la zona baja difiere de los otros agroecosistemas superándolos en un 15% a la zona alta y con un 9,2% a la zona media.

b. Según los usos de suelo en cada agroecosistema

1) Zona Alta

En el análisis de varianza para la densidad aparente de acuerdo a los usos de suelo de la zona alta (Cuadro 10), no presentó diferencias significativas. El coeficiente de variación fue 11,48%.

El promedio de densidad aparente presente en los usos de suelo de la zona alta fue de 1,02 g/cm³.

Cuadro 10. Análisis de varianza según la densidad aparente en los usos de suelo de la zona alta

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor	SIG.
Usos	4	0,04	0,01	0,74	0,5764	ns
Error	20	0,27	0,01			
Total	24	0,32				
CV %	11,48					
MEDIA	1,02					

Elaborado por: Vimos, M. (2016)

ns: No significativo

2) Zona Media

En el análisis de varianza para la densidad aparente de acuerdo a los usos de suelo de la zona media (Cuadro 11), no presentó diferencias significativas. El coeficiente de variación fue 6,43%. El promedio de densidad aparente presente en los usos de suelo de la zona media fue de 1,09 g/cm³.

Cuadro 11. Análisis de varianza según la densidad aparente en los usos de suelo de la zona media

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor	SIG.
Usos	7	0,12	0,017	3,33	0,089	ns
Error	32	0,16	0,0049			
Total	39	0,27				
CV %	6,43					
MEDIA	1,09					

Elaborado por: Vimos, M. (2016)

ns: No significativo

3) Zona Baja

En el análisis de varianza para la densidad aparente de acuerdo a los usos de suelo de la zona baja (Cuadro 12), no presentó diferencias significativas. El coeficiente de variación fue 5,60%.

El promedio de densidad aparente presente en los usos de suelo de la zona baja fue de 1,20 g/cm³.

Cuadro 12. Análisis de varianza según la densidad aparente en los usos de suelo de la zona baja

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor	SIG.
Usos	4	0,03	0,01	1,44	0,2587	ns
Error	20	0,09	0,0045			
Total	24	0,12				
CV %	5,60					
MEDIA	1,20					

Elaborado por: Vimos, M. (2016)

ns: No significativo

DISCUSIÓN

La densidad aparente se ve influenciada por el agroecosistema, en el (Gráfico 2) se observa que la zona baja tiene el valor máximo con $1,20 \text{ g/cm}^3$ y el mínimo con $1,02 \text{ g/cm}^3$ en la zona alta. Según (Jiménez , 2005) a medida que aumenta la materia orgánica disminuye la densidad aparente y viceversa, esto se puede observar claramente en la comunidad ya que la zona baja existe menor cantidad de materia orgánica por lo tanto su densidad aparente es alta. La densidad aparente para los suelos francos, franco limoso según (Heredia, 2006) (Tabla 8; pág. 24) comprende rangos entre $1,0 - 1,3 \text{ g/cm}^3$ y para los suelos franco arenosos y arena franca va de $1,3 - 1,8 \text{ g/cm}^3$; por lo tanto los valores de densidad aparente encontrados en esta investigación no afecta el crecimiento radicular de las plantas teniendo una buena aireación y circulación del agua.

No se evidenció diferencias significativas entre los usos de cada agroecosistema.

3. Conductividad hidráulica

Para el análisis de la conductividad hidráulica se aplicó una prueba no paramétrica, la prueba de Kruskal Wallis, debido a que los datos al ser sometidos al análisis, no cumplieron con los supuestos de normalidad y homocedasticidad (igualdad de las varianzas) que son dos de los tres supuestos que se deben cumplir para la aplicación del análisis de varianza (ADEVA). Por lo que se realizó ajustes o transformación de datos, para lo cual se aplicaron las siguientes fórmulas: $\log(x+1)$, $\ln(x+1)$ y raíz cuadrada $(x+1)$; sin embargo al realizar nuevamente los análisis con los datos transformados, se determinó que no cumplieron con estos dos supuestos, razón por la cual se procedió a realizar el análisis estadístico mediante pruebas no paramétricas.

a. Según sus agroecosistemas

Mediante la prueba de Kruskal Wallis para el análisis de la conductividad hidráulica entre agroecosistemas (Cuadro 13), presentó diferencias altamente significativas.

Cuadro 13. Prueba de Kruskal Wallis para la conductividad hidráulica (cm/min) entre agroecosistemas

Agroecosistemas	N	Medias cm/min	D.E	Medianas	Promedio rangos	H	p	SIG.
Zona alta	25	0,01	0,01	0,0105	30,86	23,33	<0,0001	**
Zona baja	25	0,03	0,02	0,0294	65,60			
Zona media	40	0,02	0,01	0,0128	42,09			

Elaborado por: Vimos, M. (2016)

** : Altamente significativo

Mediante el análisis por comparación de pares para la conductividad hidráulica entre agroecosistemas (Cuadro 14) se determinó dos rangos; en el rango “A” se ubicó la zona alta y media con unas medianas de 0,0105 cm/min y 0,0128 cm/min; en el rango “B” la zona baja con una mediana de 0,0294cm/min.

Cuadro 14. Comparación de pares para la conductividad hidráulica (cm/min) entre agroecosistemas

AGROECOSISTEMAS	MEDIANAS	RANKS	RANGO
Zona alta	0,0105	30,86	A
Zona media	0,0128	42,09	A
Zona baja	0,0294	65,60	B

Elaborado por: Vimos, M. (2016)

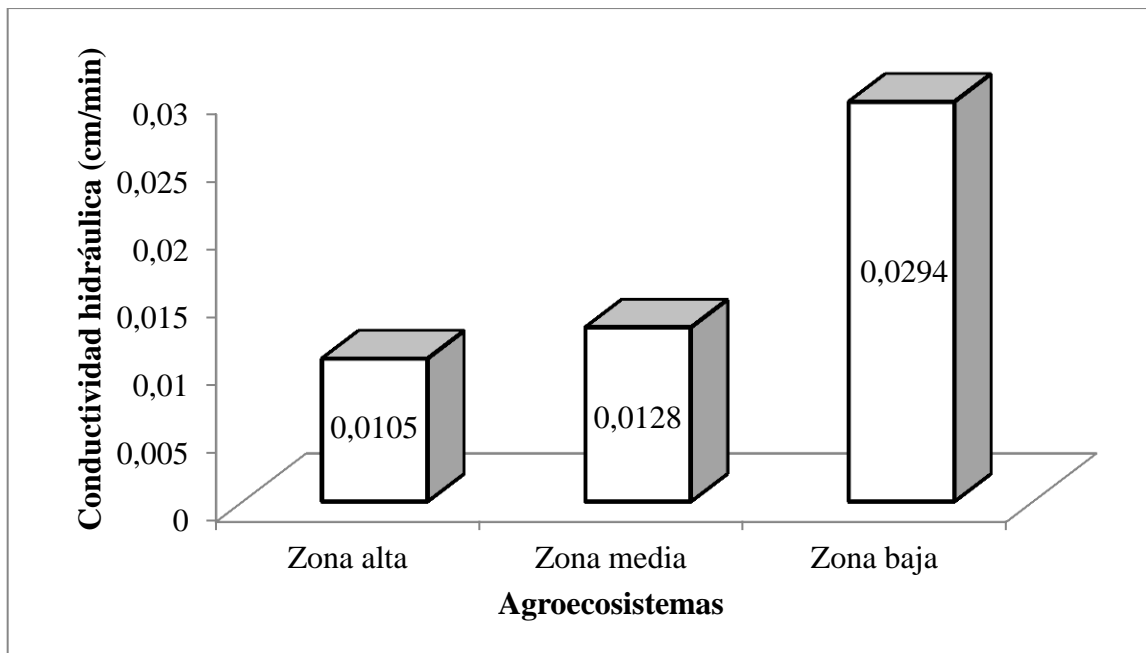


Gráfico 3. Conductividad hidráulica entre agroecosistemas en cm/min

En el gráfico 3 se observa que la zona alta y media son estadísticamente similares a comparación de la zona baja que presenta mayor conductividad hidráulica superando a la zona alta con un 64,3% y a la zona media con un 56,5%.

b. Según sus usos

1) Zona Alta

Mediante la prueba de Kruskal Wallis para el análisis de la conductividad hidráulica entre los usos de la zona alta (Cuadro 15), no presentó diferencias significativas.

Cuadro 15. Prueba de Kruskal Wallis para la conductividad hidráulica (cm/min) entre usos de la zona alta

USOS	N	Medias (cm/min)	D.E.	Medianas	Promedio rangos	H	p	SIG.
CV. Árboles	5	0,01	2,7E-03	0,01	13,00	2,40	0,663	ns
Cebada	5	0,02	0,02	0,01	15,90			
CV. Mixta	5	0,01	1,8E-03	0,01	8,90			
CV. Pasto	5	0,01	3,8E-03	0,01	13,50			
Quinoa	5	0,01	4,6E-03	0,01	13,70			

Elaborado por: Vimos, M. (2016)

ns: No significativo

2) Zona Media

Mediante la prueba de Kruskal Wallis para el análisis de la conductividad hidráulica entre los usos de la zona media (Cuadro 16), presentó diferencias significativas.

Cuadro 16. Prueba de Kruskal Wallis para la conductividad hidráulica (cm/min) entre usos de la zona media

USOS	N	Medias (cm/min)	D.E.	Medianas	Promedio rangos	H	p	Sig
Abandonado	5	0,02	0,01	0,02	22,60	11,84	0,1058	ns
CV. Árboles	5	0,01	4,5E-03	0,01	13,40			
Bosque	5	0,02	0,01	0,02	23,80			
Cebada	5	0,02	0,01	0,01	22,40			
CV. Mixta	5	0,02	0,01	0,01	18,40			
Papa	5	0,03	0,01	0,03	33,30			
CV. Pasto	5	0,01	1,2E-03	0,01	11,40			
Quinoa	5	0,01	4,7E-03	0,01	18,70			

Elaborado por: Vimos, M. (2016)

ns: No significativo

3) Zona Baja

Mediante la prueba de Kruskal Wallis para el análisis de la conductividad hidráulica entre los usos de la zona baja (Cuadro 17), no presentó diferencias significativas.

Cuadro 17. Prueba de Kruskal Wallis para la conductividad hidráulica (cm/min) entre usos de la zona baja

USOS	N	Medias (cm/min)	D.E.	Medianas	Promedio rangos	H	p	SIG.
Abandonado	5	0,04	0,03	0,03	18,20	6,77	0,1485	ns
Bosque	5	0,02	0,01	0,01	8,80			
Cebada	5	0,04	0,02	0,03	17,00			
Maíz	5	0,02	0,01	0,02	10,80			
CV. Mixta	5	0,02	0,01	0,02	10,20			

Elaborado por: Vimos, M. (2016)

ns: No significativo

DISCUSIÓN

La conductividad hidráulica se ve influenciada por los agroecosistemas y no por sus usos; en el (Gráfico 3) se observa que la mediana máxima es 0,0294 cm/min valor correspondiente a la zona baja en donde al igual que los otros agroecosistemas predomina la textura franca; sin embargo en esta zona existe mayor porcentaje de arena, existiendo poros más grandes y por ende menor retención de humedad, esto concuerda con (Reichardt, 2005) quien menciona que existe mayor conductividad hidráulica en suelos altamente porosos, y menor en suelos densos y compactados; en la zona alta y media en donde existe predominancia de las partículas finas especialmente limo presentaron los valores más bajos. Según (Flores & Alcalá, 2010) en su tabla de interpretación (Tabla 9; pág. 26) indica que

los valores de conductividad hidráulica obtenidos en los tres agroecosistemas se ubican en el rango moderadamente alta.

Es importante mencionar que visualmente se evidenció el afloramiento de cangahua en algunos puntos de muestreo de la zona baja en donde se esperaba obtener valores de conductividad hidráulica más bajos por su compactación sin embargo sucedió lo contrario por la metodología utilizada en la investigación ya que se tuvo que cortar una pequeña parte de la capa del suelo quitando de esta manera el sellado del suelo, lo que no hubiera sucedido al utilizar otra metodología en donde la velocidad de infiltración en los suelos compactados hubiera sido menor.

B. DESCRIPCIÓN DE CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL SUELO

Para el análisis del fósforo y potasio se realizó ajustes o transformación de datos, para lo cual se aplicó la siguiente fórmula: $\log(x+1)$ y de esta manera se logró que cumplan con los supuestos de normalidad y homocedasticidad (igualdad de las varianzas) para la aplicación del análisis de varianza (ADEVA).

1. pH

a. Según sus agroecosistemas

En el análisis de varianza para el pH en los 3 agroecosistemas (Cuadro 18), presentó diferencias altamente significativas. El coeficiente de variación fue 6,51%.

El promedio de pH presente en los suelos en los 3 agroecosistemas fue de 7,69.

Cuadro 18. Análisis de varianza según el pH del suelo en los 3 agroecosistemas

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor	SIG.
Agroecosistemas	2	17,84	8,92	35,49	<0,0001	**
Error	87	21,86	0,25			
Total	89	39,70				
CV %	6,51					
MEDIA	7,69					

Elaborado por: Vimos, M. (2016)

** : Altamente significativo

En la prueba de Tukey al 5 % entre agroecosistemas según el pH del suelo (Cuadro 19) presentaron tres rangos; en el rango “A” se ubicó al agroecosistema de la zona baja con una media de 8,26 en el rango “B” al agroecosistema de la zona media con un valor de 7,74 y el agroecosistema de la zona alta con una media de 7,07 en el rango “C”.

Cuadro 19. Prueba de Tukey al 5% entre agroecosistemas según el pH del suelo

AGROECOSISTEMAS	MEDIAS	n	E.E.	RANGO
Zona baja	8,26	25	0,10	A
Zona media	7,74	40	0,08	B
Zona alta	7,07	25	0,10	C

Elaborado por: Vimos, M. (2016)

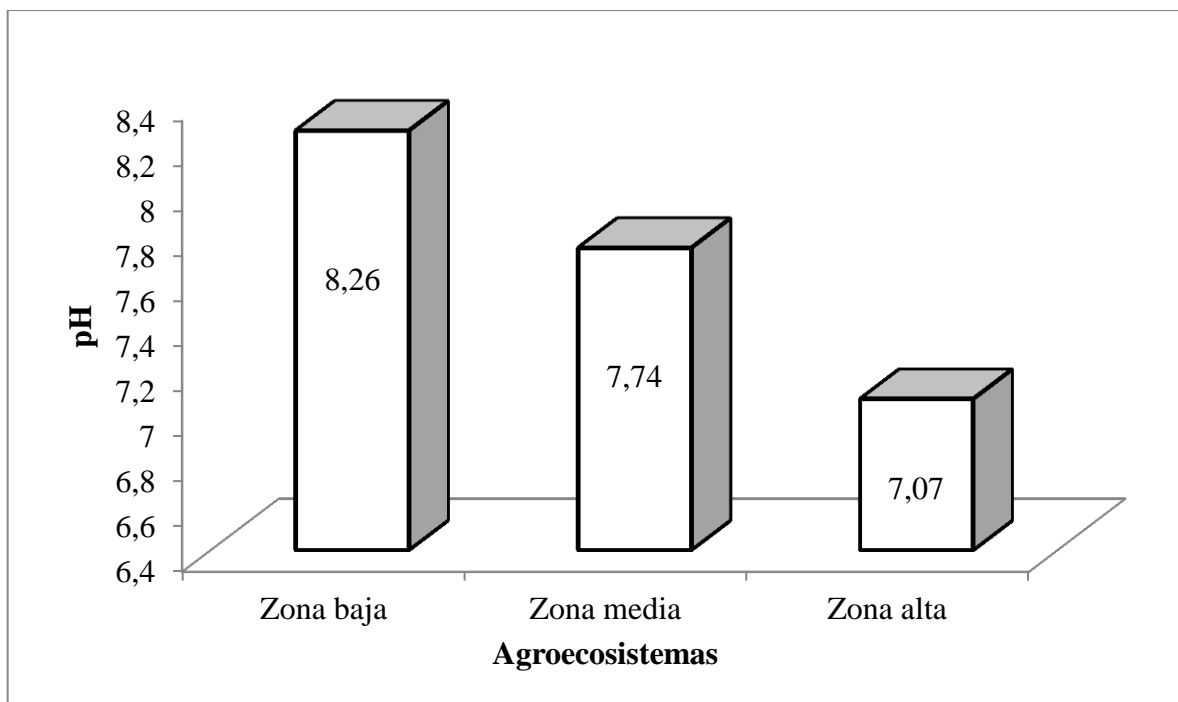


Gráfico 4. Diferencia de pH entre agroecosistemas

En el gráfico 4 se observa que en cuanto al pH la zona baja presentó mayor pH superando en un 14,4% a la zona alta y en un 6,3% a la zona media

b. Según sus usos

1) Zona Alta

En el análisis de varianza para el pH de acuerdo a los usos de suelo de la zona alta (Cuadro 20), presentó diferencias significativas. El coeficiente de variación fue 5,35%.

El promedio de pH en los usos de suelo de la zona alta fue de 7,07

Cuadro 20. Análisis de varianza según el pH en los usos de suelo de la zona alta

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor	SIG.
Usos	4	2,37	0,59	4,13	0,0134	*
Error	20	2,86	0,14			
Total	24	5,23				
CV %	5,35					
MEDIA	7,07					

Elaborado por: Vimos, M. (2016)

*: Significativo

En la prueba de Tukey al 5 % entre usos de suelo de la zona alta según el pH del suelo (Cuadro 21) presentaron tres rangos; en el rango “A” se ubicó a las cercas vivas mixtas y de árboles con unas medias de 7,43 y 7,28 respectivamente y en el rango “B” al cultivo de cebada con un valor de 6,53.

Cuadro 21. Prueba de Tukey al 5% entre usos de suelo de la zona alta según el pH del suelo

USOS	MEDIAS	n	E.E.	RANGO
CV. Mixta	7,43	5	0,17	A
CV. Árboles	7,28	5	0,17	A
CV. Pasto	7,13	5	0,17	AB
Quinoa	6,97	5	0,17	AB
Cebada	6,53	5	0,17	B

Elaborado por: Vimos, M. (2016)

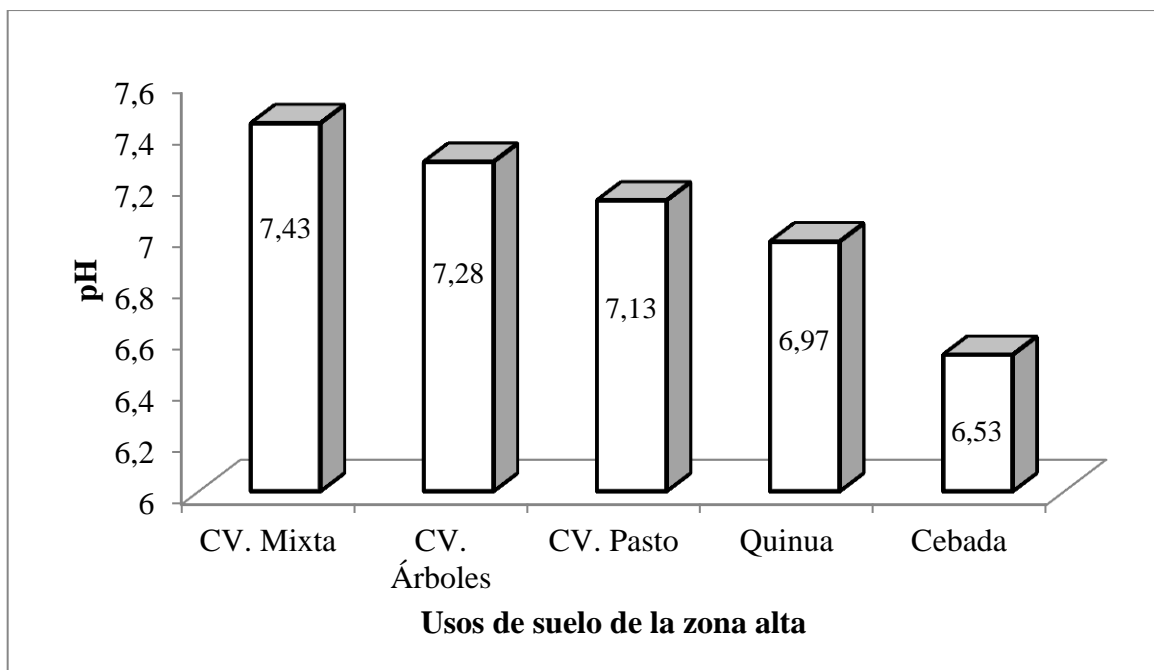


Gráfico 5. Diferencia de pH entre los usos de suelo de la zona alta

En el gráfico 5 se observa que entre los usos de suelo de la zona alta el pH de la cerca viva mixta es estadísticamente similar a la cerca viva de árboles, cerca viva de pasto y cultivo de quinua superando en un mínimo de 2,01%; 4,03% y 6,2% respectivamente, mientras que el cultivo de cebada difiere en un 12,11% a la cerca viva mixta.

2) Zona Media

En el análisis de varianza para el pH de acuerdo a los usos de suelo de la zona media (Cuadro 22), presentó diferencias significativas. El coeficiente de variación fue 5,70%.

El promedio de pH en los usos de suelo de la zona alta fue de 7,74

Cuadro 22. Análisis de varianza según el pH en los usos de suelo de la zona media

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor	SIG.
Usos	7	3,88	0,55	2,84	0,0201	*
Error	32	6,25	0,20			
Total	39	10,13				
CV %	5,70					
MEDIA	7,74					

Elaborado por: Vimos, M. (2016)

*: Significativo

En la prueba de Tukey al 5 % entre usos de suelo de la zona media según el pH del suelo (Cuadro 23) presentaron tres rangos; en el rango “A” se ubicó a la cebada, bosque, abandonado y las cercas vivas mixtas con unas medias de 8,11; 8,06; 8,03 y 7,90 respectivamente y en el rango “B” al cultivo de papa y cerca viva de árboles con unos valores de 7,29 cada uno.

Cuadro 23. Prueba de Tukey al 5% entre usos de suelo de la zona media según el pH del suelo

USOS	MEDIAS	n	E.E.	RANGO
Cebada	8,11	5	0,20	A
Bosque	8,06	5	0,20	A
Abandonado	8,03	5	0,20	A
CV. Mixta	7,90	5	0,20	A
Quinoa	7,66	5	0,20	AB
CV. Pasto	7,61	5	0,20	AB
Papa	7,29	5	0,20	B
CV. Árboles	7,29	5	0,20	B

Elaborado por: Vimos, M. (2016)

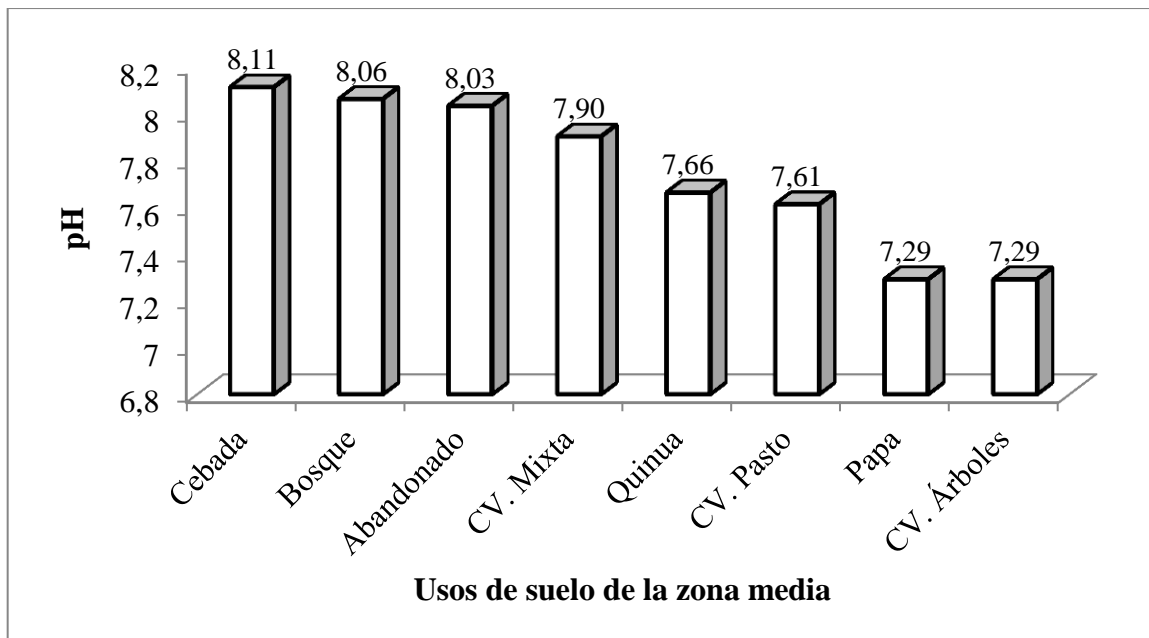


Gráfico 6. Diferencia de pH entre usos de la zona media

Entre los usos de suelo de la zona media (Gráfico 6) se observa que el pH del cultivo de cebada difiere de la cerca viva de árboles y del cultivo de papa superándolos en un 10,11%; mientras que con respecto al bosque, suelo abandonado, cerca viva mixta, quinua y cerca viva de pasto; el cultivo de cebada supera en un mínimo de 0,62%, 0,98%, 2,6%, 5,5% y 6,2% respectivamente.

3) Zona Baja

En el análisis de varianza para el pH de acuerdo a los usos de suelo de la zona baja (Cuadro 24), no presentó diferencias significativas.

El coeficiente de variación fue 6,18%.

El promedio de pH en los usos de suelo de la zona alta fue de 8,26.

Cuadro 24. Análisis de varianza según el pH en los usos de suelo de la zona baja

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor	SIG.
Usos	4	1,29	0,32	1,24	0,3248	ns
Error	20	5,21	0,26			
Total	24	6,50				
CV %	6,18					
MEDIA	8,26					

Elaborado por: Vimos, M. (2016)

DISCUSIÓN

El pH se registra en un rango de 5,88 hasta un máximo de 9,06 que según la tabla de interpretación (Tabla 11; pág. 30) de (INIAP- Santa Catalina, 2011) son suelos ligeramente ácidos a alcalinos. El pH se ve influenciado por los agroecosistemas y por los usos de los agroecosistemas de la zona alta y media; en el (Gráfico 4) se observa que entre agroecosistemas, la zona baja en promedio posee pH alcalino con un valor de 8,27 y en la zona alta se determinó un valor de 7,02 ubicándose en un rango neutro.

(Azcarate, 2008) manifiesta que las propiedades físicas resultan más estables a pH neutro y existe mayor disponibilidad de nutrientes. A un pH alcalino, las arcillas se dispersan, se destruye la estructura y existen malas condiciones desde el punto de vista físico, además baja disponibilidad de nutrientes encontrando para la zona baja según (INFOAGRO, 2008) una restricción de nitrógeno, fósforo y los microelementos; mientras que en la zona alta no habría problemas de disponibilidad de nutrientes de acuerdo a su pH.

También (Rojas, 2003) manifiesta que a mayor contenido de materia orgánica el suelo tiende a acidificarse; lo que se verifica con los resultados obtenidos ya que en la zona alta existe mayor contenido de materia orgánica que en la zona baja por ende el pH va desde ligeramente ácido a neutro.

Según (Basantes, 2015) el rango óptimo de pH para los cultivos de cebada, papa y maíz es de 5,6 a 7,5; siendo la cebada tolerante a la alcalinidad, para la quinua el rango óptimo es de 5,5 a 8; por lo tanto el pH determinado en la investigación para estos cultivos se encuentran acorde a los rangos indicados; a excepción del cultivo de maíz ya que el rango determinado fue de 7,8 a 8,8 superando el rango adecuado, factor que también contribuye a la baja productividad del mismo.

Entre los usos de la zona alta (Gráfico 5) los cultivos de cebada y quinua presentan los valores más bajos de pH en comparación con las cercas vivas; puesto que esta zona posee un alto contenido natural de materia orgánica por su estado de conservación además los agricultores incorporan materia orgánica a los cultivos y no así a las cercas vivas en donde su pH es mayor. En la zona media (Gráfico 6) el cultivo de cebada a pesar de recibir aporte de materia orgánica tiende a un pH alcalino al igual que el bosque y el suelo abandonado. Un dato interesante es el valor de pH encontrado en las cercas vivas de árboles nativos que tienen un pH neutro pese a no recibir aporte de materia orgánica por parte de los agricultores; esto es importante con miras hacia un cambio de conservación del recurso suelo.

2. Materia orgánica

Para los datos de materia orgánica se realizó la transformación de Bliss ya que al ser datos porcentuales no cumplen con los supuestos para el ADEVA como es la normalidad y la homocedasticidad.

a. Según sus agroecosistemas

En el análisis de varianza para la materia orgánica en los 3 agroecosistemas (Cuadro 25), presentó diferencias altamente significativas. El coeficiente de variación fue 20,01%.

El promedio de materia orgánica presente en los suelos en los 3 agroecosistemas fue de 3,24%.

Cuadro 25. Análisis de varianza según la materia orgánica del suelo en los 3 agroecosistemas

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor	SIG.
Agroecosistemas	2	472,90	236,45	58,82	<0,0001	**
Error	87	349,75	4,02			
Total	89	822,65				
CV %	20,01					
MEDIA	3,24					

Elaborado por: Vimos, M. (2016)

** : Altamente significativo

En la prueba de Tukey al 5 % entre agroecosistemas según la materia orgánica del suelo (Cuadro 26) presentaron tres rangos; en el rango “A” se ubicó al agroecosistema de la zona alta con una media de 4,82% en el rango “B” al agroecosistema de la zona media con un valor de 3,53% y el agroecosistema de la zona baja con una media de 1,37% en el rango “C”.

Cuadro 26. Prueba de Tukey al 5% entre agroecosistemas según el contenido de materia orgánica del suelo expresado en porcentaje

AGROECOSISTEMAS	MEDIAS (%)	n	E.E.	RANGO
Zona alta	4,82	25	0,26	A
Zona media	3,53	40	0,21	B
Zona baja	1,37	25	0,26	C

Elaborado por: Vimos, M. (2016)

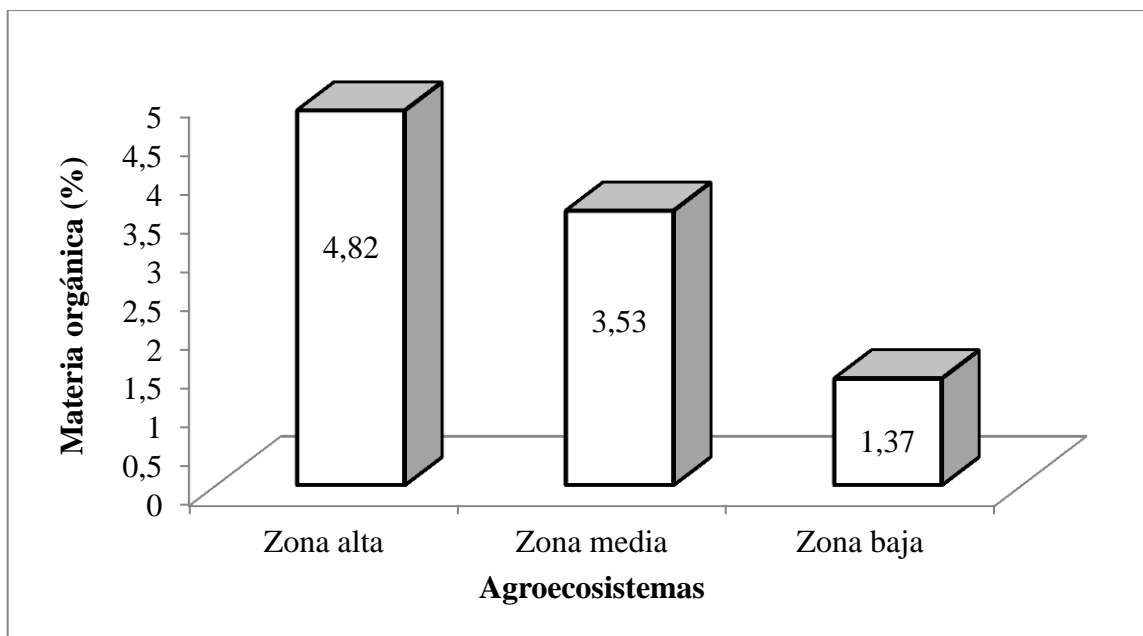


Gráfico 7. Materia orgánica entre agroecosistemas expresado en porcentaje

En el gráfico 7 se observa que la zona alta en cuanto a materia orgánica supera a la zona baja y media en un 71,57% y 26,76% respectivamente.

b. Según sus usos

1) Zona Alta

En el análisis de varianza para la materia orgánica en los usos de la zona alta (Cuadro 27), presentó diferencias altamente significativas.

El coeficiente de variación fue 12,17%.

El promedio de materia orgánica presente en los usos de suelo de la zona alta fue de 4,82%.

Cuadro 27. Análisis de varianza según la materia orgánica en los usos del suelo de la zona alta

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor	SIG.
Usos	4	61,53	15,38	6,62	0,0015	**
Error	20	46,48	2,32			
Total	24	108,01				
CV%	12,17					
MEDIA	4,82					

Elaborado por: Vimos, M. (2016)

** : Altamente significativo

En la prueba de Tukey al 5 % entre usos de la zona alta según la materia orgánica del suelo (Cuadro 28) presentaron tres rangos; en el rango “A” se ubicó al cultivo de cebada con una media de 6,76% y en el rango “B” a la cerca viva mixta y de pasto con un valor de 4,04% y 3,24% respectivamente.

Cuadro 28. Prueba de Tukey al 5% entre usos de suelo de la zona alta según el contenido de materia orgánica del suelo expresado en porcentaje

USOS	MEDIAS (%)	n	E.E.	RANGO
Cebada	6,76	5	0,53	A
Quinoa	5,18	5	0,53	AB
CV. Árboles	4,90	5	0,53	AB
CV. Mixta	4,04	5	0,53	B
CV. Pasto	3,24	5	0,53	B

Elaborado por: Vimos, M. (2016)

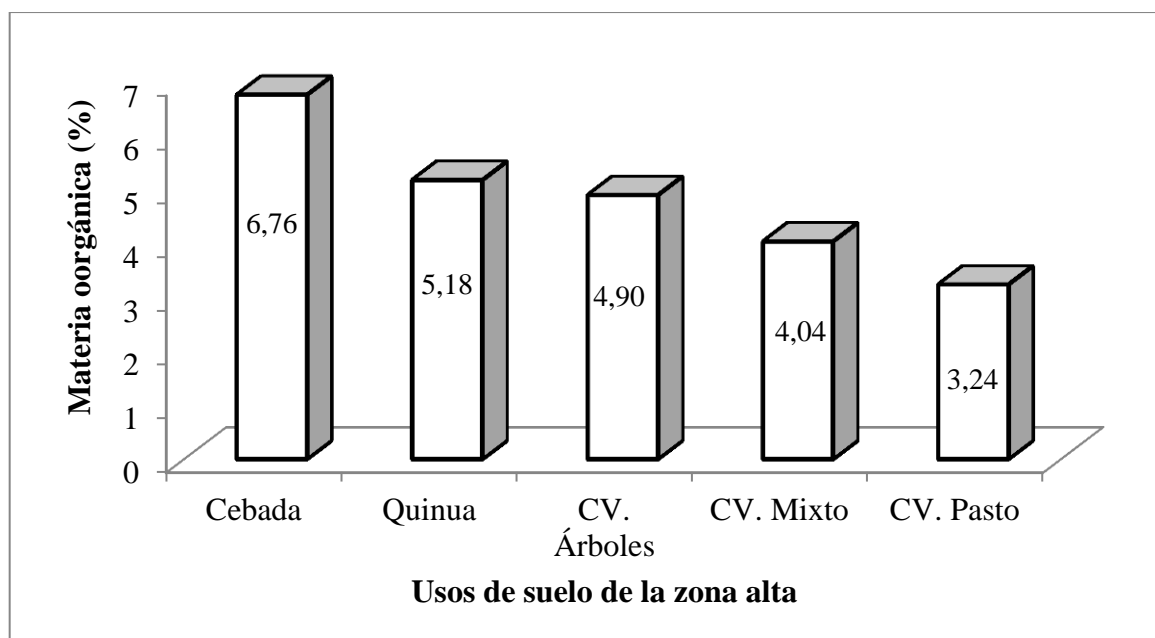


Gráfico 8. Materia orgánica entre usos de la zona alta expresada en porcentaje

En el gráfico 8 se observa que entre los usos de suelo de la zona alta el cultivo de cebada supera en un 52,07% a la cerca viva de pasto seguido de la cerca viva mixta en un 40,24%, a la cerca viva de árboles en un 27,5% y al cultivo de quinua en un 23,4%.

2) Zona Media

En el análisis de varianza para la materia orgánica en los usos de la zona media (Cuadro 29), presentó diferencias altamente significativas.

El coeficiente de variación fue 17,26%.

El promedio de materia orgánica presente en los usos de suelo de la zona media fue de 3,53%.

Cuadro 29. Análisis de varianza según la materia orgánica en los usos del suelo de la zona media

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor	SIG.
Usos	7	77,72	11,10	3,30	0,0093	**
Error	32	107,64	3,36			
Total	39	185,37				
CV%	17,26					
MEDIA	3,53					

Elaborado por: Vimos, M. (2016)

** : Altamente significativo

En la prueba de Tukey al 5 % entre usos de la zona media según la materia orgánica del suelo (Cuadro 30) presentaron tres rangos; en el rango “A” se ubicó a la cerca viva de árboles con una media de 5,20% y en el rango “B” al suelo abandonado y al bosque con un valor de 2,72% y 2,10% respectivamente.

Cuadro 30. Prueba de Tukey al 5% entre usos de suelo de la zona media según el contenido de materia orgánica del suelo expresado en porcentaje

USOS	MEDIAS (%)	n	E.E.	RANGO
CV. Árboles	5,20	5	0,53	A
Papa	4,36	5	0,53	A
CV. Pasto	3,60	5	0,53	AB
CV. Mixta	3,54	5	0,53	AB
Quinoa	3,52	5	0,53	AB
Cebada	3,20	5	0,53	AB
Abandonado	2,72	5	0,53	AB
Bosque	2,10	5	0,53	B

Elaborado por: Vimos, M. (2016)

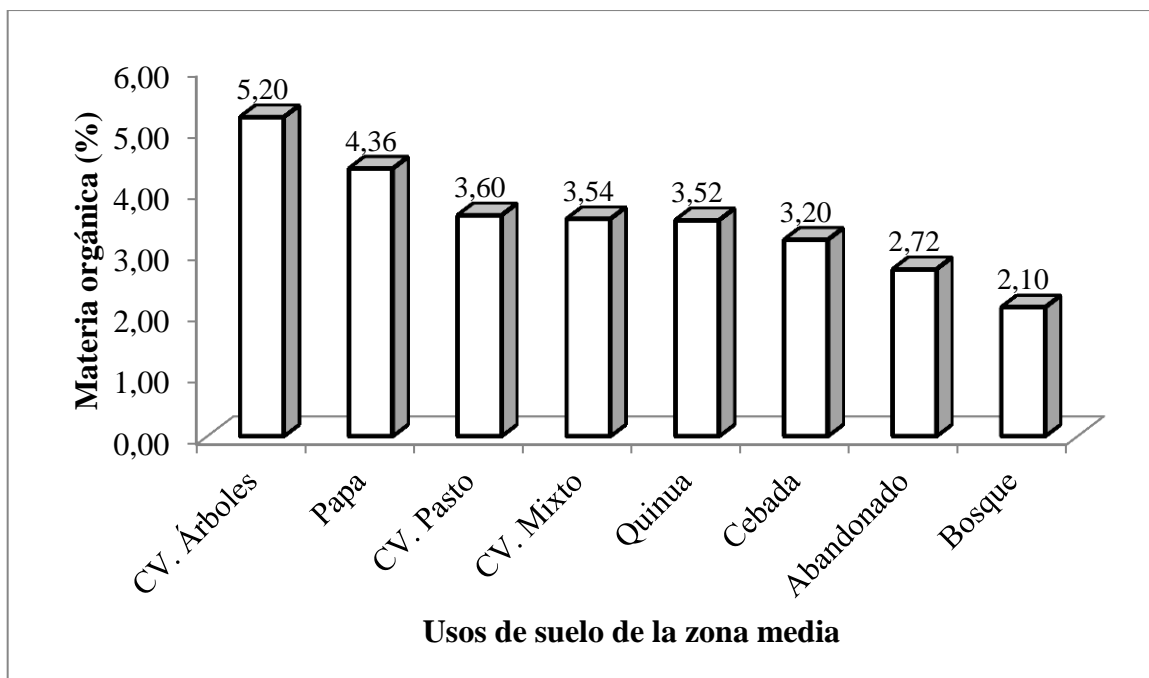


Gráfico 9. Materia orgánica entre usos de suelo de la zona media expresada en porcentaje

En el gráfico 9 entre los usos de suelo de la zona media para el contenido de materia orgánica se observó que la cerca viva de árboles difiere del bosque superándolo en un 59,6%, seguido del suelo abandonado, cultivo de cebada, quinua, cerca viva mixta, cerca viva de pasto y papa en un 47,7%, 38,5%, 32,3%, 31,9%, 30,8% y 16,2% respectivamente.

3) Zona Baja

En el análisis de varianza para la materia orgánica en los usos de la zona baja (Cuadro 31), presentó diferencias altamente significativas.

El coeficiente de variación fue 18,32%.

El promedio de materia orgánica presente en los usos de suelo de la zona baja fue de 1,37%.

Cuadro 31. Análisis de varianza según la materia orgánica en los usos del suelo de la zona baja

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor	SIG.
Usos	4	27,56	6,89	4,78	0,0072	**
Error	20	28,81	1,44			
Total	24	56,37				
CV%	18,32					
MEDIA	1,37					

Elaborado por: Vimos, M. (2016)

** : Altamente significativo

En la prueba de Tukey al 5 % entre usos de la zona baja según la materia orgánica del suelo (Cuadro 32) presentó tres rangos; en el rango “A” se ubicó la cerca viva mixta y al bosque con una media de 1,86% y 1,60% respectivamente y en el rango “B” al cultivo de maíz con un valor de 0,68%.

Cuadro 32. Prueba de Tukey al 5% entre usos de suelo en la zona baja según el contenido de materia orgánica del suelo expresado en porcentaje

USOS	MEDIAS (%)	n	E.E.	RANGO
CV. Mixta	1,86	5	0,23	A
Bosque	1,60	5	0,23	A
Cebada	1,46	5	0,23	AB
Abandonado	1,24	5	0,23	AB
Maíz	0,68	5	0,23	B

Elaborado por: Vimos, M. (2016)

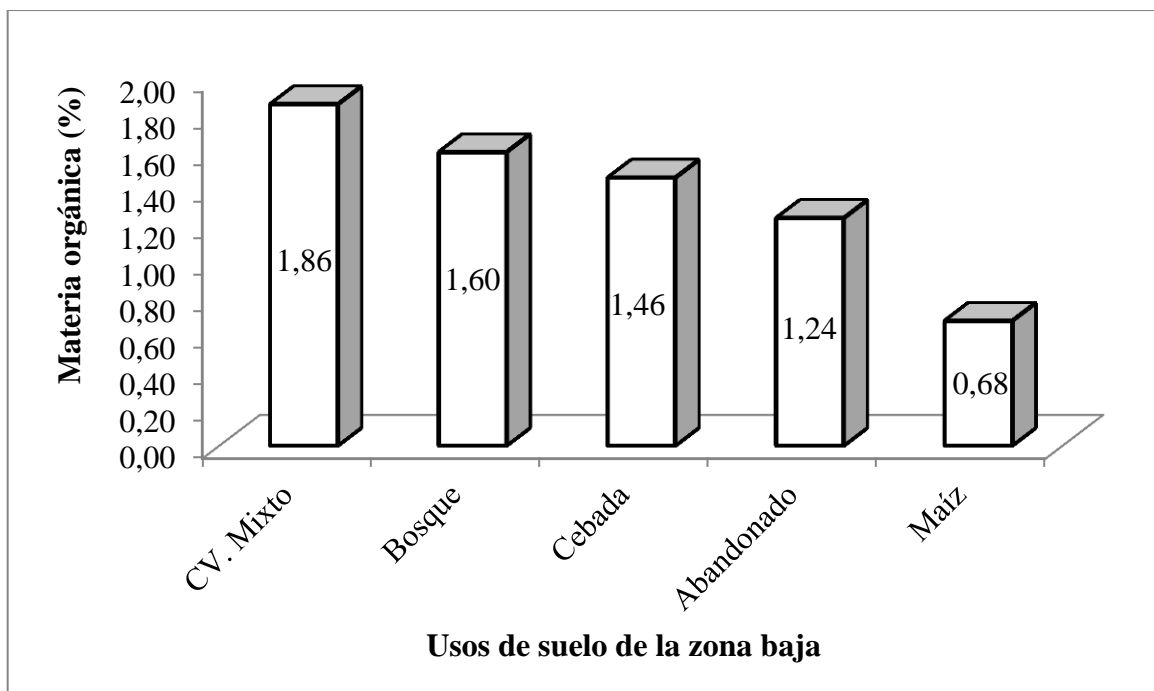


Gráfico 10. Materia orgánica entre usos de suelo de la zona baja expresada en porcentaje

Entre los usos de suelo de la zona baja para el contenido de materia orgánica (Gráfico 10) se observó que la cerca viva mixta difiere del cultivo de maíz superándolo en un 63,4%; así como al suelo abandonado, cultivo de cebada y bosque en un 33,33%, 21,5% y 13,9% respectivamente.

DISCUSIÓN

La materia orgánica en su contenido está influenciada por los agroecosistemas y por los usos de cada zona; como se observa en el (Gráfico 7) la zona alta presenta mayor contenido de materia orgánica con 4,82% y en menor cantidad la zona baja con 1,37%, que según la tabla de interpretación (Tabla 12; pág. 31) de (INIAP- Santa Catalina, 2011) la zona alta se ubica en un rango medio mientras que la zona baja se encuentra en un rango bajo.

Un aspecto que determina el mayor contenido de materia orgánica en la zona alta es porque son suelos que se han mantenido conservados por varios años pues su intervención se ha efectuado recientemente además del manejo que los agricultores le dan a esta zona. Según

(Andrades, 2014) una adecuada proporción de materia orgánica mejora las características físicas y químicas del suelo por ejemplo hay una mejor aireación del suelo, mayor capacidad de retención del agua, provee protección a la erosión, reduce la fijación del fósforo y del potasio, favorece el almacenamiento de nutrientes mejorando así la fertilidad del suelo; esto concuerda con los resultados obtenidos en la investigación puesto que las mejores condiciones se encuentran en la zona alta en donde hay mayor contenido de materia orgánica. También el clima influye en el contenido de materia orgánica ya que en la zona alta la temperatura es menor, existiendo mayor humedad y por lo tanto su descomposición será más lenta a comparación de la zona baja.

En cuanto a los usos de suelo de la zona alta como se observa en el (Gráfico 8) hay una diferencia marcada entre cultivos y cercas vivas siendo los primeros los que mayor contenido de materia orgánica tienen en sus suelos, lo que no sucede en la zona media y baja en donde las cercas vivas de árboles nativos y mixtas tienen el mayor contenido de materia orgánica en cada zona respectivamente por la contribución de materia orgánica a través de su hojarasca. En la zona media (Gráfico 9) el contenido de materia orgánica del bosque está por debajo de los valores alcanzados por el resto de usos de suelo, en cambio en la zona baja (Gráfico 10) supera a los cultivos especialmente maíz. Esta diferencia encontrada entre los usos de cada agroecosistema se debe principalmente al manejo que realizan los agricultores pues sus parcelas de cultivo de la zona alta y media están cercanas a sus hogares facilitando de esta manera la incorporación de materia orgánica, en cambio en la zona baja no se realiza esta actividad debido a factores como lejanía desde la casa hacia las parcelas, además por la baja productividad agrícola en esta zona por su estado de degradación.

3. Nitrógeno total

Para los datos de nitrógeno total se realizó la transformación de Bliss ya que al ser datos porcentuales no cumplen con los supuestos para el ADEVA como es la normalidad y la homocedasticidad.

a. Según sus agroecosistemas

En el análisis de varianza para el nitrógeno total en los 3 agroecosistemas (Cuadro 33), presentó diferencias altamente significativas. El coeficiente de variación fue 19,01%.

El promedio de nitrógeno total presente en los suelos en los 3 agroecosistemas fue de 0,12%.

Cuadro 33. Análisis de varianza según el nitrógeno total del suelo en los tres agroecosistemas

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor	SIG.
Agroecosistemas	2	15,64	7,82	59,37	<0,0001	**
Error	87	11,46	0,13			
Total	89	27,09				
CV%	19,01					
MEDIA	0,12					

Elaborado por: Vimos, M. (2016)

**: Altamente significativo

En la prueba de Tukey al 5% entre agroecosistemas según el nitrógeno total del suelo (Cuadro 34) presentó tres rangos; en el rango “A” se ubicó la zona alta con una media de 0,18%, en el rango “B” la zona media con un valor de 0,12% y en el rango “C” la zona baja con una media de 0,05%.

Cuadro 34. Prueba de Tukey al 5% entre agroecosistemas según el contenido de nitrógeno total del suelo en %

AGROECOSISTEMAS	MEDIAS (%)	n	E.E.	RANGO
Zona alta	0,18	25	0,07	A
Zona media	0,12	40	0,06	B
Zona baja	0,05	25	0,07	C

Elaborado por: Vimos, M. (2016)

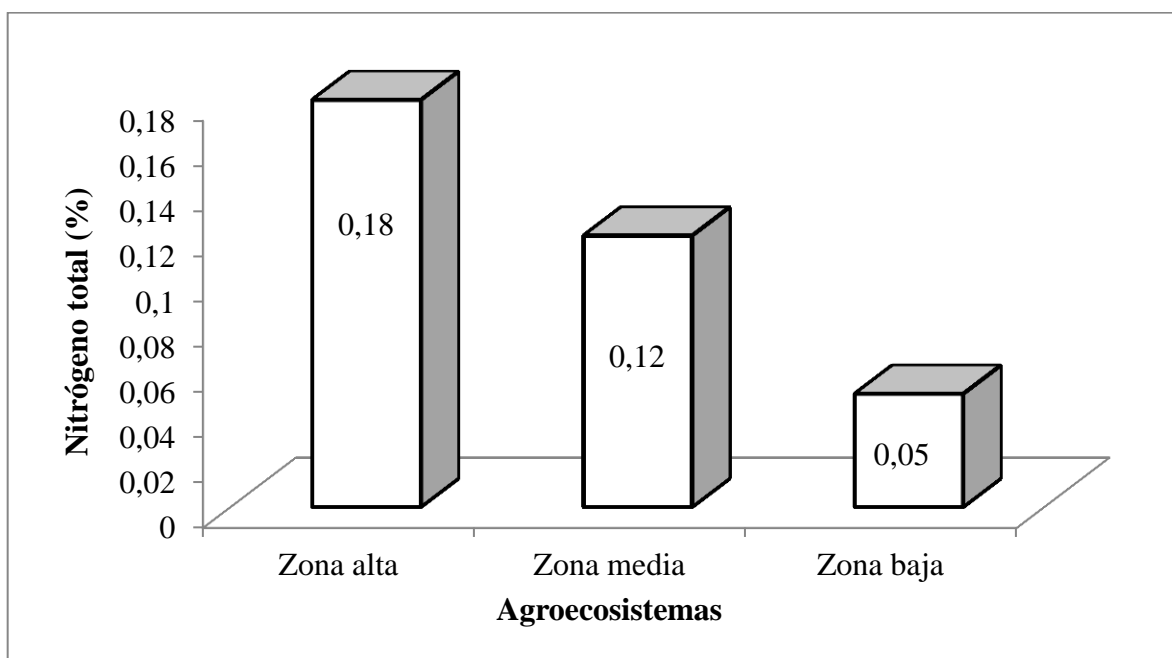


Gráfico 11. Contenido de nitrógeno total en el suelo entre agroecosistemas en %

En el gráfico 11 se observa que para el nitrógeno total entre sus agroecosistemas, la zona alta supera en un 72,22% a la zona baja, y en un 33,33% a la zona media.

b. Según sus usos

1) Zona Alta

En el análisis de varianza para el nitrógeno total entre los usos del suelo de la zona alta (Cuadro 35), presentó diferencias significativas. El coeficiente de variación fue 13,18%.

El promedio de nitrógeno total presente en los usos de suelo de la zona alta fue de 0,18%.

Cuadro 35. Análisis de varianza según el nitrógeno total del suelo entre los usos de la zona alta

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor	SIG.
Usos	4	1,45	0,36	3,62	0,0223	*
Error	20	2,01	0,10			
Total	24	3,46				
CV%	13,18					
MEDIA	0,18					

Elaborado por: Vimos, M. (2016)

***: Altamente significativo

En la prueba de Tukey al 5% entre los usos de suelo de la zona alta según el nitrógeno total (Cuadro 36) presentó tres rangos; en el rango “A” se ubicó el cultivo de cebada con una media de 0,25% y en el rango “B” la cerca viva mixta y de pasto con unas medias de 0,15% y 0,14% respectivamente.

Cuadro 36. Prueba de Tukey al 5% entre usos de suelo de la zona alta según el contenido de nitrógeno total

USOS	MEDIAS (%)	n	E.E.	RANGO
Cebada	0,25	5	0,14	A
Quinoa	0,18	5	0,14	AB
CV. Árboles	0,18	5	0,14	AB
CV. Mixta	0,15	5	0,14	B
CV. Pasto	0,14	5	0,14	B

Elaborado por: Vimos, M. (2016)

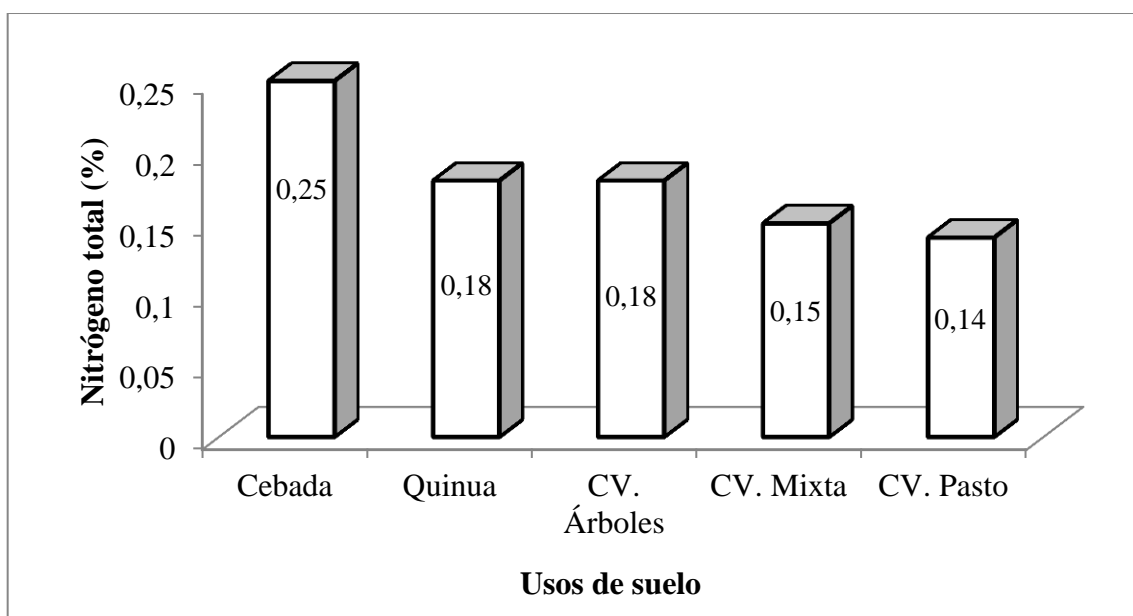


Gráfico 12. Contenido de nitrógeno total en el suelo entre usos de la zona alta en %

Entre los usos de suelo de la zona alta para el nitrógeno total (Gráfico 12) se observa que el cultivo de cebada supera a la cerca viva de pasto en un 44%, a la cerca viva mixta en un 40% y a la cerca viva de árboles y cultivo de quinoa en un 28%.

2) Zona Media

En el análisis de varianza para el nitrógeno total entre los usos del suelo de la zona media (Cuadro 37), presentó diferencias altamente significativas. El coeficiente de variación fue 14,71%.

El promedio de nitrógeno total presente en los usos de suelo de la zona media fue de 0,12%.

Cuadro 37. Análisis de varianza según el nitrógeno total entre los usos del suelo de la zona media

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor	SIG.
Usos	7	2,76	0,39	4,64	0,0011	**
Error	32	2,72	0,08			
Total	39	5,48				
CV%	14,71					
MEDIA	0,12					

Elaborado por: Vimos, M. (2016)

** : Altamente significativo

En la prueba de Tukey al 5 % entre los usos del suelo de la zona media (Cuadro 38) presentó cinco rangos; en el rango “A” se ubicó la cerca viva de árboles con una media de 0,17%; en el rango “C” se encuentra el bosque con una media de 0,08%.

Cuadro 38. Prueba de Tukey al 5% entre usos de suelo de la zona media según el contenido de nitrógeno total

USOS	MEDIAS (%)	n	E.E.	RANGO
CV. Árboles	0,17	5	0,13	A
Quinua	0,16	5	0,13	AB
Papa	0,15	5	0,13	AB
CV. Pasto	0,13	5	0,13	ABC
CV. Mixta	0,12	5	0,13	ABC
Cebada	0,11	5	0,13	ABC
Abandonado	0,08	5	0,13	BC
Bosque	0,07	5	0,13	C

Elaborado por: Vimos, M. (2016)

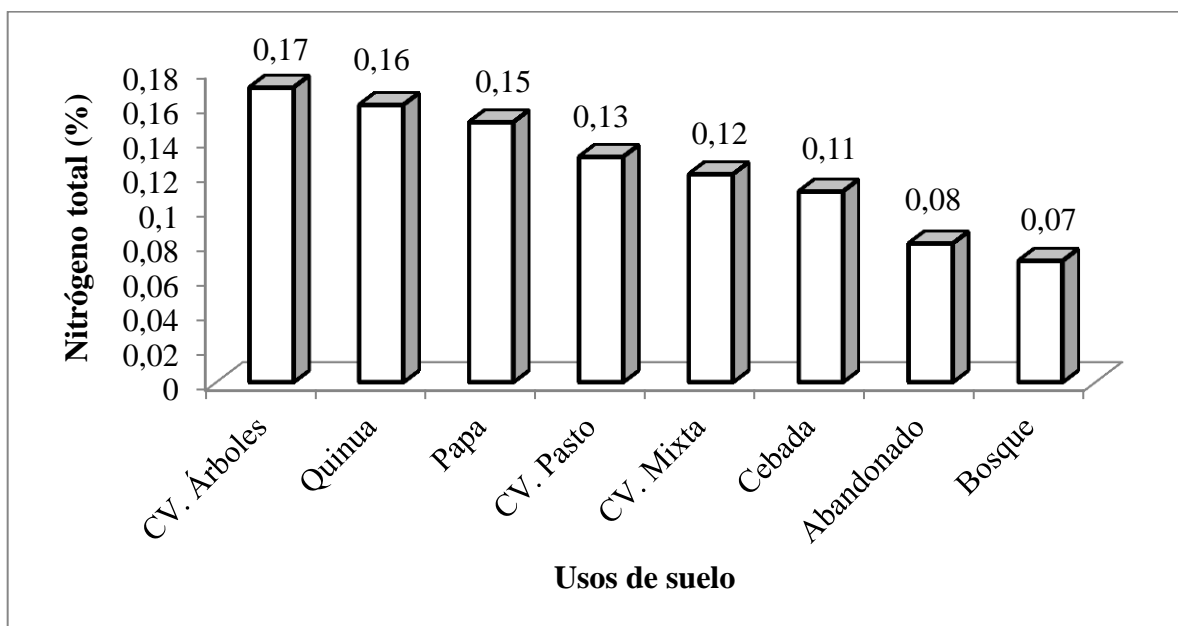


Gráfico 13. Contenido de nitrógeno total en el suelo entre usos de la zona media en %

En el gráfico 13 entre los usos de suelo de la zona media se observa que la cerca viva de árboles en cuanto a nitrógeno total supera al bosque en un 58,8%, al suelo abandonado, al cultivo de cebada, a la cerca viva mixta y a la cerca viva de pasto en un 52,9%; 35,3%;

29,4% y 23,5% respectivamente; mientras que para el cultivo de papa y quinua lo supera en un mínimo de 11,7% y 5,8% respectivamente.

3) Zona Baja

En el análisis de varianza para el nitrógeno total, entre los usos del suelo de la zona baja (Cuadro 39), presentó diferencias altamente significativas. El coeficiente de variación fue 14,37%.

El promedio de nitrógeno total presente en los usos de suelo de la zona baja fue de 0,05%.

Cuadro 39. Análisis de varianza según el nitrógeno total entre los usos del suelo de la zona baja

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor	SIG.
Usos	4	1,82	0,46	13,08	<0,0001	**
Error	20	0,70	0,03			
Total	24	2,52				
CV%	14,37					
MEDIA	0,05					

Elaborado por: Vimos, M. (2016)

** : Altamente significativo

En la prueba de Tukey al 5 % entre los usos del suelo de la zona baja (Cuadro 40) presentó cuatro rangos; en el rango “A” se ubicó la cerca viva mixta y el bosque con una media de 0,08%; mientras que en el rango “C” se encuentra el cultivo de maíz con una media de 0,03%.

Cuadro 40. Prueba de Tukey al 5% entre usos de suelo de la zona baja según el contenido de nitrógeno total

USOS	MEDIAS (%)	n	E.E.	RANGO
CV. Mixta	0,08	5	0,08	A
Bosque	0,08	5	0,08	A
Abandonado	0,06	5	0,08	AB
Cebada	0,04	5	0,08	BC
Maíz	0,03	5	0,08	C

Elaborado por: Vimos, M. (2016)

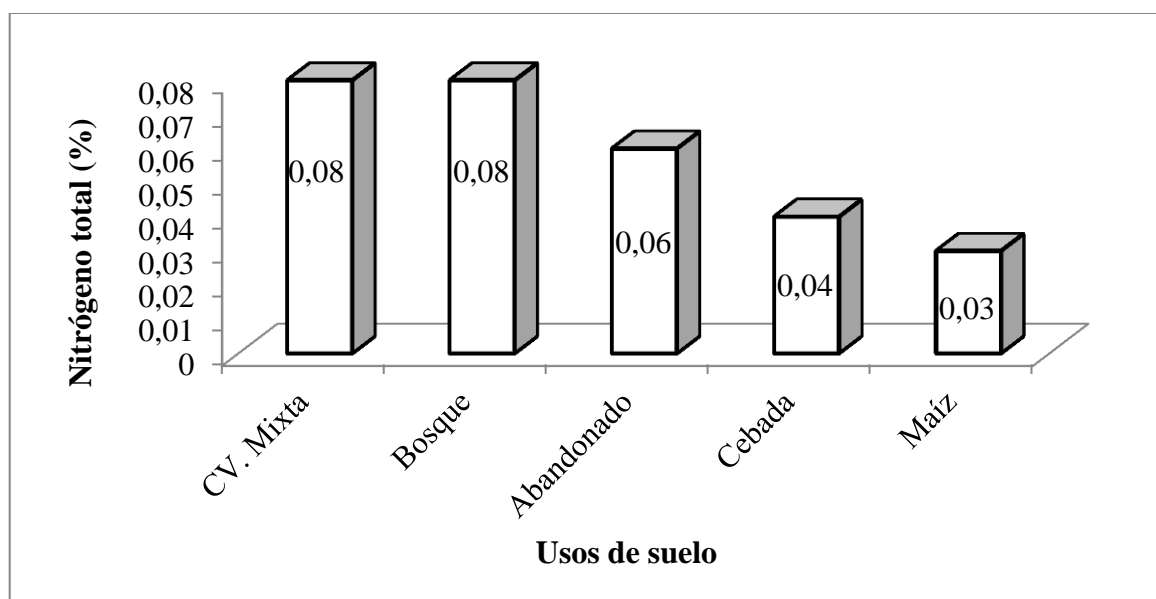


Gráfico 14. Contenido de nitrógeno total en el suelo entre usos de la zona baja en %

En el gráfico 14 se observa que para el nitrógeno total entre los usos de suelo de la zona baja la cerca viva mixta y el bosque supera en un 62,5% al cultivo de maíz, en un 50% al cultivo de cebada y al suelo abandonado en un 25%.

DISCUSIÓN

Los agroecosistemas influyen en el contenido de nitrógeno total, es así que la zona alta presenta mayor contenido de nitrógeno total (0,18%) con respecto a la zona media (0,12%) y baja (0,05%); según (Moreno, 2001) en su tabla de interpretación (Tabla 13; pág. 32) los niveles de nitrógeno obtenidos en los suelos de la zona alta corresponden a un rango rico, para la zona media un rango medianamente rico y pobre para la zona baja.

Los usos de suelo también influyen en el contenido de nitrógeno total en donde (Moreno, 2001) en su tabla de interpretación (Tabla 13; pág. 32) para los usos de la zona alta ubica en un rango extremadamente rico al cultivo de cebada; el cultivo de quinua, cerca viva de árboles y cerca viva mixta se encuentran en un rango rico, mientras que la cerca viva de pasto corresponde a un rango medianamente rico. Para los usos de suelo de la zona media la cerca viva de árboles, el cultivo de quinua y papa se encuentran en un rango rico; la cerca viva de pasto y mixta en un rango medianamente rico; el cultivo de cebada corresponde a un rango medio y el suelo abandonado y el bosque se encontró en un rango medianamente pobre. Y para los usos de la zona baja se encuentra la cerca viva mixta y el bosque en un rango medianamente pobre; el suelo abandonado, el cultivo de cebada y maíz en un rango pobre.

Los niveles de nitrógeno son altos debido a una mineralización de la materia orgánica, por razones como: presencia de microorganismos en la materia vegetal, fijación de nitrógeno atmosférico, actividad agrícola y aplicación de fertilizantes químicos, incorporación de rastrojo o residuos de cosechas; (Linares, 2008) indica que la materia orgánica es la fuente primaria de nitrógeno, conteniendo aproximadamente un 5% de nitrógeno total; concordando con los resultados obtenidos en esta investigación debido a que se determinó que en los agroecosistemas y usos de suelo existe una relación directamente proporcional entre el contenido de materia orgánica y nitrógeno total.

4. Fósforo

a. Según sus agroecosistemas

En el análisis de varianza para el fósforo en los 3 agroecosistemas (Cuadro 41), presentó diferencias altamente significativas. El coeficiente de variación fue 22,21%.

El promedio de fósforo presente en los suelos en los 3 agroecosistemas fue de 32,19 ppm.

Cuadro 41. Análisis de varianza según el fósforo del suelo en los tres agroecosistemas

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor	SIG.
Agroecosistemas	2	3,68	1,84	20,01	<0,0001	**
Error	87	7,99	0,09			
Total	89	11,67				
CV%	22,21					
MEDIA	32,19					

Elaborado por: Vimos, M. (2016)

** : Altamente significativo

En la prueba de Tukey al 5% entre agroecosistemas según el fósforo del suelo (Cuadro 42) presentó dos rangos; en el rango “A” se ubicó la zona alta y media con un valor de 47,70 ppm y 36,26 ppm; en el rango “B” la zona baja con una media de 12,60 ppm.

Cuadro 42. Prueba de Tukey al 5% entre agroecosistemas según el contenido de fósforo del suelo en ppm

AGROECOSISTEMAS	MEDIAS (ppm)	n	E.E.	RANGO
Zona alta	47,70	25	0,06	A
Zona media	36,26	40	0,05	A
Zona baja	12,60	25	0,06	B

Elaborado por: Vimos, M. (2016)

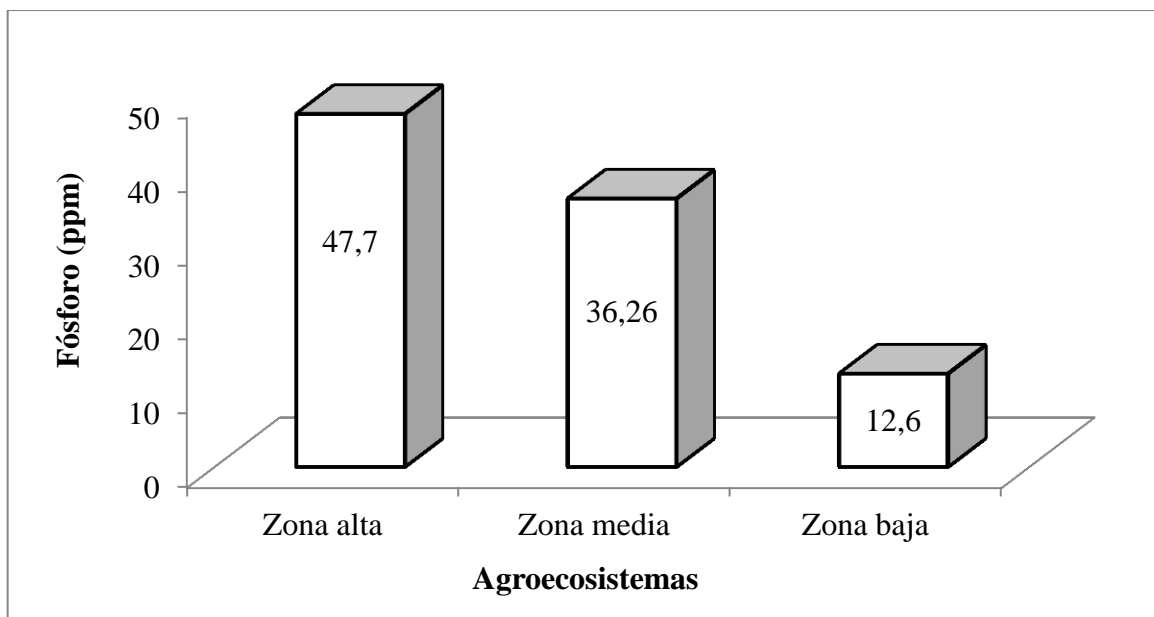


Gráfico 15. Contenido de fósforo en el suelo entre agroecosistemas en ppm

En el gráfico 15 se observa que para el fósforo entre sus agroecosistemas, la zona alta supera en un 73,58% a la zona baja, y en un 23,98% a la zona media.

b. Según sus usos

1) Zona Alta

En el análisis de varianza para el fósforo entre los usos del suelo de la zona alta (Cuadro 43), no presentó diferencias significativas.

El coeficiente de variación fue 18,55%.

El promedio de fósforo presente en los usos de suelo de la zona alta fue de 47,7 ppm.

Cuadro 43. Análisis de varianza según el fósforo del suelo entre los usos de la zona alta

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor	SIG.
Usos	4	0,72	0,18	2,08	0,1220	ns
Error	20	1,72	0,09			
Total	24	2,44				
CV%	18,55					
MEDIA	47,7					

Elaborado por: Vimos, M. (2016)

ns: No significativo

2) Zona Media

En el análisis de varianza para el fósforo entre los usos del suelo de la zona media (Cuadro 44), presentó diferencias altamente significativas. El coeficiente de variación fue 17,86%.

El promedio de fósforo presente en los usos de suelo de la zona media fue de 36,26 ppm.

Cuadro 44. Análisis de varianza según el fósforo entre los usos del suelo de la zona media

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor	SIG.
Usos	7	2,53	0,36	5,61	0,0003	**
Error	32	2,06	0,06			
Total	39	4,59				
CV%	17,86					
MEDIA	36,26					

Elaborado por: Vimos, M. (2016)

** : Altamente significativo

En la prueba de Tukey al 5 % entre los usos del suelo de la zona media para el fósforo (Cuadro 45) presentó cinco rangos; en el rango “A” se ubicó la cerca viva de pasto, con una

media de 87,40 ppm; y en el rango “C” se encuentra el suelo abandonado con una media de 9,46 ppm.

Cuadro 45. Prueba de Tukey al 5% entre usos de suelo de la zona media según el contenido de fósforo

USOS	MEDIAS (ppm)	n	E.E.	RANGO
CV. Pasto	87,40	5	0,11	A
CV. Mixta	44,20	5	0,11	AB
CV. Árboles	37,60	5	0,11	AB
Quinua	36,00	5	0,11	ABC
Papa	31,60	5	0,11	ABC
Cebada	28,20	5	0,11	ABC
Bosque	15,60	5	0,11	BC
Abandonado	9,46	5	0,11	C

Elaborado por: Vimos, M. (2016)

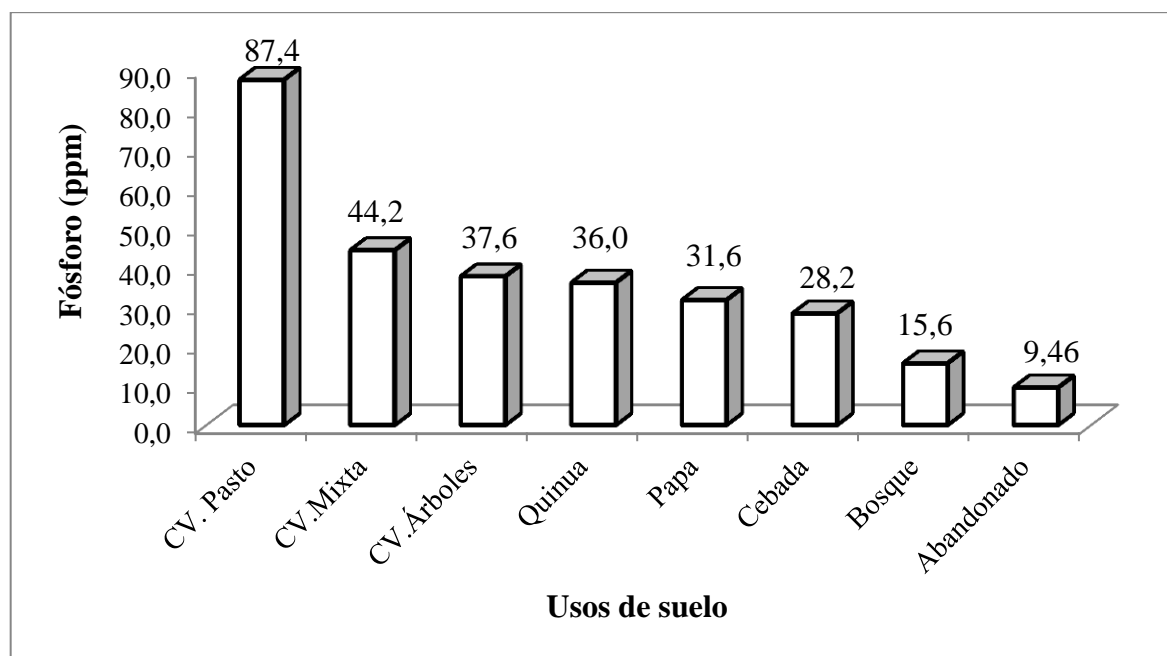


Gráfico 16. Contenido de fósforo en el suelo entre usos de la zona media en ppm

En el gráfico 16 entre los usos de suelo de la zona media para fósforo se observa que la cerca viva de pasto supera al resto de usos de suelo; es así que al suelo abandonado lo supera en un 89,2%, al bosque en un 82,1%, seguido de los cultivos de cebada, papa y quinua en un 67,7%; 63,8% y 58,8% respectivamente, a la cerca viva de árboles le supera en un 56,9% y a la cerca viva mixta en un 49,4%.

3) Zona Baja

En el análisis de varianza para el fósforo entre los usos del suelo de la zona baja (Cuadro 46), no presentó diferencias significativas. El coeficiente de variación fue 17,89%.

El promedio de fósforo presente en los usos de suelo de la zona baja fue de 12,6 ppm.

Cuadro 46. Análisis de varianza según el fósforo entre los usos del suelo de la zona baja

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor	SIG.
Usos	4	0,25	0,06	1,75	0,1781	ns
Error	20	0,72	0,04			
Total	24	0,97				
CV%	17,89					
MEDIA	12,6					

Elaborado por: Vimos, M. (2016)

ns: No significativo

DISCUSIÓN

El fósforo del suelo se ve influenciado por los agroecosistemas de la comunidad de Naubug y únicamente en la zona media está influenciado por los usos de suelo. Según (INIAP-Santa Catalina, 2011) en su tabla de interpretación (Tabla 14; pág. 33) el fósforo en la zona alta y media se ubica en un rango alto y la zona baja en un rango medio; en cuanto que los usos de suelo de la zona media corresponden a un rango alto a excepción del bosque y el

suelo abandonado que se encuentra en un rango medio y bajo respectivamente; esto se corrobora con el enunciado de (Munera, 2014) quien menciona que los suelos derivados de cenizas volcánicas tienen un alto contenido de fósforo el mismo que puede estar fijado.

La zona baja difiere estadísticamente en categorías de la zona alta y media referente al contenido de fósforo, puesto que los agroecosistemas se ven influenciados por las labores inherentes a la agricultura como la aplicación de fertilizantes químicos y orgánicos, lo que se observó claramente en la zona alta y media de los agroecosistemas en estudio, particular que se puede evidenciar en la zona media en donde la cerca viva de pasto milín supera en un 89,1% el contenido de fósforo al suelo abandonado; a más de considerar que el fósforo es un nutriente inmóvil que no se pierde fácilmente y genera efectos residuales.

En tanto que en la zona baja el fósforo puede estar formando compuestos de baja solubilidad como el fosfato de calcio por lo que no estará disponible para la planta debido al pH alcalino de este agroecosistema (Munera, 2014).

4. Potasio

a. Según sus agroecosistemas

En el análisis de varianza para el potasio en los 3 agroecosistemas (Cuadro 47), no presentó diferencias significativas.

El coeficiente de variación fue 21,20%.

El promedio de potasio presente en los suelos en los 3 agroecosistemas fue de 0,89 meq/100ml.

Cuadro 47. Análisis de varianza según el potasio del suelo en los tres agroecosistemas

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor	SIG.
Agroecosistemas	2	0,15	0,08	1,26	0,2900	ns
Error	87	5,26	0,06			
Total	89	5,41				
CV%	21,20					
MEDIA	0,89					

Elaborado por: Vimos, M. (2016)

ns: No significativo

b. Según sus usos

1) Zona Alta

En el análisis de varianza para el potasio entre los usos del suelo de la zona alta (Cuadro 48), presentó diferencias altamente significativas. El coeficiente de variación fue 18,44%. El promedio de potasio presente en los usos de suelo de la zona alta fue de 1,01 meq/100ml.

Cuadro 48. Análisis de varianza según el potasio del suelo entre los usos de la zona alta

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor	SIG.
Usos	4	1,78	0,45	9,36	0,0002	**
Error	20	0,95	0,05			
Total	24	2,74				
CV%	18,44					
MEDIA	1,01					

Elaborado por: Vimos, M. (2016)

** : Altamente significativo

En la prueba de Tukey al 5 % entre los usos del suelo de la zona alta para el potasio (Cuadro 49) presentó dos rangos; en el rango “A” se ubicaron las cerca vivas mixtas, de árboles y de pasto con unas medias de 1,64 meq/100ml, 1,50 meq/100ml y 1,40 meq/100ml respectivamente y en el rango “B” se ubicó los cultivos de quinua y cebada con medias de 0,37 meq/100ml y 0,15 meq/100ml respectivamente.

Cuadro 49. Prueba de Tukey al 5% entre usos de suelo de la zona alta según el contenido de potasio

USOS	MEDIAS (meq/100ml)	n	E.E.	RANGO
CV. Mixta	1,64	5	0,10	A
CV. Árboles	1,50	5	0,10	A
CV. Pasto	1,40	5	0,10	A
Quinua	0,37	5	0,10	B
Cebada	0,15	5	0,10	B

Elaborado por: Vimos, M. (2016)

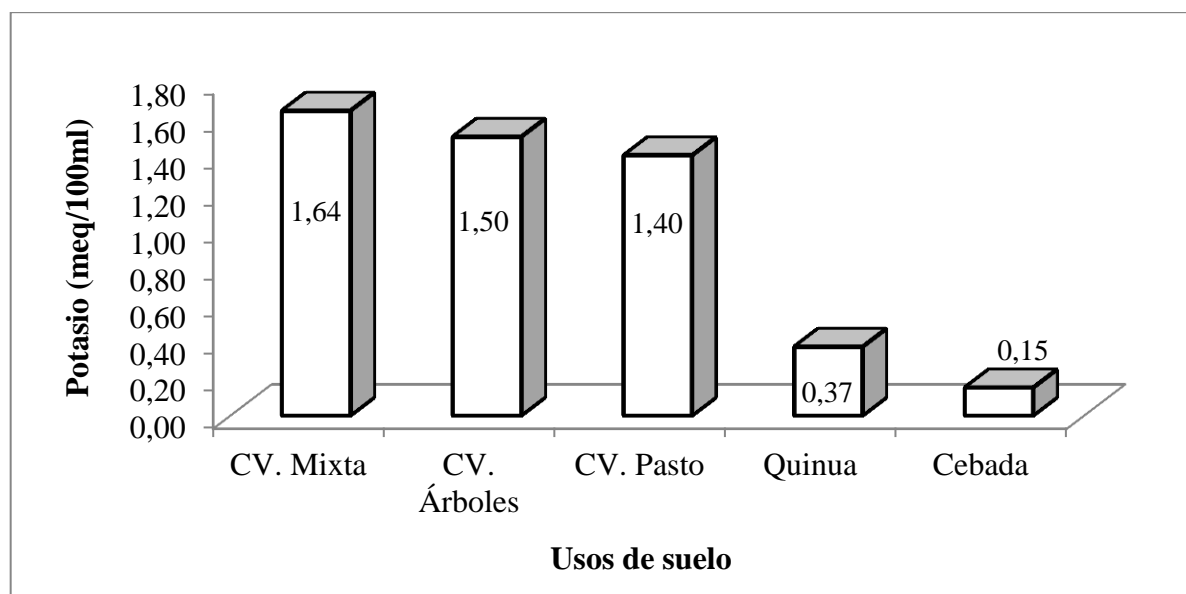


Gráfico 17. Contenido de potasio en el suelo entre usos de la zona alta en meq/100ml

En el gráfico 17 para el contenido de potasio en el suelo se observó que los tres tipos de cercas vivas son similares entre sí y diferentes de los cultivos es así que la cerca viva mixta supera en un 90,8% al cultivo de cebada y al cultivo de quinua en un 77,4%; a la cerca viva de pasto y de árboles le supera en un mínimo de 14,6% y 8,53% respectivamente.

2) Zona Media

En el análisis de varianza para el potasio entre los usos del suelo de la zona media (Cuadro 50), no presentó diferencias significativas. El coeficiente de variación fue 16,05%.

El promedio de potasio presente en los usos de suelo de la zona media fue de 0,95 meq/100ml.

Cuadro 50. Análisis de varianza según el potasio entre los usos del suelo de la zona media

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor	SIG.
Usos	7	0,41	0,06	1,61	0,1675	ns
Error	32	1,16	0,04			
Total	39	1,57				
CV%	16,05					
MEDIA	0,95					

Elaborado por: Vimos, M. (2016)

ns: No significativo

3) Zona Baja

En el análisis de varianza para el potasio entre los usos del suelo de la zona baja (Cuadro 51), presentó diferencias altamente significativas. El coeficiente de variación fue 14,48%.

El promedio de potasio presente en los usos de suelo de la zona baja fue de 0,73 meq/100ml.

Cuadro 51. Análisis de varianza según el potasio entre los usos del suelo de la zona baja

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor	SIG.
Usos	4	0,45	0,11	4,49	0,0095	**
Error	20	0,50	0,03			
Total	24	0,95				
CV%	14,48					
MEDIA	0,73					

Elaborado por: Vimos, M. (2016)

** : Altamente significativo

En la prueba de Tukey al 5 % entre los usos del suelo de la zona baja para el potasio (Cuadro 52) presentó tres rangos; en el rango “A” se ubicó la cerca viva mixta con una media de 1,34 me1/100ml y en el rango “B” se ubicó los cultivos de cebada y maíz con medias de 0,49 meq/100ml y 0,44 meq/100ml respectivamente.

Cuadro 52. Prueba de Tukey al 5% entre usos de suelo de la zona baja según el contenido de potasio

USOS	MEDIAS (meq/100ml)	n	E.E.	RANGO
CV. Mixta	1,34	5	0,07	A
Bosque	0,78	5	0,07	AB
Abandonado	0,63	5	0,07	AB
Cebada	0,49	5	0,07	B
Maíz	0,44	5	0,07	B

Elaborado por: Vimos, M. (2016)

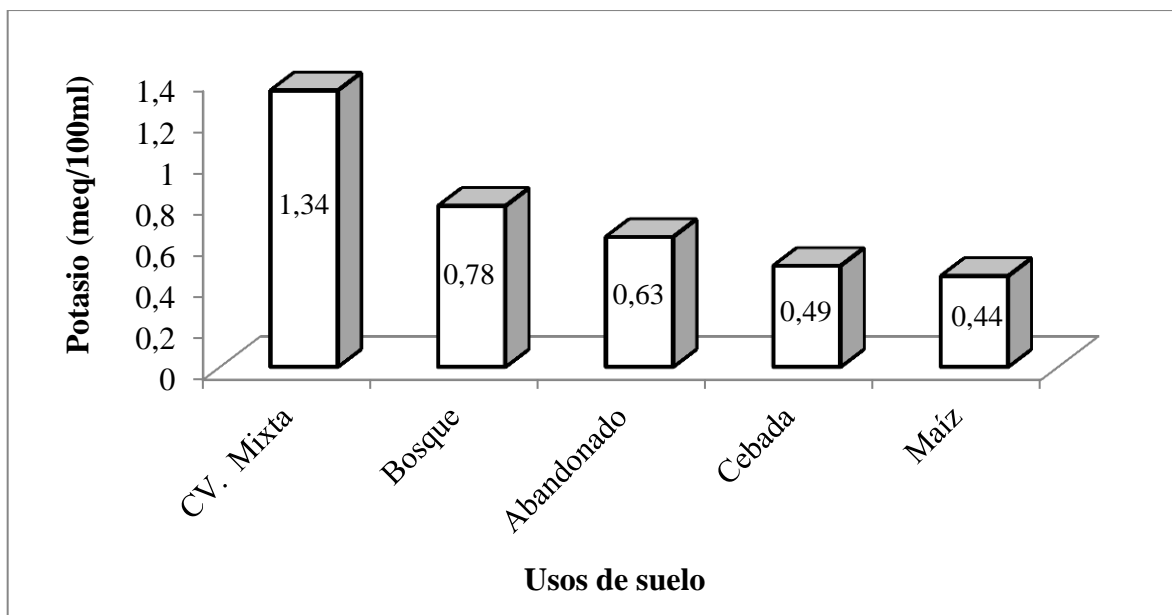


Gráfico 18. Contenido de potasio en el suelo entre usos de la zona baja en meq/100ml

En el gráfico 18 se observa que entre los usos de suelo de la zona baja la cerca viva mixta supera en el contenido de potasio al cultivo de maíz en un 67,1% seguido del cultivo de cebada, suelo abandonado y bosque en un 63,4%; 52,9% y 41,8% respectivamente.

DISCUSIÓN

El potasio se ve influenciado por sus usos de suelo tanto de la zona alta como de la zona baja; es así que en la zona alta para las cercas vivas mixtas, de árboles nativos y de pasto (INIAP- Santa Catalina, 2011) en su tabla de interpretación (Tabla 15; pág. 35) se ubican en un rango alto, excepto para el cultivo de quinua y cebada que se encuentra en un rango medio y bajo respectivamente. Para todos los usos de suelo de la zona baja el potasio se ubica en un rango alto.

La cerca viva mixta tanto de la zona alta como de la zona baja posee el mayor contenido de potasio en el suelo superando a los cultivos especialmente cebada en un 90,8% en la zona alta y 67,2% en la zona baja. El contenido de potasio en el cultivo de cebada de la zona alta al estar en un rango bajo se puede estar perdiendo debido al arrastre de los materiales finos como es el limo y la arcilla que es donde residen las reservas de potasio asimilable. Según

(Sanzano A. , 2016) debido a la escasa lixiviación, la disponibilidad de K es mayor en suelos con régimen de humedad ústico o más secos; lo que concuerda con el alto contenido de potasio en los usos de suelo de la zona baja.

5. Calcio

a. Según sus agroecosistemas

En el análisis de varianza para el calcio en los 3 agroecosistemas (Cuadro 53), presentó diferencias altamente significativas. El coeficiente de variación fue 21,39%.

El promedio de calcio presente en los suelos en los 3 agroecosistemas fue de 26,17 meq/100ml.

Cuadro 53. Análisis de varianza según el calcio del suelo en los tres agroecosistemas

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor	SIG.
Agroecosistemas	2	488,59	244,30	7,69	0,0008	**
Error	87	2762,12	31,75			
Total	89	3250,71				
CV%	21,39					
MEDIA	26,17					

Elaborado por: Vimos, M. (2016)

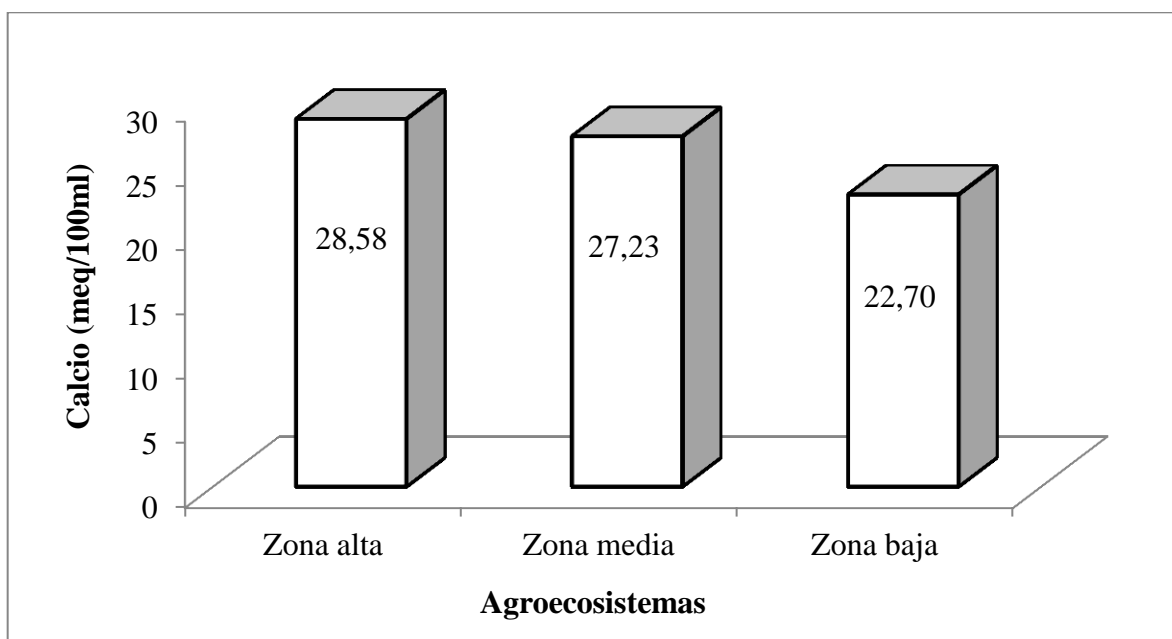
** : Altamente significativo

En la prueba de Tukey al 5% entre agroecosistemas para el calcio (Cuadro 54) presentó dos rangos; en el rango “A” se ubicó la zona alta y media con unos valores de 28,58 meq/100ml y 27,23 meq/100ml respectivamente y en el rango “B” la zona baja con una media de 22,70 meq/100ml.

Cuadro 54. Prueba de Tukey al 5% entre agroecosistemas según el contenido de calcio

AGROECOSISTEMAS	MEDIAS (me/100ml)	n	E.E.	RANGO
Zona alta	28,58	25	1,13	A
Zona media	27,23	40	0,89	A
Zona baja	22,70	25	1,13	B

Elaborado por: Vimos, M. (2017)

**Gráfico 19.** Contenido de calcio en el suelo entre agroecosistemas en meq/100ml

En el gráfico 19, se observa que la zona alta supera en contenido de calcio a la zona baja en un 20,6% y a la zona media en un mínimo de 4,7%.

b. Según sus usos

1) Zona Alta

En el análisis de varianza para el calcio entre los usos del suelo de la zona alta (Cuadro 55), no presentó diferencias significativas. El coeficiente de variación fue 16,23%.

El promedio de calcio presente en los usos de suelo de la zona alta fue de 28,58 meq/100ml.

Cuadro 55. Análisis de varianza según el contenido de calcio del suelo entre los usos de la zona alta

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor	SIG.
Usos	4	73,33	18,33	0,85	0,5090	ns
Error	20	430,13	21,51			
Total	24	503,46				
CV%	16,23					
MEDIA	28,58					

Elaborado por: Vimos, M. (2016)

ns: No significativo

2) Zona Media

En el análisis de varianza para el calcio entre los usos del suelo de la zona media (Cuadro 56), no presentó diferencias significativas.

El coeficiente de variación fue 11,19%.

El promedio de calcio presente en los usos de suelo de la zona media fue de 27,23 meq/100ml.

Cuadro 56. Análisis de varianza según el contenido de calcio entre los usos del suelo de la zona media

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor	SIG.
Usos	7	72,08	10,30	1,11	0,3819	ns
Error	32	297,29	9,29			
Total	39	369,36				
CV%	11,19					
MEDIA	27,23					

Elaborado por: Vimos, M. (2016)

ns: No significativo

3) Zona Baja

En el análisis de varianza para el calcio entre los usos del suelo de la zona baja (Cuadro 57), no presentó diferencias significativas. El coeficiente de variación fue 39,68%.

El promedio de calcio presente en los usos de suelo de la zona baja fue de 22,70 meq/100ml.

Cuadro 57. Análisis de varianza según el contenido de calcio entre los usos del suelo de la zona baja

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor	SIG.
Usos	4	266,60	66,65	0,82	0,5267	ns
Error	20	1622,70	81,13			
Total	24	1889,30				
CV%	39,68					
MEDIA	22,70					

Elaborado por: Vimos, M. (2016)

ns: No significativo

DISCUSIÓN

Los agroecosistemas zona alta, media y baja influyen en el contenido de calcio presentando un rango alto según (INIAP- Santa Catalina, 2011) en su tabla de interpretación (Tabla 16; pág. 36). De acuerdo a los resultados obtenidos podría existir inconvenientes pues (Rincón, 2002) menciona que al existir altos niveles de calcio se produce antagonismo de K, Mn, Fe, B y Zn.

Según (GAD parroquial de Flores, 2012) el material parental de los suelos de la comunidad, es la cangahua; esto se pudo visualizar en la etapa de muestreo de la investigación ya que en la zona baja y media existe afloramiento de este material especialmente en el suelo abandonado, confirmando los resultados obtenidos pues estos suelos obtuvieron los valores más altos en contenido de calcio, que como se sabe uno de los componentes de la cangahua es el carbonato de calcio.

6. Magnesio

a. Según sus agroecosistemas

En el análisis de varianza para el contenido de magnesio en los 3 agroecosistemas (Cuadro 58), presentó diferencias altamente significativas.

El coeficiente de variación fue 18,17%.

El promedio de magnesio presente en los suelos en los 3 agroecosistemas fue de 4,7 meq/100ml.

Cuadro 58. Análisis de varianza según el magnesio del suelo en los tres agroecosistemas

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor	SIG.
Agroecosistemas	2	60,47	30,23	39,76	<0,0001	**
Error	87	66,16	0,76			
Total	89	126,62				
CV%	18,17					
MEDIA	4,7					

Elaborado por: Vimos, M. (2016)

** : Altamente significativo

En la prueba de Tukey al 5 % entre los agroecosistemas para el magnesio (Cuadro 59) presentó dos rangos; en el rango “A” se ubicó la zona alta y media con valores de 5,33 meq/100ml y 5,29 meq/100ml respectivamente y en el rango “B” la zona baja con una media de 3,48 meq/100ml.

Cuadro 59. Prueba de Tukey al 5% entre agroecosistemas según el contenido de magnesio

AGROECOSISTEMAS	MEDIAS (meq/100ml)	n	E.E.	RANGO
Zona alta	5,33	25	0,17	A
Zona media	5,29	40	0,14	A
Zona baja	3,48	25	0,17	B

Elaborado por: Vimos, M. (2016)

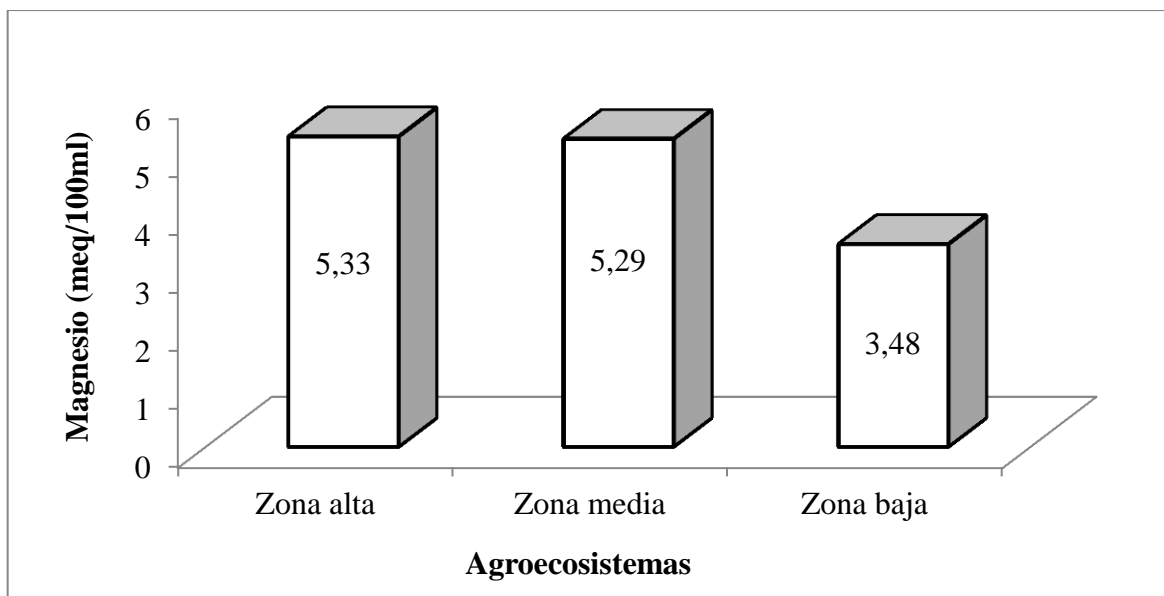


Gráfico 20. Contenido de magnesio en el suelo entre agroecosistemas en meq/100ml

En el gráfico 20 se observó que el agroecosistema de la zona alta supera en un 34,7% a la zona baja y en un mínimo de 0,75% a la zona media.

b. Según sus usos

1) Zona Alta

En el análisis de varianza para el magnesio entre los usos del suelo de la zona alta (Cuadro 60), no presentó diferencias significativas.

El coeficiente de variación fue 15,87%.

El promedio de magnesio presente en los usos de suelo de la zona alta fue de 5,33 meq/100ml.

Cuadro 60. Análisis de varianza según el contenido de magnesio del suelo entre los usos de la zona alta

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor	SIG.
Usos	4	1,35	0,34	0,47	0,7551	ns
Error	20	14,29	0,71			
Total	24	15,65				
CV%	15,87					
MEDIA	5,33					

Elaborado por: Vimos, M. (2016)

ns: No significativo

2) Zona Media

En el análisis de varianza para el magnesio entre los usos del suelo de la zona media (Cuadro 61), presentó diferencias altamente significativas. El coeficiente de variación fue 8,41%.

El promedio de magnesio presente en los usos de suelo de la zona media fue de 5,29 meq/100ml.

Cuadro 61. Análisis de varianza según el contenido de magnesio entre los usos del suelo de la zona media

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor	SIG.
Usos	7	7,73	1,10	5,57	0,0003	**
Error	32	6,34	0,20			
Total	39	14,08				
CV%	8,41					
MEDIA	5,29					

Elaborado por: Vimos, M. (2016)

** : Altamente significativo

En la prueba de Tukey al 5 % entre los usos de suelo de la zona media para el magnesio (Cuadro 62) presentó tres rangos; en el rango “A” se ubicó el bosque con una media de 6,21 meq/100ml y en el rango “B” se ubicaron el cultivo de cebada, cerca viva de pasto, cultivo de quinua y suelo abandonado con medias de 5,11 meq/100ml, 4,93 meq/100ml, 4,92 meq/100ml y 4,76 meq/100ml respectivamente.

Cuadro 62. Prueba de Tukey al 5% entre usos de suelo de la zona media según el contenido de magnesio en el suelo

USOS	MEDIAS (meq/100ml)	n	E.E	RANGO
Bosque	6,21	5	0,20	A
Papa	5,53	5	0,20	AB
CV. Mixta	5,51	5	0,20	AB
CV. Árboles	5,37	5	0,20	AB
Cebada	5,11	5	0,20	B
CV. Pasto	4,93	5	0,20	B
Quinua	4,92	5	0,20	B
Abandonado	4,76	5	0,20	B

Elaborado por: Vimos, M. (2017)

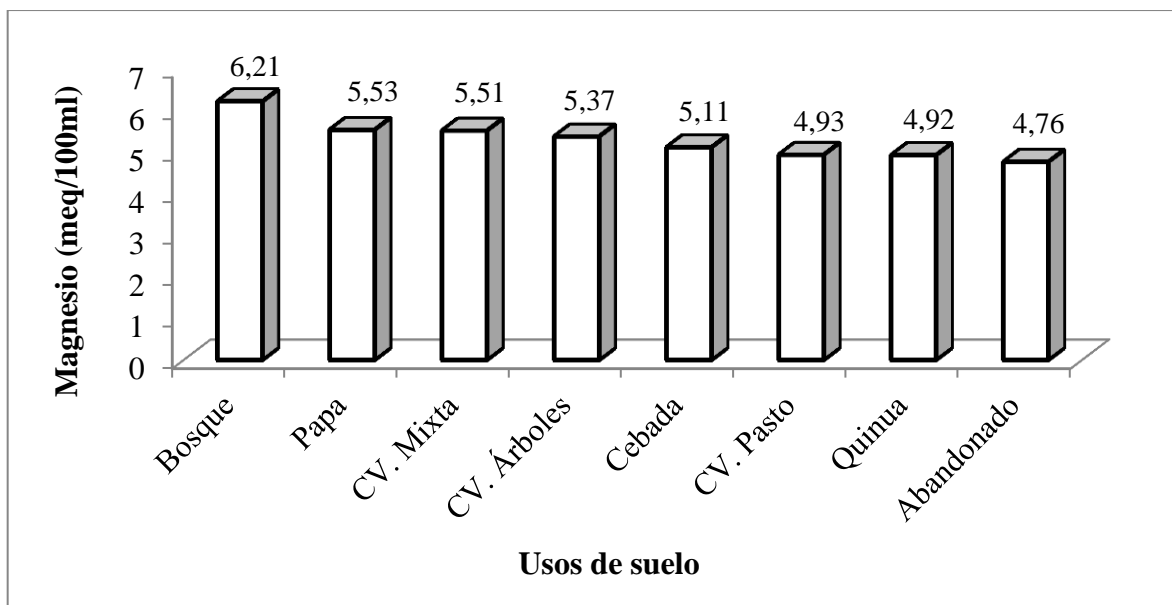


Gráfico 21. Contenido de magnesio en el suelo entre usos de la zona media en meq/100ml

En el gráfico 21 se observó que el bosque supera en el contenido de magnesio al suelo abandonado en un 23,34%, al cultivo de quinua en 20,7%, cerca viva de pasto en un 20,6%, así también al cultivo de cebada en un 17,7%, a la cerca viva de árboles en un 13,5%, a la cerca viva mixta en un 11,3%, y al cultivo de papa en un 10,9%.

3) Zona Baja

En el análisis de varianza para el magnesio entre los usos del suelo de la zona baja (Cuadro 63), presentó diferencias significativas.

El coeficiente de variación fue 30,42%.

El promedio de magnesio presente en los usos de suelo de la zona baja fue de 3,48 meq/100ml.

Cuadro 63. Análisis de varianza según el contenido de magnesio entre los usos del suelo de la zona baja

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor	SIG.
Usos	4	14,07	3,52	3,15	0,0369	*
Error	20	22,36	1,12			
Total	24	36,43				
CV%	30,42					
MEDIA	3,48					

Elaborado por: Vimos, M. (2016)

*: Significativo

En la prueba de Tukey al 5 % entre los usos de suelo de la zona baja para el magnesio (Cuadro 64) presentó tres rangos; en el rango “A” se ubicó el bosque con una media de 4,75 meq/100ml y en el rango “B” se ubicó el cultivo de maíz con una media de 2,57 meq/100ml.

Cuadro 64. Prueba de Tukey al 5% entre usos de suelo de la zona baja según el contenido de magnesio

USOS	MEDIAS (meq/100ml)	n	E.E	RANGO
Bosque	4,75	5	0,47	A
Cebada	3,65	5	0,47	AB
Abandonado	3,51	5	0,47	AB
CV. Mixta	2,90	5	0,47	AB
Maíz	2,57	5	0,47	B

Elaborado por: Vimos, M. (2017)

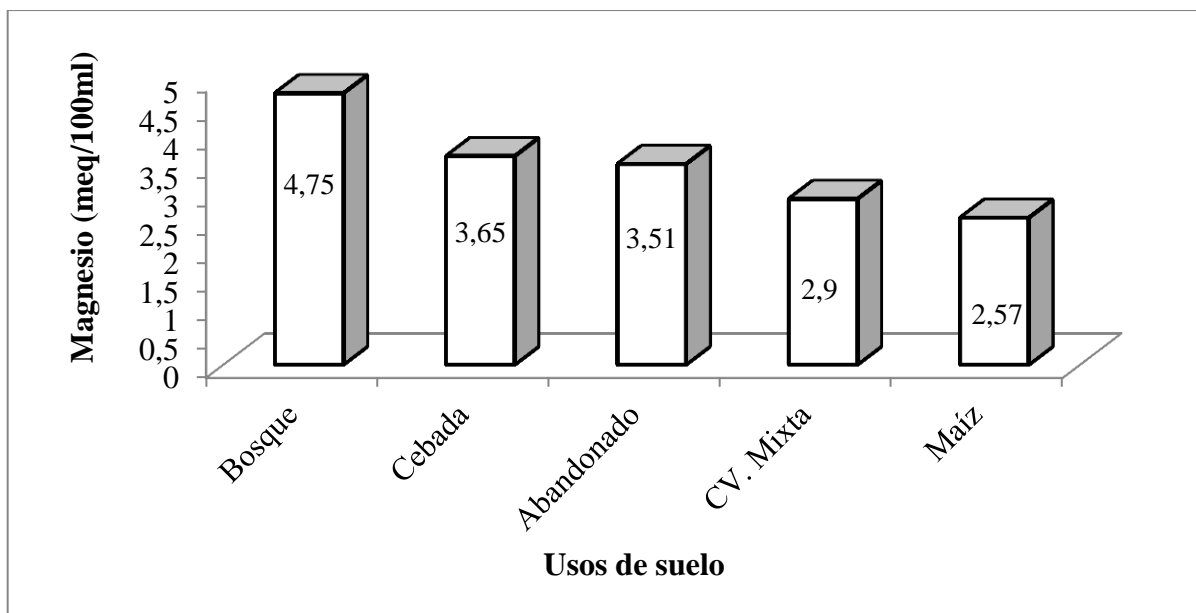


Gráfico 22. Contenido de magnesio en el suelo entre usos de suelo de la zona baja en meq/100ml

En el gráfico 22 se observó que el bosque supera a los demás usos de suelo en el contenido de magnesio es así que al cultivo de maíz lo supera en un 45,89%, a la cerca viva mixta, suelo abandonado y al cultivo de cebada en un 38,9%, 26,1% y 23,1% respectivamente.

DISCUSIÓN

El contenido de magnesio en el suelo se ve influenciado por sus agroecosistemas y por los usos de suelo de la zona media y baja que según (INIAP- Santa Catalina, 2011) en su tabla de interpretación (Tabla 17; pág. 37) se encuentran en un rango alto; de manera que la diferencia de magnesio entre la zona alta y media es mínima con un 0,75%, mientras que entre la zona alta y baja es de 34,7%; el contenido de este catión en los agroecosistemas de estudio se debe al material de origen, así como de los procesos de meteorización y lixiviación de la cangahua, sustentado en el informe de (Del Pino, 2016) quien manifiesta que el contenido de magnesio depende principalmente del material parental, del contenido de arcilla y materia orgánica de los suelos. El contenido de magnesio en la cangahua según (Gaibor & Guano, 2012) es de 4,5 meq/100ml.

C. EROSIÓN HÍDRICA DEL SUELO

En el análisis de varianza para la erosión hídrica en los 2 agroecosistemas (zona alta y zona baja) y en los tratamientos (Cuadro 63), presentó diferencias altamente significativas. En cuanto a las repeticiones y a la interacción agroecosistemas por tratamientos no hubo diferencias significativas.

El coeficiente de variación fue 21,57%. El promedio de erosión hídrica del suelo fue de 0,51 t/ha/año.

Cuadro 65. Análisis de varianza según la erosión hídrica del suelo en los 2 agroecosistemas

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor	SIGNIFICANCIA
Agroecosistemas	1	0,40	0,40	32,59	0,0001	**
Tratamientos	3	0,69	0,23	18,75	<0,0001	**
Repeticiones	2	0,02	0,01	0,72	0,5041	ns
Agroecosistemas* tratamientos	3	0,06	0,02	1,69	0,2144	ns
Error	14	0,17	0,01			
Total	23	1,33				
C.V.	21,57					

Elaborado por: Vimos, M. (2016)

ns: no significativo

** : Altamente significativo

En la prueba de Tukey al 5 % entre agroecosistemas según la erosión hídrica del suelo (Cuadro 64) presentaron dos rangos; en el rango “A” se ubicó al agroecosistema de la zona baja con una media de 0,64 t/ha/año y en el rango “B” al agroecosistema de la zona alta con un valor de 0,38 t/ha/año.

Cuadro 66. Prueba de Tukey al 5% para la erosión hídrica del suelo entre agroecosistemas expresado en t/ha/año

AGROECOSISTEMAS	MEDIAS (t/ha/año)	RANGO
Zona baja	0,64	A
Zona alta	0,38	B

Elaborado por: Vimos, M. (2016)

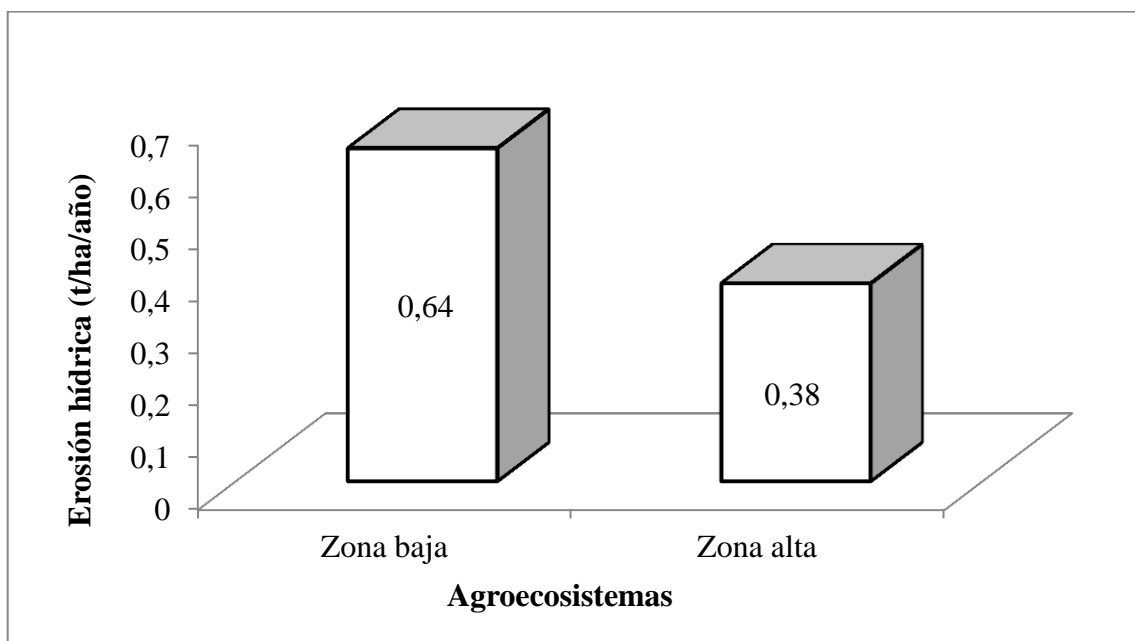


Gráfico 23. Erosión hídrica del suelo entre agroecosistemas expresado en t/ha/año

En el gráfico 21 se observa que la zona baja presenta mayor pérdida de suelo es así que le supera a la zona alta en un 40,6%.

En la prueba de Tukey al 5% en cuanto a sus tratamientos para erosión hídrica (Cuadro 65) presentaron 3 rangos; en el rango “A” se ubicó al T1 (cultivado sin cerca viva) con una media de 0,77 t/ha/año, en el rango “B” el T3 (cultivado + cerca viva de aliso) con una media de 0,55 t/ha/año, y en el rango “C” el T2 (cultivado + cerca viva de pasto milin) con un valor de 0,34 t/ha/año; mientras que el T4 (cultivado + cerca viva mixta) se encuentra en un rango intermedio con una media de 0,39 t/ha/año.

Cuadro 67. Prueba de Tukey al 5% para la erosión hídrica del suelo entre tratamientos expresados en t/ha/año

Tratamientos	MEDIAS (t/ha/año)	RANGO
T1 (Cultivado sin cerca viva)	0,77	A
T3 (Cultivado + cerca viva de aliso)	0,55	B
T4 (Cultivado + cerca viva mixta)	0,39	BC
T2 (Cultivado + cerca viva de pasto milin)	0,34	C

Elaborado por: Vimos, M. (2016)

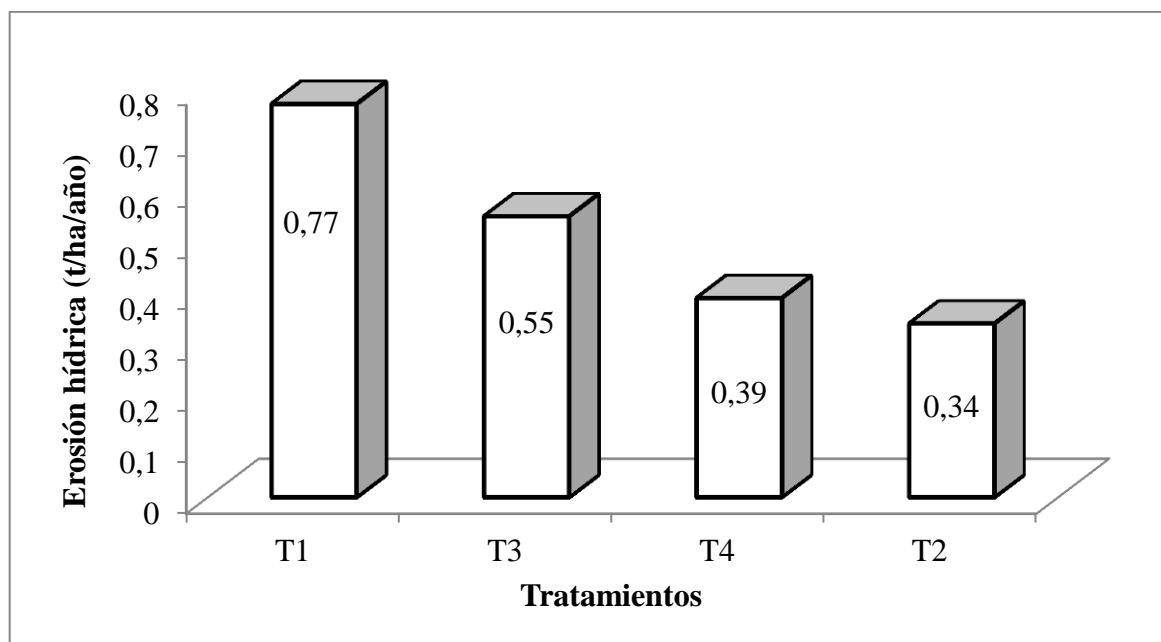


Gráfico 24. Erosión hídrica del suelo entre tratamientos expresada en t/ha/año

En el gráfico 22 se observa que existe mayor pérdida de suelo en el tratamiento 1 (cultivado sin cerca viva) superando en el doble al tratamiento 2 (cultivado+ cerca viva de pasto milin) con un 55,8%; al tratamiento 4 (cultivado + cerca viva mixta) en un 49,3% y en un 28,6% al tratamiento 3 (cultivado + cerca viva de aliso).

DISCUSIÓN

Para la erosión hídrica entre agroecosistemas (Gráfico 21) se establecen los siguientes valores: para la zona baja 0,64 t/ha/año y para la zona alta 0,38 t/ha/año, basados en una publicación de la (FAO, 2015) los valores obtenidos en esta investigación se encuentran en un nivel de erosión, de ninguna a ligera, ya que hay una pérdida de suelo menor a 10 t/ha/año; debido a que estos agroecosistemas no cuentan con agua de riego y su precipitación anual es de 357 mm (Anexo 12), en comparación a lo que manifiestan (Cruz, Chela, Monar, Valverde, & Cartagena, 2010) en una investigación realizada en la provincia de Bolívar en la microcuenca del río Alumbre en la que indican que la pérdida de suelo por erosión hídrica es de 2,69 t/ha en un suelo labrado y de 0,1064 t/ha en un suelo con pasto con una precipitación de 1315 mm/año.

Los resultados obtenidos para los tratamientos (Gráfico 22) fueron: para pasto milín (T2) 0,34 t/ha/año en comparación con (T1) sin cerca viva 0,77 t/ha/año, de lo que podemos manifestar que la cobertura del pasto milin evita que las partículas del suelo sean desagregadas y arrastradas por escorrentía debido a su densidad de cobertura, lo que no ocurre con el (T1) que al no tener cobertura vegetal la pérdida de suelo es notoria apoyado en (Pérez, Valdés, & Ordaz, 2012) quienes manifiestan que la hojarasca, cobertura vegetal por mantillos, residuos de podas, entre otras coberturas que yacen sobre la superficie del suelo, pueden protegerlo efectivamente contra la erosión.

De lo anteriormente expuesto podemos argumentar que aun siendo mínima la pérdida de suelo, el potencial que presentan las cercas vivas para disminuir este efecto es del 50%, recalcando su importancia con los resultados obtenidos en el (T1).

VI. CONCLUSIONES

- A.** El agroecosistema de la zona alta presentó suelos de textura franca en un 100%, con densidad aparente de $1,02 \text{ g/cm}^3$ y conductividad hidráulica de $0,0105 \text{ cm/min}$ parámetros que indican poca degradación del suelo a diferencia de la zona media y baja.

- B.** El agroecosistema de la zona alta y sus usos de suelo se caracterizaron por presentar buena fertilidad, ya que disponen de pH neutro, valores altos de materia orgánica, nitrógeno total, fósforo, potasio, calcio y magnesio en comparación de los agroecosistemas de la zona media y baja.

- C.** Para los agroecosistemas de la zona alta y baja la erosión hídrica se interpretado como de ninguna a ligera por presentar valores de $0,38 \text{ t/ha/año}$ y $0,64 \text{ t/ha/año}$ respectivamente.

- D.** La disminución de la erosión hídrica con la implementación de la cerca viva formada por pasto milín alcanzó el 55,8% al comparar con aquellas áreas de producción carentes de cercas vivas; con un 38,2% para las cercas vivas formadas de aliso y 12,8% en las cercas vivas mixtas.

VII. RECOMENDACIONES

- A.** Socializar los beneficios del establecimiento de cercas vivas con pasto milín, mixtas y aliso como una estrategia de control para la erosión del suelo, recalcando la importancia de la integración de especies nativas como cercas mediante talleres, material divulgativo, capacitaciones a través de un trabajo conjunto entre organismos gubernamentales y no gubernamentales.

- B.** Fomentar alternativas de producción, pertinentes labores agro-culturales, rotación de cultivos, cobertura de suelo, como estrategias de conservación de suelos y fomento productivo para las parcelas de producción de los agricultores de la zona.

- C.** Realizar una investigación microbiológica de los agroecosistemas en estudio con la finalidad de establecer un conocimiento profundo sobre la fertilidad de los suelos de la comunidad de Naubug.

- D.** Aplicar otras metodologías para evaluar el grado de erosión hídrica relacionar con el tiempo, la estación y la frecuencia de las lluvias.

VIII. RESUMEN

La presente investigación propone: evaluar el estado de degradación y de fertilidad según el uso del suelo en tres agroecosistemas, en la comunidad de Naubug perteneciente a la parroquia Flores; el diseño experimental utilizado fue el diseño completamente aleatorizado y para la erosión hídrica el diseño de bloques completamente al azar; se registraron datos como textura, densidad aparente (g/cm^3), conductividad hidráulica (cm/min), pH, materia orgánica (%), nitrógeno total (%), fósforo (ppm), potasio (meq/100ml), calcio (meq/100ml), magnesio (meq/100ml), erosión hídrica (t/ha/año). Los mejores resultados para las propiedades físicas y químicas se evidenciaron en el agroecosistema de la zona alta donde su textura es franca con una densidad aparente de $1,02 \text{ g/cm}^3$, conductividad hidráulica de $0,0105 \text{ cm/min}$, con pH neutro, altos contenidos de materia orgánica con una media de $4,82\%$, nitrógeno total con $0,18\%$, fósforo con $47,7 \text{ ppm}$, potasio con $1,01 \text{ meq/100ml}$, calcio con $28,58 \text{ meq/100ml}$ y magnesio con $5,33 \text{ meq/100ml}$; parámetros que indican poca degradación y buena fertilidad del suelo a diferencia de los agroecosistemas de la zona media y baja. En cuanto a los usos de suelo de la zona alta los cultivos de cebada y quinua se vieron influenciados por las labores inherentes a la agricultura como es la aplicación de fertilizantes orgánicos e inorgánicos presentando valores altos en materia orgánica y nitrógeno total en cambio que las cercas vivas obtuvieron los valores más altos en cuanto a fósforo, potasio, calcio y magnesio. Los valores de erosión hídrica para la zona alta y baja fueron de $0,38 \text{ t/ha/año}$ y $0,64 \text{ t/ha/año}$ respectivamente, lo que se ha interpretado como ninguna a ligera; siendo la cerca viva de pasto milín la que contribuyo de mejor manera a disminuir la erosión hídrica en un $55,8\%$.

Palabras clave: degradación del suelo, fertilidad del suelo, materia orgánica, erosión hídrica.

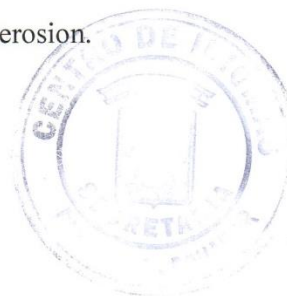
Por: Maritza Vimos



IX. SUMMARY

The following investigation proposes: the evaluation of the state of degradation and of fertility according to the use of the soil in three agroecosystems within the community of Naubug which pertains to the “Flores” parish. The experimental design used was the completely randomized design and for erosion the completely randomized block design. Data was registered such as texture, apparent density (g/cm^3), hydraulic conductivity (cm/min), pH, organic matter (%), total nitrogen (%), phosphorus (ppm), potassium (meq/100ml), calcium (meq/100ml), magnesium (meq/100ml), water erosion (t/ha/year). The best results for the physical and chemical properties were seen in the high zone agroecosystems where their textures are straightforward with an apparent density of $1,02 \text{ g/cm}^3$, hydraulic connectivity of $0,01105 \text{ cm/min}$, with a neutral pH, high content of organic matter with an average of $4,82\%$, total nitrogen count of $0,18\%$, phosphorus count of $47,7 \text{ ppm}$, potassium count of $1,01 \text{ meq/100ml}$, calcium count of $28,58 \text{ meq/100ml}$ and magnesium count of $5,33 \text{ meq/100ml}$. These parameters indicate little degradation and good fertility of the soil compared to the medium and low zone agroecosystems. Regarding the uses of the soil in the high zone, the barley and quinoa crops were influenced by activities inherent to agriculture such as the application of organic and inorganic fertilizers showing high concentrations of organic matter and total nitrogen count, whereas the hedges obtained the highest values of phosphorus, potassium, calcium and magnesium. The water erosion values of the high and low zones were $0,38 \text{ t/ha/year}$ and $0,64\text{t/ha/year}$ respectively which has been interpreted as a range between none to light. The milium grass hedge contributed the most by decreasing the water erosion by $55,8\%$.

Key words: soil degradation, soil fertility, organic matter, water erosion.



X. BIBLIOGRAFÍA

Acosta, C. (2006). El suelo agrícola, un ser vivo. Madrid.

Alarcón, A. (2008). Manejo de suelos en agricultura intensiva. Cartagena: Uniagro.

Almorox, A., López, F., & Rafaelli, S. (2010). La degradación de los suelos por erosión hídrica: métodos de estimación. Murcia - España: EDITUM Universidad de Murcia.

Álvarez, R., & Steinbach, H. (2006). Materia orgánica. Valor agronómico y dinámica en suelos pampeanos. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía.

Andino, D. (2012). Plan de desarrollo turístico para la parroquia Flores cantón Riobamba provincia Chimborazo. Riobamba.(Tesis de grado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba.

Andrades, M. (2014). Fertilidad del suelo y parámetros que la definen. España: Universidad de la Rioja.

Arcos, F. (2003). Fertilizantes I. Texto básico. Riobamba - Ecuador.

Azcarate, P. (2008). Manual de fertilidad y evaluación de suelos. Argentina.

Basantes, E. (2015). Manejo de cultivos andinos del Ecuador. Quito: Comisión Editorial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Báscones, E. (2007). Análisis de suelo y consejos de abonado. Recuperado el 23 de Agosto de 2015, de https://www.larioja.org/npRioja/cache/documents/518266_inea_interpretacion_sueos.pdf;jsessionid=F0502253A8BB3E20145B95F9009F92DE.jvm1

Bastidas, J. (2003). Textura del suelo. Recuperado el 30 de Junio de 2016, de www.udc.es/dep/dtcon-/estructuras/ETSAC/Publicaciones/puv-val/Suelos/suelos

- Bermudez, A. (2006). El suelo como interfase: composición, textura y estructura. Recuperado el 21 de Agosto de 2015, de http://www.um.es/sabio/docs-cmsweb/materias-may25-45/tema_6.pdf
- Bernier, R. (2000). Diagnóstico de la fertilidad del suelo. Recuperado el 24 de Agosto de 2015, de <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/serieactas/NR25546.pdf>
- Blanquer, G. (2001). Génesis de suelos. Recuperado el 22 de Agosto de 2015, de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/7775/Textura.pdf>
- Caulfield, M. (2015). Uso de tierras actual de la comunidad de Naubug, Flores. Riobamba.
- Crosara, A. (2004). Textura del suelo. Recuperado el 21 de Agosto de 2015, de <http://edafologia.fcien.edu.uy/archivos/Practico%203.pdf>
- Cruz, E., Chela, E., Monar, C., Valverde, F., & Cartagena, Y. (2010). Evaluación de la pérdida productiva y económica por la erosión hídrica en tres sistemas de producción en la microcuenca del río Alumbre, provincia Bolívar. Santo Domingo - Ecuador.
- Decagon Devices, Inc. (2014). Manual Mini disk infiltrometer. Pullman.
- Del Pino, A. (2016). Nutrición catiónica. Uruguay.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2000). El futuro de nuestra tierra: enfrentando el desafío. Roma.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2015). Degradación del suelo. Recuperado el 22 de Julio de 2015, de <http://www.fao.org/soilsportal/degradacion-del-suelo/es/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2015). La biodiversidad para el mantenimiento de los agroecosistemas. Recuperado el Septiembre de 2015, de http://ftp.fao.org/paia/biodiversity/agroeco_biod_es.pdf

- Flores, L., & Alcalá, J. (2010). Manual de procedimientos analíticos. México: UNAM.
- Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Chimborazo. (2011). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de Chimborazo. Riobamba.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de Flores. (2012). Plan de Ordenamiento Territorial de Flores. Riobamba.
- Gaibor, A., & Guano, M. (2012). Resistencia de la cangahua en función de su composición mineralógica y contenido de humedad en dos sectores de Quito: Sur y Norte. Quito.
- Gómez Sal, A. (2001). Aspectos ecológicos de los sistemas agrícolas. Las dimensiones del desarrollo. Madrid: Mundi Prensa.
- Gómez, M. (2014). Identificación y caracterización de prácticas y tecnologías indígenas y campesinas en el manejo de semilla (poscosecha), como medidas de adaptación al cambio climático, en dos comunidades de la provincia de Chimborazo. (Tesis de grado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba.
- Henríquez, S. (2010). Manejo y uso de los fertilizantes a base de Magnesio. Recuperado el 22 de Agosto de 2015, de <http://www.honeywellpmt.com/sm/sulfn/la/common-/documents/Henriquez.pdf>
- Heredia, E. (2006). Densidad real, aparente y porosidad del suelo. España.
- Ibáñez, J. (2006). Una introducción a la degradación del suelo por erosión. Recuperado el 3 de Agosto de 2015, de <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2006/01/22/12-450>
- Infoagro (2008). pH: concepto, medida y aplicaciones en agricultura y medioambiente. Recuperado el 30 de junio de 2016, de INFOAGRO: http://www.infoagro.com-/abonos/ph_informacion.htm
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. (2011). Laboratorio de suelos y aguas. Quito. Santa Catalina.

- Jiménez , A. (2005). La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera Colombiana. Colombia.
- Jimenez, S. (2011). La erosión del suelo en el Ecuador. Estudio científico de los índices de erosión en el Ecuador. Ecuador.
- Keller, T. (2010). Estimation of reference bulk density from soil particle size distribution and soil organic matter content. Suecia.
- Linares, G. (2008). Relación del contenido orgánico y el nitrógeno en suelos forestales de Teziutlán, Puebla. Puebla: Universidad Autónoma de Puebla.
- Ministerio del Ambiente. (2012). V Informe Nacional de lucha contra la desertificación. Quito.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2000). Política ambiental para el desarrollo sustentable del sector agropecuario del Ecuador. Documento técnico N°13, Quito.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. (2013). Estudio de edafología. Unidad técnica Yasipan. Chimborazo. Riobamba.
- Monge, E. (2000). El calcio nutriente para las plantas. Recuperado el 24 de Agosto de 2015, de <http://digital.csic.es/bitstream/10261/4247/1/analesv.21n.3-1995pp189.pdf>
- Moreno, D. (2001). Clasificación de pH del del suelo, contenido de sales y nutrientes asimilables. México: INIA-SARCH.
- Munera, G. (2014). El fósforo elemento indispensable para la vida vegetal. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Núñez, J. (2001). Manejo y conservación de suelos. San José - Costa Rica: EUMED.
- Organización de las Naciones Unidas. (2010). Decenio de las Naciones Unidas para los desiertos y la lucha contra la desertificación. Recuperado el 29 de Julio de 2015, de http://www.un.org/es/events/desertification_decade/value.shtml

- Peralta, J. (2001). Agentes erosivos y tipos de erosión. Recuperado el 13 de Agosto de 2015, de <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/serieactas/NR33251.pdf>
- Peralta, M. (2002). Guía N°2 de Edafología . Chile.
- Perdomo, C. (2001). Nitrógeno. Recuperado el 24 de Agosto de 2015, de <http://www.fagro-edu.uy/~fertilidad/publica/Tomo%20N.pdf>
- Pérez, A. (2002). Parcelas experimentales para el estudio de la erosión hídrica. Recuperado el 12 de Septiembre de 2015, de <https://www.digital.csic.es/bitstream/10261-83489/1/407509.pdf>
- Pérez, J., Valdés , E., & Ordaz, V. (2012). Cobertura vegetal y erosión del suelo en sistemas agroforestales de café bajo sombra. Chapingo, México: Terra Latinoamericana.
- Pinot, R. (2000). Manual de Edafología. Chile: Computec.
- Quiroga, A. (2008). El sistema suelo y características del intercambio de iones. En Manual de fertilidad y evaluación de suelos (pág. 9). Argentina.
- Reichardt, K. (2005). Procesos de transferencia del sistema suelo- planta- atmósfera. Piracicaba: Fundación Cargill.
- Rincón, L. (2002). El suelo y los fertilizantes. EXTRA, 80. España.
- Rojas, C. (2003). La materia orgánica y su efecto como enmienda y mejorador de la productividad de los cultivos. Recuperado el 14 de Agosto de 2015, de <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/serieactas/NR28123.pdf>
- Rosell, R. (2001). Soil organic matter evaluation. Argentina.
- Rubio, A. (2010). La densidad aparente en suelos forestales del parque natural los alcornocales . Recuperado el 13 de Agosto de 2015, de <http://digital.csic.es/bits->

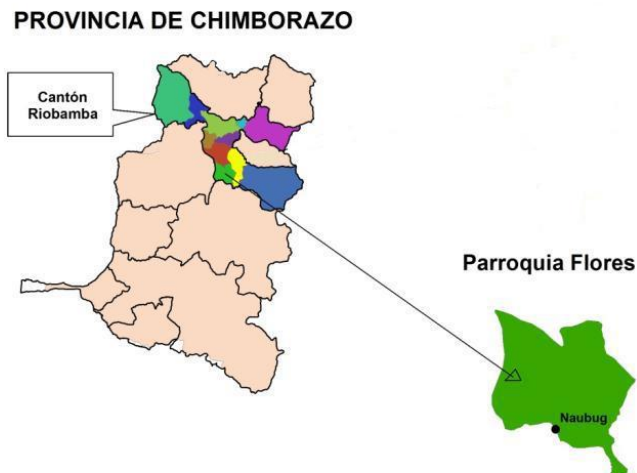
tream/10261/57951/1/La%20densidad%20aparente%20en%20suelos%20forestales%20.pdf

- Ruiz, J. (2011). The effects of soil moisture variability on the vegetation pattern in mediterranean abandoned fields (Southern Spain). *Catena*.
- Salazar, O. (2003). Suelo, un recurso importante pero desconocido. Recuperado el 11 de Agosto de 2015, de <http://www.ciberespacios.cl/wpcontent/uploads/2012/05-/Propiedadesqu%C3%ADmicas-de-suelo.pdf>
- Sánchez, J. (2008). Fertilidad del suelo y nutrición mineral de plantas. Recuperado el 20 de Julio de 2015, de <http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/FERTILIDAD-%20DEL%20SUELO%20Y%20NUTRICION.pdf>
- Sanzano, A. (2000). El potasio del suelo. Recuperado el 24 de Agosto de 2015, de <http://www.edafologia.com.ar/Descargas/Cartillas/El%20Potasio%20del%20Suelo.pdf>
- Sanzano, A. (2016). El potasio del suelo. Recuperado el 14 de Diciembre de 2016, de <http://www.edafologia.com.ar/Descargas/Cartillas/El%20Potasio%20del%20Suelo.pdf>
- Seybold, C., Mausbach, M., Karlen, D., & Rogers, H. (1997). Quantification of soil quality. En *Soil process and the carbon cycle* (págs. 387-403). Florida.
- Singer, M., & Ewing, S. (2000). Soil Quality. En *Soil Science* (págs. 271-298). Florida: Sumner, M.E.
- Springall, R. (2003). Hidrología. Recuperado el 14 de Agosto de 2015, de <http://ing.unne.edu.ar/pub/infi.pdf>
- Indicadores de la calidad del suelo. (1996). *Indicators for Soil Quality Evaluation*. Estados Unidos.

- Suquilanda, M. (2007). El deterioro de los suelos en el Ecuador y la producción agrícola. Recuperado el 3 de Agosto de 2015, de <http://www.secsuelo.org/wpcontent/uploads/2015/06/3.-Ing.-Manuel-Suquilanda.-Suelos.pdf>
- Terron, P. (2011). El calcio y el magnesio como nutrientes de los principales cultivos. Recuperado el 22 de Agosto de 2015, de <http://www.elcalcioyel magnesio-comonutrientesde.pdf>
- Trujillo, G., & Noni, G. (2000). La erosión actual y potencial en Ecuador: localización, manifestaciones y causas. Quito.
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. (2006). Keys to soil taxonomy. Recuperado el 18 de Agosto de 2015, de http://soils.usda.gov/technical/classification/tax_keys/
- Vidal, J. (2003). Dinámica del potasio en el suelo y su requerimiento por los cultivos. Recuperado el 23 de Agosto de 2015, de https://www.ipni.net%2Fresearch%2Fmca.nsf%2F0%2F6a9653bb0916a89d85257be8008133d3%2F%24FILE%2FDinA1mica_del_potasio._Jose_Luis_Vidal.doc.

IX. ANEXOS

Anexo 1. Ubicación geográfica de Naubug

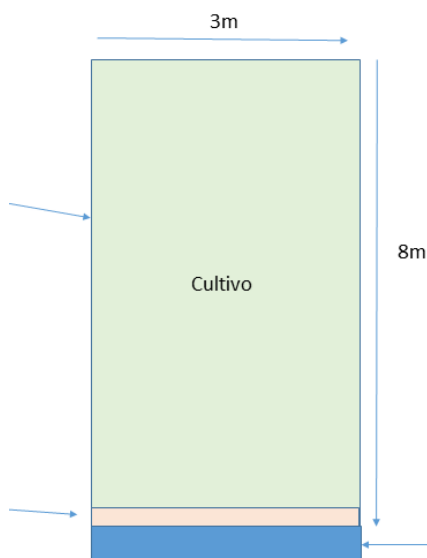


Fuente: (Gómez, 2014)

Anexo 2. Esquema de la parcela experimental de erosión

Placas de zinc de 90cm (45cm bajo el suelo, 45 cm encima del suelo), colocado en los 2 lados y en la parte superior.

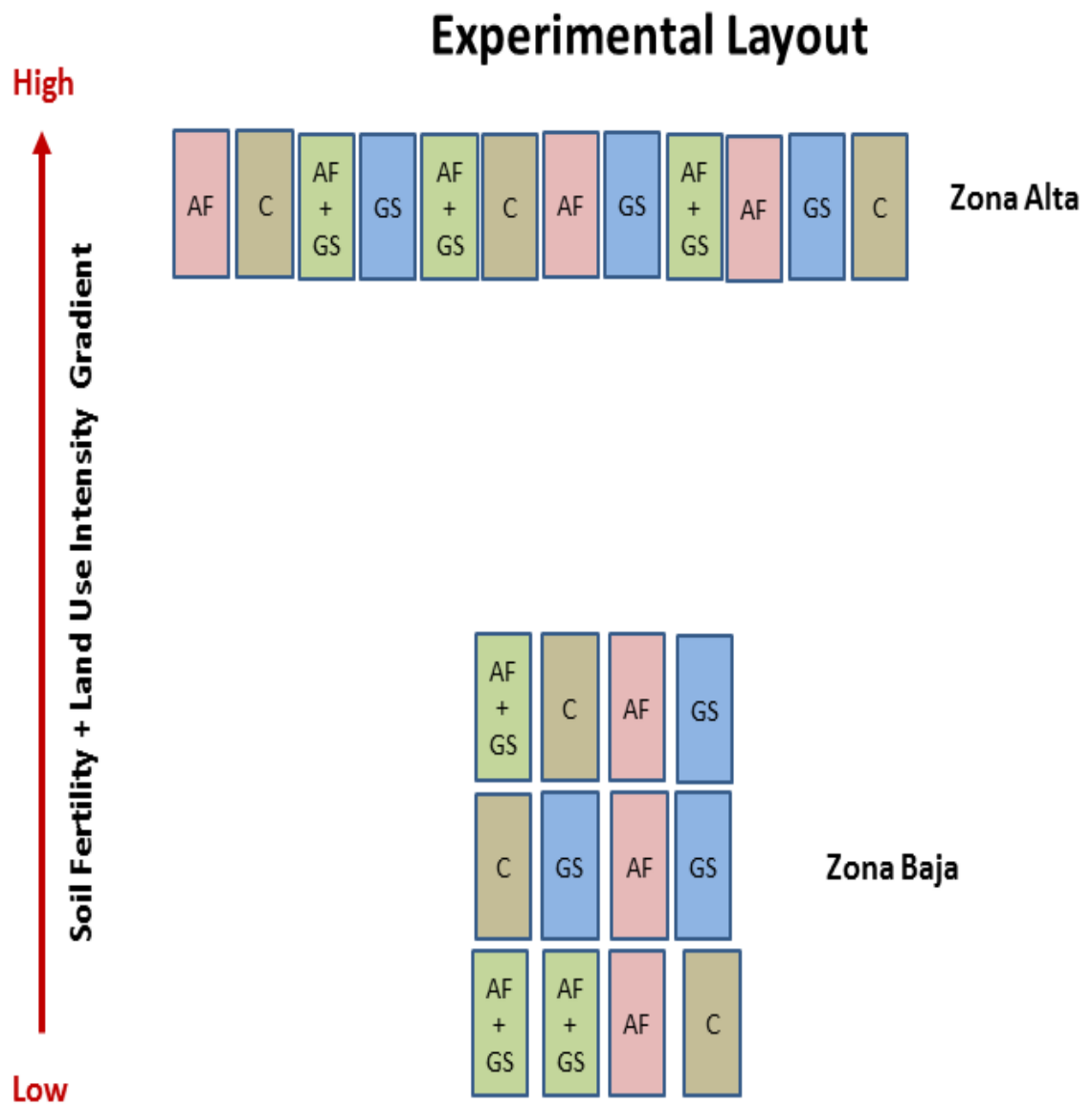
Tratamientos: Cercas vivas de pasto milin, aliso o pasto milin y aliso. O testigo, sin ninguna cerca viva. Ancho unos 50cm



Capturación de escorrentía y sedimentos. 70cm de profundidad. Esta lineado con plástico.

Elaborado por: (Caulfield, M. 2015).

Anexo 3. Distribución de las parcelas experimentales de erosión en el campo.



Elaborado por: (Caulfield, M. 2015).

Anexo 4. Características físicas de los suelos según sus usos en la zona alta

AGROECO- SISTEMA	USOS	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS					
		ARENA ¹ (%)	LIMO ¹ (%)	ARCILLA ¹ (%)	TEXTURA ²	D.A. ³ (g/cm3)	C.H. ⁴ (cm/min)
Zona Alta	Cebada	30	49	21	Franco	0,94	0,0117
		32	49	19	Franco	0,99	0,0112
		32	45	23	Franco	1	0,0092
		34	45	21	Franco	0,96	0,0639
		34	49	17	Franco	0,85	0,0101
	Quinoa	34	45	21	Franco	1,03	0,0151
		34	45	21	Franco	1,03	0,0155
		40	43	17	Franco	1,26	0,0094
		42	41	17	Franco	0,88	0,0105
		32	47	21	Franco	1,08	0,0042
	CV. Mixta	38	47	15	Franco	1,1	0,0066
		38	45	17	Franco	1,03	0,0093
		34	47	19	Franco	0,9	0,0105
		34	45	21	Franco	1,25	0,0079
		34	47	19	Franco	0,93	0,0108
	CV. Pasto	36	43	21	Franco	0,88	0,0166
		40	47	13	Franco	1,23	0,0063
		30	49	21	Franco	1,03	0,0124
		34	47	19	Franco	1,05	0,0092
		34	49	17	Franco	1,07	0,0107
	CV. Árboles	34	47	19	Franco	0,97	0,0109
		34	49	17	Franco	1,06	0,0071
		36	47	17	Franco	1,13	0,0115
		36	49	15	Franco	0,85	0,0139
		36	45	19	Franco	1,03	0,0084

Elaborado por: Vimos, M. (2016)

¹ Datos obtenidos en el laboratorio INIAP- Santa Catalina² En base al diagrama textural de la USDA³ Densidad aparente⁴ Conductividad hidráulica

Anexo 5. Características físicas de los suelos según sus usos en la zona media

AGROECO-SISTEMAS	USOS	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS					
		ARENA (%)	LIMO (%)	ARCILLA (%)	TEXTURA	D.A. (g/cm ³)	C.H. (cm/min)
Zona Media	Cebada	38	49	13	Franco	1,06	0,0156
		36	47	17	Franco	1	0,0079
		48	39	13	Franco	1,23	0,0133
		42	43	15	Franco	1,11	0,0147
		42	43	15	Franco	1,23	0,0329
	Quinua	42	43	15	Franco	1,16	0,0205
		42	35	23	Franco	0,99	0,0082
		40	43	17	Franco	1,09	0,0107
		44	41	15	Franco	1,15	0,0123
		36	47	17	Franco	1,07	0,0144
	Papa	40	41	19	Franco	1,04	0,0212
		42	45	13	Franco	1,05	0,0365
		40	43	17	Franco	1,14	0,0276
		40	41	19	Franco	1,16	0,0311
		38	43	19	Franco	1,11	0,0284
	CV. Árboles	38	41	21	Franco	0,93	0,0038
		38	45	17	Franco	1,1	0,0163
		34	51	15	Franco limoso	0,98	0,0111
		42	45	13	Franco	1,06	0,0082
		36	49	15	Franco	1,06	0,0096
	CV. Mixta	42	45	13	Franco	0,99	0,0117
		40	43	17	Franco	1,08	0,0069
		40	47	13	Franco	1,05	0,0077
		40	45	15	Franco	1,06	0,0311
		48	41	11	Franco	1,08	0,0221
	CV. Pasto	40	45	15	Franco	1,03	0,0077
		48	39	13	Franco	1,13	0,0096
		46	39	15	Franco	1,22	0,0094
		39	47	14	Franco	1,05	0,0091

		39	45	16	Franco	1,04	0,011
	Bosque	33	49	18	Franco	1,05	0,0027
		39	45	16	Franco	1,07	0,0158
		39	47	14	Franco	1	0,0112
		35	57	8	Franco limoso	1,1	0,0325
		47	47	6	Franco arenoso	1,02	0,037
	Abandonado	37	47	16	Franco	1,3	0,0233
		43	47	10	Franco	1,12	0,0441
		39	51	10	Franco limoso	1,15	0,0092
		37	49	14	Franco	1,18	0,007
		41	47	12	Franco	1,3	0,0201

Anexo 6. Características físicas de los suelos según sus usos en la zona baja

AGROECO- SISTEMAS	USOS	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS					
		ARENA (%)	LIMO (%)	ARCILLA (%)	TEXTURA	D.A. (g/cm ³)	C.H. (cm/min)
Zona Baja	Cebada	48	41	11	Franco	1,15	0,0299
		48	41	11	Franco	1,18	0,0212
		50	39	11	Franco	1,25	0,0348
		42	51	7	Franco limoso	1,02	0,0085
		50	39	11	Franco	1,17	0,0276
	Maíz	50	41	9	Franco	1,26	0,0277
		50	41	9	Franco	1,27	0,0374
		50	43	7	Franco	1,25	0,0482
		60	35	5	Franco arenoso	1,29	0,0607
		60	35	5	Franco arenoso	1,21	0,0899
	CV. Mixta	47	45	8	Franco	1,29	0,0188
		45	49	6	Franco arenoso	1,24	0,0638
		75	21	4	Arenoso franco	1,07	0,0381
		43	49	8	Franco	1,17	0,0256
		45	45	10	Franco	1,24	0,0323
	Bosque	39	53	8	Franco limoso	1,11	0,0061
		39	49	12	Franco	1,12	0,0115
		63	33	4	Franco arenoso	1,28	0,0294
		45	47	8	Franco	1,23	0,0101
		37	51	12	Franco limoso	1,28	0,0270
	Abandonado	47	45	8	Franco	1,21	0,0305
		49	43	8	Franco	1,2	0,0282
		45	47	8	Franco	1,23	0,0485
		43	49	8	Franco	1,17	0,0226
		65	31	4	Franco arenoso	1,2	0,0863

Anexo 7. Características químicas de los suelos según sus usos en la zona alta

AGROECO-SISTEMAS	USOS	N	P	K	Ca	Mg	N. Total	MO	pH
		ppm		meq/100ml			%		
Zona Alta	Cebada	55	25	0,33	26,34	5,29	0,21	5,1	6,92
		50	19	0,10	27,81	4,69	0,25	6,5	6,29
		7,9	8,6	0,08	27,15	5,79	0,21	6,1	6,7
		26	73	0,15	27,33	5,25	0,23	7,2	6,88
		94	40	0,07	31,29	4,05	0,33	8,9	5,88
	Quinoa	48	33	0,63	26,49	6,39	0,13	3,7	7,48
		68	15	0,19	29,22	5,75	0,19	6,1	6,61
		68	41	0,39	32,25	4,45	0,18	3,9	7,08
		70	14	0,06	36,63	3,70	0,29	7,8	6,36
		64	19	0,58	27,21	6,40	0,12	4,4	7,31
	CV. Mixta	28	61	1,83	30,54	5,13	0,16	3,5	7,78
		74	98	2,10	25,74	5,68	0,16	3,7	7,41
		118	62	1,27	27,00	5,29	0,16	4,8	7,24
		61	11	0,81	21,03	6,78	0,10	3,1	7,21
		88	63	2,19	35,76	5,77	0,16	5,1	7,5
	CV. Pasto	27	93	1,95	36,03	5,65	0,17	4	7,12
		74	37	0,73	20,43	4,94	0,13	2,3	6,97
		45	62	1,53	33,99	5,57	0,13	3,2	7,02
		121	55	0,42	26,28	4,62	0,16	3,9	6,9
		100	65	2,37	36,09	5,82	0,12	2,8	7,66
	CV. Árboles	82	14	0,51	25,11	6,01	0,16	5,1	7
		104	89	1,44	28,41	3,54	0,29	6,3	6,86
		108	62	1,65	25,17	5,83	0,12	4	7,34
		91	90	2,64	22,08	5,56	0,17	4,4	7,32
		89	43	1,26	29,01	5,20	0,17	4,7	7,87

Anexo 8. Características químicas de los suelos según sus usos en la zona media

AGROECO-SISTEMAS	USOS	N	P	K	Ca	Mg	N. Total	MO	pH
		ppm		meq/100ml			%		
Zona Media	Cebada	32	17	0,57	31,41	4,66	0,11	4,9	8,07
		28	32	0,52	27,93	4,99	0,18	4,5	7,46
		21	45	1,25	25,86	5,14	0,11	1,7	8,8
		13	35	0,85	27,54	5,60	0,07	2,2	8,52
		91	12	0,41	27,15	5,15	0,06	2,7	7,72
	Quinoa	55	23	0,58	30,12	4,62	0,09	3,5	8
		57	96	1,89	32,28	4,93	0,17	3,7	7,52
		94	31	0,40	27,27	5,55	0,21	4,8	7,04
		57	13	0,21	23,91	4,89	0,12	2,2	7,77
		41	17	0,67	31,44	4,59	0,19	3,4	7,98
	Papa	55	58	1,65	30,33	6,03	0,17	4,5	7,51
		60	27	0,72	28,98	5,45	0,13	4,6	7,29
		90	18	0,37	29,04	5,62	0,15	5,1	7,23
		85	31	0,70	25,05	5,45	0,14	3,7	6,97
		13	24	0,50	28,44	5,09	0,15	3,9	7,46
	CV. Árboles	60	67	2,10	29,13	4,91	0,26	5,9	6,88
		83	20	0,81	27,12	5,10	0,18	8,5	6,93
		103	15	0,77	27,24	5,93	0,09	5,5	7,02
		58	61	1,50	23,97	5,84	0,17	2,5	7,9
		78	25	1,10	28,56	5,09	0,17	3,6	7,72
	CV. Mixta	41	74	1,95	22,92	5,68	0,13	2,8	8,19
		89	19	0,95	24,33	5,94	0,14	4,3	7,43
		87	39	1,02	22,86	5,73	0,11	3,4	7,86
		81	42	1,13	28,68	5,36	0,13	4	8,19
		100	47	1,29	29,16	4,86	0,08	3,2	7,81
	CV. Pasto	36	63	1,86	19,68	4,75	0,10	2,6	7,67
		111	26	0,64	26,76	5,04	0,12	3,7	7,41
		127	117	0,74	28,29	4,82	0,12	3,7	7,55
		66	44	0,99	27,24	5,27	0,13	3,2	7,97
		74	187	1,77	27,27	4,79	0,16	4,8	7,45
Bosque	60	11	0,70	21,81	6,11	0,10	3,2	7,45	

		90	10	0,81	28,41	6,33	0,10	3	8,19
		47	22	1,23	22,77	6,92	0,09	2	7,76
		18	21	1,19	25,50	6,43	0,06	1,6	8,45
		13	14	0,78	28,59	5,28	0,04	0,7	8,43
	Abandonado	71	10	0,61	28,11	5,35	0,10	4,1	7,61
		74	9,1	0,33	23,43	4,15	0,07	2,1	7,67
		14	4,2	1,24	34,98	4,62	0,07	2,1	8,96
		102	10	0,76	29,73	5,49	0,08	2,2	8,57
		93	14	0,35	26,07	4,20	0,10	3,1	7,36

Anexo 9. Características químicas de los suelos según sus usos en la zona baja

AGROECO-SISTEMAS	USOS	N	P	K	Ca	Mg	N. Total	MO	pH
		ppm		meq/100ml			%		
Zona Baja	Cebada	43	10	0,46	23,22	3,89	0,07	1,9	8,46
		55	8,7	0,35	17,55	3,19	0,04	1,1	7,72
		37	4,2	0,23	15,03	2,77	0,02	1,1	7,83
		87	5,4	1,08	29,43	4,57	0,02	0,9	9,06
		78	14	0,31	22,74	3,85	0,03	2,3	7,51
	Maíz	56	25	0,42	30,23	3,35	0,04	1,0	7,92
		100	13	0,52	20,76	3,13	0,03	0,8	8,24
		104	8,7	0,35	11,87	1,98	0,02	0,6	7,81
		16	7,3	0,57	13,28	2,10	0,02	0,4	8,78
		23	5,4	0,34	10,74	2,28	0,02	0,6	8,23
	CV. Mixta	125	15	0,76	18,36	2,68	0,07	1,6	7,88
		46	24	2,49	31,50	3,40	0,09	2	8,89
		60	9,7	0,82	15,06	2,26	0,06	1,2	8,45
		135	16	1,65	31,02	2,79	0,09	1,7	8,57
		36	13	1,00	16,68	3,38	0,07	2,8	7,74
	Bosque	24	11	1,27	31,77	5,31	0,09	1,4	8,77
		24	12	0,63	29,85	4,66	0,08	1,8	8,01
		42	13	0,40	12,40	2,61	0,05	1	7,55
		32	10	0,67	12,65	3,98	0,07	1,3	7,88
		45	25	0,92	38,34	7,20	0,09	2,5	7,81
	Abandonado	29	8,7	0,54	30,60	3,87	0,06	1,2	8,88
		13	10	0,96	32,70	5,25	0,05	1,3	8,93
		35	11	0,44	20,10	3,57	0,06	1,3	7,68
		28	15	0,67	38,34	3,08	0,07	1,8	9,03
		37	20	0,52	13,22	1,76	0,05	0,6	8,82

Anexo 10. Datos de pérdida de suelo en la zona alta de la comunidad de Naubug

Fecha	Repetición 1				Repetición 2				Repetición 3			
	T3 ⁵	T1 ⁶	T4 ⁷	T2 ⁸	T4	T1	T3	T2	T4	T3	T2	T1
	Suelo seco (g)	Suelo seco (g)	Suelo seco (g)	Suelo seco (g)	Suelo seco (g)	Suelo seco (g)	Suelo seco (g)	Suelo seco (g)	Suelo seco (g)	Suelo seco (g)	Suelo seco (g)	Suelo seco (g)
22/01/2015	19	18	15	12	14	15	16	10	22	18	20	23
27/01/2015	50	40	20	10	20	40	20	20	20	30	20	30
04/02/2015	20	30	30	20	10	10	10	10	10	20	10	20
08/02/2015	20	20	20	10	20	20	30	20	30	20	20	20
02/03/2015	58	27	6	20	19	11	35	8	24	17	16	11
03/03/2015	20	18	16	18	15	15	15	10	30	10	5	14
13/03/2015	-	-	21	17	-	-	26	-	-	-	-	-
19/03/2015	90	67	47	35	57	55	61	28	36	41	16	48
26/03/2015	38	53	31	20	25	25	46	10	30	43	5	22
29/03/2015	30	37	17	6	9	20	14	6	18	11	4	15
16/04/2015	46	50	31	13	18	37	24	9	14	12	6	26
21/04/2015	33	37	13	2	13	14	7	3	8	6	3	15
27/04/2015	22	18	31	40	16	17		15	26	5	10	9
04/05/2015	15	56	20	5	13	32	8	8	6	5	8	20
11/06/2015	52	10	8	5	18	9	8	7	5	4	9	8
24/07/2015	23	19	10	9	12	11	6	5	6	5	7	41
01/10/2015	167	180	68	69	42	47	106	121	102	65	12	105
03/10/2015	54	120	53	78	35	83	97	69	71	44	16	87
15/10/2015	38	91	48	37	14	37	92	37	61	35	6	4
16/10/2015	16	27	17	9	10	18	15	17	14	9	9	22
06/11/2015	13	32	19	28	0,008	17	86	32	21	104	79	96
08/11/2015	9	38	14	6	0,009	28	42	14	11	25	56	98
25/11/2015	5	7	5	5	0,004	5	14	6	5	9	18	23
29/11/2015	129	261	109	82	0,058	276	187	59	54	268	71	245
07/01/2016	154	222	82	63	0,041	258	116	42	64	112	82	114
26/01/2016	12	149	64	32	43	98	96	37	22	61	23	73

⁵ Cultivado + cerca viva de aliso⁶ Cultivado sin cerca viva⁷ Cultivado + cerca viva mixta⁸ Cultivado + cerca viva de pasto milin

Anexo 11. Datos de pérdida de suelo en la zona baja de la comunidad de Naubug

Fecha	Repetición 1				Repetición 2				Repetición 3			
	T4	T1	T3	T2	T1	T2	T3	T4	T2	T4	T1	T3
	Suelo seco (g)	Suelo seco (g)	Suelo seco (g)	Suelo seco (g)	Suelo seco (g)	Suelo seco (g)	Suelo seco (g)	Suelo seco (g)	Suelo seco (g)	Suelo seco (g)	Suelo seco (g)	Suelo seco (g)
22/01/2015	60	30	40	40	50	40	40	60	20	21	14	28
27/01/2015	30	60	60	20	30	40	40	60	40	50	30	50
08/02/2015	10	20	20	20	20	20	30	20	20	20	20	20
02/03/2015	19	17	15	19	16	4	25	22	26	16	7	10
03/03/2015	42	44	37	36	48	57	51	32	46	42	59	10
13/03/2015	12	30	28	18	32	7	16	24	14	25	32	9
19/03/2015	13	44	28	10	20	23	30	21	28	28	66	58
26/03/2015	15	36	25	16	28	14	26	17	18	15	27	39
29/03/2015	44	11	76	34	100	37	87	64	49	54	91	110
16/04/2015	14	28	17	8	36	11	45	15	16	24	104	36
21/04/2015	10	37	25	15	46	14	50	21	22	23	54	41
27/04/2015	72	34	27	21	55	-	43	17	32	51	65	63
04/05/2015	21	94	73	25	128	63	80	56	62	40	94	132
11/06/2015	7	23	10	17	48	113	48	20	12	16	29	25
24/07/2015	23	28	12	20	81	102	85	63	73	56	111	10
01/10/2015	73	230	137	155	234	156	186	117	109	230	108	200
03/10/2015	109	301	67	106	329	161	192	137	140	207	185	195
15/10/2015	17	35	13	15	46	44	52	41	16	25	71	33
16/10/2015	45	171	16	43	132	85	155	141	77	103	135	127
06/11/2015	141	509	87	85	421	78	187	127	113	141	341	239
08/11/2015	11	58	6	6	69	19	35	24	19	37	27	41
29/11/2015	39	249	23	27	235	38	176	69	59	113	224	193
07/01/2016	5	88	88	35	204	26	95	98	29	82	205	83
26/01/2016	14	83	42	12	158	49	36	65	24	72	173	79

Anexo 12. Precipitación anual en la comunidad de Naubug

ANNUAL CLIMATOLOGICAL SUMMARY

NAME: Naubug CITY: STATE:
 ELEV: 3450 m LAT: 1° 30' 00" S LONG: 78° 24' 00" W

PRECIPITATION (mm)								
YR	MO	TOTAL	DEP. FROM NORM	MAX OBS. DAY	DATE	DAYS OF RAIN OVER		
						.2	2	20
15	1	0.2	0.0	0.2	19	1	0	0
15	2							
15	3	52.9	0.0	9.2	25	28	7	0
15	4	48.0	0.0	8.0	15	24	8	0
15	5	36.6	0.0	6.2	3	18	7	0
15	6	27.4	0.0	8.0	10	19	4	0
15	7	46.6	0.0	14.6	22	24	7	0
15	8	0.8	0.0	0.8	30	1	0	0
15	9	5.0	0.0	2.0	1	6	1	0
15	10	58.0	0.0	16.4	15	17	6	0
15	11	65.7	0.0	21.0	28	21	7	1
15	12	16.3	0.0	5.4	15	14	4	0
		357.4	0.0	21.0	NOV	173	51	1

Anexo 13. Presupuesto

RUBRO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
DETERMINACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO			
Mapeo comunitario	1	120	120
Imágenes satelitales Naubug	1	350	350
MATERIALES			
GPS	1	300	300
Cámara digital	1	200	200
Portapapeles	2	5	10
Hojas de campo	450	0,09	40,5
Esferos	4	0,3	1,2
Cinta métrica (50m)	1	40	40
Banderines	18	0,4	7,2
Clinómetro	1	150	150
Balanza digital	1	195	195
Infiltrómetro	2	250	500
Botella de agua	1	0,5	0,5
Cronómetro	2	10	20
Regla (30cm)	2	0,5	1
Pala	1	15	15
Anillos metálicos	2	25	50
Martillo	1	15	15
Bloque de madera	1	0,5	0,5
Cuchillo	1	6	6
Bolsas plásticas	500	0,04	20
Marcadores	2	1	2
Mochila	1	18	18
Zinc	132	20,46	2700,72
Estacas	336	0,36	120,96
Plástico	1	120	120
Valde	1	4	4
Secadora de suelo	1	250	250
Análisis de laboratorio	91	37,64	3425,24
TOTAL			8682,82

Elaborado por: Vimos, M. (2015).

Anexo 14. Toma de muestra para la densidad aparente**Anexo 15.** Toma de datos para la conductividad hidráulica

Anexo 16. Uso de suelo agrícola**Anexo 17.** Uso no agrícola (Bosque de pino)

Anexo 18. Uso no agrícola (Abandonado)



Anexo 19. Parcelas experimentales de erosión



