

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

ESCUELA DE POSGRADO

DOCTORADO EN CIENCIA ANIMAL



**“INFLUENCIA DE LAS PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN
DE SUELOS Y MEJORA DE LA FUNCIÓN HIDROLÓGICA
DE PRADERAS NATURALES ALTOANDINAS”**

Presentada por:

LUIS LIZARDO OSCANO GAMARRA

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE *DOCTORIS PHILOSOPHIAE*
EN CIENCIA ANIMAL**

Lima - Perú

2016

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN CIENCIA ANIMAL**

**“INFLUENCIA DE LAS PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN
DE SUELOS Y MEJORA DE LA FUNCIÓN HIDROLÓGICA
DE PRADERAS NATURALES ALTOANDINAS”**

TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE

***Doctoris Philosophiae* (Ph. D.)**

Presentada por:

LUIS LIZARDO OSCANOA GAMARRA

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Dr. Néstor Montalvo Arquíñigo
PRESIDENTE

Ph. D. Enrique Flores Mariazza
PATROCINADOR

Ph. D. Lucrecia Aguirre Terrazas
MIEMBRO

Ph. D. Javier Ñaupari Vásquez
MIEMBRO

Ph. D. Bert De Bièvre
MIEMBRO EXTERNO

DEDICATORIA

Esta investigación doctoral, a mi guía, compañera y esposa por su paciente enseñanza, comprensión y apoyo intelectual; y a mis hijas por la inspiración y fuerzas motoras que me suministraron día-día energía para el arduo camino de investigador.

Con mucho cariño y amor:

Cecilia

Ana Cecilia, Claudia, Vanessa

A la memoria de mis padres:

Hipólito y Gregoria

AGRADECIMIENTOS

- ❖ Al Ph.D. Enrique Flores Mariazza, patrocinador de la presente tesis, por su apoyo, orientación y consejos para la realización del presente trabajo de investigación doctoral y sobre todo por la confianza profesional.
- ❖ Al Dr. Néstor Montalvo, a mis profesores y a mi alma mater, Universidad Nacional Agraria La Molina, nicho de identidad y fortalecimiento científico para enfrentar los problemas geoespaciales y culturas de montañas.
- ❖ Al Dr. Jorge Recharte, director del Instituto Montaña -IM, guía y amigo, por sus valiosos consejos y apoyo profesional; y a mis amigos del IM con quienes compartí momentos inolvidables de trabajo en equipo, confianza y aprendizaje colectivo.
- ❖ Mi gratitud eterna a Juan Sánchez, amigo e incansable investigador, con quién trabaje mano a mano retos innovativos sobre mejora de praderas naturales, cultivos andinos y crianza de alpacas (llamas). A Donato Sánchez, Doris Chávez, Pablo Dourojeanni, Raúl Tacuna, Bill Yalli, Juancarlos Cruz y Ph.D. Javier Ñaupari por los momentos de estudio de campo y análisis de laboratorio.
- ❖ A los socios del comité de investigación “allí pastu” de la comunidad campesina Canrey Chico, especialmente a los señores Alejandro Cruz, Feliciano Cruz, Simona Cruz, Clemente, Ricardo y Luis con quienes compartimos retos de largo aliento para la mejora de las quebradas pobres.
- ❖ A The MckNight Foundation - The Collaborative Crop Research Program por la beca otorgada para la instalación de los campos experimentales y eventos de aprendizaje colectivo del año 2010.
- ❖ Al Ph.D. Jean-Francois Tourrand del CIRAD (Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement, Montpellier-Francia), incansable gestor de recursos para el inicio (2009) y culminación de la presente investigación doctoral (2011-2013), materiales bibliográficos, cursos del idioma francés y oportunidades de desarrollo científico en Francia; de la misma forma al Dr. Nicolas Marveille por el contacto eficaz de apoyo institucional, técnico y confianza académica.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 LA HIDROLOGÍA DEL ECOSISTEMA PASTIZAL.	4
2.1.1 Condición del pastizal.	4
2.1.2 Factores hidrológicos del pastizal.	4
A. Biomasa.	
B. Mantillo.	
C. Temperatura del suelo.	
D. Humedad .del suelo.	
E. Tasa de infiltración.	
F. Erosión del suelo.	
2.2 MODELAMIENTO ECOHIDROLÓGICO DEL PASTIZAL	8
2.2.1 Fundamentos del modelamiento.	9
2.2.2 Modelos integrados.	10
2.2.3 Clasificación de modelos.	11
2.2.4 Unidad de modelamiento	12
2.2.5 Caracterización Ecohidrológica de Cuencas.	12
2.3 SIMULACIÓN HIDROLÓGICA DE CUENCAS.	13
2.3.1 Patrones de Utilización de Recursos.	13
2.3.2 Modelos de Simulación.	14
2.3.3 El Modelo HEC-HMS.	17
A. Modelo conceptual.	
B. Componentes de simulación.	
C. Simulación integrada.	
III. MATERIALES Y MÉTODOS	21
3.1 HIDROLOGIA DEL PASTIZAL ALTOANDINO.	21
3.1.1 Ámbito de Estudio.	21
A. Límite de la subcuenca Urpay.	
B. Distribución de las parcelas experimentales.	
C. Software.	
3.1.2 Parámetros Hídricos del Pastizal.	23
A. Condición del pastizal.	
B. Producción del mantillo.	

	Pág.
C. Producción de biomasa.	
D. Temperatura del suelo.	
E. Tasa infiltración.	
F. Humedad del suelo.	
G. Grado de erosión del suelo.	
3.1.3 Análisis Estadístico.	27
A. Población, tamaño de muestra y recolección de datos.	
B. Definición y descripción de las variables.	
C. Materiales e instrumentos utilizados.	
D. Métodos y procedimientos utilizados.	
3.2 MODELAMIENTO ECOHIDROLÓGICO DEL PASTIZAL.	31
3.2.1 Delimitación de Sitios Ecohidrológicos.	31
3.2.2 Caracterización Ecohidrológica de la Subcuenca.	32
A. Vulnerabilidad biofísica de la subcuenca.	
B. Estado de conservación de la subcuenca.	
C. Función hidrológica del pastizal.	
D. Nivel de retención de agua por el suelo.	
3.2.3 Modelación Ecohidrológica de la Subcuenca.	41
3.3 SIMULACIÓN DE MEJORA HÍDRICA DEL PASTIZAL.	42
3.3.1 Unidad de Simulación.	42
3.3.2 Pasos Metodológicos de Simulación Hídrica.	42
A. Componentes del HEC-HMS.	
B. Modelación del Escurrimiento.	
C. Datos pluviométricos.	
D. Datos hidrométricos.	
3.3.3 Hidrograma Unitario.	45
A. Modelo curva número.	
B. Caracterización hidrológica de suelos.	
C. Cálculo de abstracción inicial o umbral de escorrentía.	
D. Proceso de simulación con HEC-HMS.	
3.3.4 Descripción de Análisis Estadístico.	49
A. Tipo de investigación.	
B. Población, tamaño de muestra y recolección de datos.	
C. Definición y descripción de las variables	
D. Materiales e instrumentos utilizados.	
E. Métodos y Procedimientos utilizados.	

	Pág.
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	54
4.1 PATRONES ECOHIDROLOGICOS DEL PASTIZAL.	54
4.1.1 Eventos de Precipitación.	54
4.1.2 Condición del Pastizal.	55
4.1.3 Parámetros Hidrológicos del Pastizal.	56
A. Taxonomía vegetal.	
B. Característica fisionómica del pastizal.	
C. Función hidrológica del pasto.	
D. Producción de biomasa aérea.	
E. Producción del mantillo.	
F. La temperatura del suelo	
G. Grado de humedad del suelo.	
H. Infiltración del agua en el suelo.	
I. La erosión del suelo.	
4.2 MODELO ECOHIDROLOGICO DEL PASTIZAL.	74
4.2.1 Submodelos de la Subcuenca Urpay.	74
A. Grado de vulnerabilidad biofísica.	
B. Estado de conservación de la subcuenca.	
C. Función hidrológica del pastizal.	
D. Estabilidad hídrica de los suelos.	
4.2.2 Modelo Ecohidrológico de la subcuenca de la subcuenca Urpay.	82
4.3 RENDIMIENTO HÍDRICO DE LA SUBCUENCA URPAY.	84
4.3.1 Parámetros morfométricos de simulación.	84
4.3.2 Simulación del rendimiento hídrico de la subcuenca.	85
A. La unidad de simulación en HEC-HMS.	
B. Eventos de precipitación.	
C. Escorrentía superficial.	
D. Hietograma e hidrograma	
E. Rendimiento de descarga hídrica mensual de la subcuenca.	
4.3.3 Efecto de mejora de suelos sobre el rendimiento hídrico.	92
V. CONCLUSIONES.	95
VI. RECOMENDACIONES.	97
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.	98
VIII. ANEXOS.	107

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1: Valoración de variables temáticas de vulnerabilidad.	33
Cuadro 2: Valoración de variables temáticas de conservación del recurso natural.	36
Cuadro 3: Valoración de variables temáticas de la función hidrológica del past.	38
Cuadro 4: Valoración de variables temáticas en la retención de agua por el suelo.	40
Cuadro 5: Tabla de contingencia 4 x4 tabuladas por época y técnicas.	52
Cuadro 6: Precipitación mensual de la subcuenca Urpay.	54
Cuadro 7: Condición del pastizal de las parcelas experimentales “Sillacancha”.	56
Cuadro 8: Composición florística de las parcelas experimentales.	57
Cuadro 9: Estadísticos descriptivos del rinde de biomasa aérea.	59
Cuadro 10: Estadísticos descriptivos del rinde del mantillo del pastizal.	62
Cuadro 11: Estadísticos descriptivos de temperatura del suelo (°C).	64
Cuadro 12: Estadísticos descriptivos de la humedad del suelo (%).	66
Cuadro 13: Estadísticos descriptivos de la infiltración del suelo (cm/min).	69
Cuadro 14: Estadísticos descriptivos de la erosión del suelo (TM/Ha).	72
Cuadro 15: Vulnerabilidad biofísica de la subcuenca Urpay.	75
Cuadro 16: Conservación biofísica de la microcuenca Urpay.	77
Cuadro 17. Función hidrológica del pastizal.	79
Cuadro 18: Capacidad de retención hídrica de los suelos de Urpay.	81
Cuadro 19: Estado ecohidrológico de la subcuenca Urpay.	83
Cuadro 20: Parámetros morfométricos de la subcuenca.	85
Cuadro 21: Parámetros básicos hídricos requeridos por HEC-HMS	87
Cuadro 22: Resumen general de escorrentía superficial de la subcuenca Urpay.	88
Cuadro 23: Estadísticos descriptivos del rinde de descarga hídrica.	92

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Límite de la subcuenca Urpay.	22
Figura 2: Ubicación de las parcelas experimentales de “Sillacancha”.	23
Figura 3: Mapa de sitios de la subcuenca Urpay.	32
Figura 4: Mapa de ubicación de los pluviómetros de la subcuenca Urpay.	44
Figura 5: Curva de precipitación de la subcuenca Urpay.	55
Figura 6: Medias marginales estimadas de biomasa aérea (KgMS/Ha).	61
Figura 7: Medias marginales estimadas del mantillo (KgMS/Ha).	63
Figura 8: Medias marginales estimadas de la temperatura del suelo (°C).	65
Figura 9: Medias marginales estimadas de la humedad del suelo (%).	67
Figura 10: Medias marginales estimadas de la infiltración del suelo (cm/min).	70
Figura 11: Medias marginales estimadas de la erosión del suelo (TM/Ha).	73
Figura 12: Grado de vulnerabilidad de la subcuenca Urpay.	76
Figura 13: Estado de conservación de la subcuenca.	77
Figura 14: Función hidrológica del pastizal de la subcuenca Urpay.	80
Figura 15: Nivel de retención de agua en la subcuenca Urpay.	82
Figura 16: Modelo ecohidrológico de la subcuenca Urpay.	84
Figura 17: Ubicación de puntos de interés en HEC-HMS.	86
Figura 18: Hietograma/hidrograma de la subcuenca Urpay con prácticas de ...	90
Figura 19: Descarga hídrica simulada con técnicas de mejora del suelo.	91
Figura 20: Medias marginales de la descarga hídrica de la subcuenca Urpay.	93

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1: DESEABILIDAD DE ESPECIES VEGETALES CLAVES DE ANIMALES ...	108
ANEXO 2: VIGOR DE ESPECIES VEGETALES CLAVES PARA ANIMALES AL PAST.	109
ANEXO 3: CARGA ÓPTIMA POR ESPECIE ANIMAL EN PASTOREO EXCLUYENTE.	109
ANEXO 4: MARCO CONCEPTUAL DEL ANÁLISIS ECOHIDROLÓGICO DE CUENCAS.	111
ANEXO 5: MAPAS TEMÁTICOS DE LA SUBCUENCA URPAY.	112
A. Fisiología vegetal.	
B. Pendiente.	
C. Precipitación.	
D. Condición del pastizal.	
E. Prácticas de conservación.	
F. Modalidad de uso.	
G. Biomasa.	
H. Humedad del suelo.	
I. Mantillo.	
J. Temperatura del suelo.	
K. Textura del suelo.	
L. Infiltración.	
M. Erosión del suelo.	
ANEXO 6: DESCARGA PROMEDIO DIA (lt/s) DEL VERTEDERO POCCO.	113
ANEXO 7: TABLA CURVA NUMERO PARA TIERRAS DE CULTIVO Y PASTOS NAT.	114
ANEXO 8: PRECIPITACION MENSUAL DE LA MICROCUENCA MATOC Y POCCO.	117
ANEXO 9: CONDICION DEL PASTIZAL DE LAS PARCELAS EXPERIMENTALES.	117
ANEXO 10: PARÁMETROS HIDRICOS DE LA PARCELA CON SURCOS.	118
ANEXO 11: PARÁMETROS HIDRICOS DE LA PARCELA CON HOYOS.	119
ANEXO 12: PARÁMETROS HIDRICOS DE LA PARCELA CONTROL.	120
ANEXO 13: PARÁMETRO INFILTRACIÓN DE AGUA EN EL SUELO.	121
ANEXO 14: PARÁMETRO EROSION DEL SUELO.	122
ANEXO 15: ANVA DCA FACTORIAL DEL RINDE BIOMASA AEREA.	123
ANEXO 16: ANVA DCA FACTORIAL DEL RINDE DEL MANTILLO.	125
ANEXO 17: ANVA DCA FACTORIAL DE LA TEMPERATURA DEL SUELO.	127
ANEXO 18: ANVA DCA FACTORIAL DE LA HUMEDAD DEL SUELO.	129
ANEXO 19: ANVA DCA FACTORIAL DE INFILTRACION DEL SUELO.	131
ANEXO 20: ANVA DCA FACTORIAL DE LA EROSIÓN DEL SUELO.	133
ANEXO 21: CONDICIÓN DE LOS SITIOS DE LA SUBCUENCA URPAY.	135
ANEXO 22: PARAMETROS BASE REQUERIDOS POR EL HEC-HMS.	136
ANEXO 23: PRECIPITACION DIARIA DEL PLUVIOMETRO POCCO I.	137
ANEXO 24: DESCARGA HIDRICA DE LA SUBCUENCA URPAY.	138
ANEXO 25. EXPERIMENTO FACTORIAL CON DOS FACTORES EN DCA.	140
ANEXO 26. GALERIA FOTOGRÁFICA DEL MONITOREO EXPERIMENTAL PARTIC.	142

INFLUENCIA DE LAS PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN DE SUELOS Y MEJORA DE LA FUNCIÓN HIDROLÓGICA DE PRADERAS NATURALES ALTOANDINAS.

RESUMEN

En contextos donde los problemas del cambio climático, deterioro del pastizal nativo y escasez del agua van en aumento, se investigó el efecto de las prácticas de conservación de suelos - PC (hoyos, surcos y revegetación) sobre los parámetros de la función hidrológica del pastizal – PFH (biomasa, mantillo, temperatura, infiltración y humedad), erosión del suelo, caracterización ecohidrológica y el comportamiento hídrico de las parcelas experimentales de la subcuenca Urpay. Se aplicó el sistema de información geográfica, percepción remota, y el enfoque edafoagrostológico en el modelamiento ecohidrológico de la subcuenca, y con el programa HEC-HMS se simuló el comportamiento hídrico estacional de la subcuenca (plena seca, inicio lluvias, plena lluvia y fin lluvias) durante el año 2011-2013. La humedad del suelo mostró diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$) para el factor técnica, época e interacción época por PC; en tanto que la biomasa e infiltración del suelo solo se manifestó en la interacción de factores. Todos los valores medios fueron a favor de los surcos en lo que respecta a biomasa aérea (1755 kg ms/ha), mantillo (402 kg ms/ha), temperatura (11°C), infiltración (0.120 cm/min) y humedad del suelo (20.8 %) en comparación a los hoyos y el testigo; en tanto que la erosión del suelo fue mejor controlado por los surcos que los hoyos y el testigo (36, 45 y 58 ton/ha/2años respectivamente). El modelo ecohidrológico de la subcuenca (2449 has) encontró zonas de condición pobre (34%), regular (28%), aceptable (19%) y crítica (18%). La simulación del rendimiento hídrico con PC se realizó en zonas de condición edohidrológica alto, y aunque estas no manifiestan diferencias estadísticas significativas, sí muestran diferencias (95% confianza) por épocas del año. En general los resultados de menor descarga de las zonas revegetadas, al final de lluvias, sugieren mejora en la capacidad de retención de agua por el suelo de la subcuenca Urpay.

Key Words: Pastizal, prácticas conservación, hidrología, subcuenca.

INFLUENCE OF SOIL CONSERVATION PRACTICES AND IMPROVEMENT OF WATER FUNCTION ON HIGH ANDEAN RANGELANDS.

ABSTRACT

Under the context of increasing climate change effects, native rangeland degradation and water scarcity, research focused on the effect of soil conservation practices – PC (pits, furrows and revegetation) on the parameters of the rangeland water function – PFH (biomass, litter, temperature, infiltration, humidity), soil erosion, eco-hydrological characterization and water function of experimental plots in Urpay subwatershed. Geographic information systems, remote sensing and edaphic-agrostological approach were applied in the eco-hydrological modeling of the subwatershed and the program HEC-HMS was used for simulating its seasonal water function (dry season and beginning, middle and end of wet season) from 2011 to 2013. Soil humidity showed statistical significance ($P < 0.05$) for factors: technique, season, and season – PC interaction; while biomass and soil infiltration only showed differences in factors interaction. All mean values were more favorable for furrows referring aboveground biomass (1755 kg ms/ha), litter (402 kg ms/ha), temperature (11°C), infiltration (0.120 cm/min) and soil humidity (20.8 %) than for pits or control. Soil erosion was better controlled by furrows than pits and control (36, 45 y 58 tm/ha/2 years respectively). The subwatershed (2449 Has) eco-hydrological model found plots with poor (34%), regular (28%), acceptable (19%) and critical (18%) condition. Simulation of water yield with PC was performed in high eco-hydrological condition plots and despite not presenting statistical significance; they show seasonal differences (95% confidence). On balance, the less discharge results from revegetated plots, at the end of wet season, suggest the best capacity for water retention by the soil in the Urpay subwatershed.

Key Words: rangeland, conservation practices, hydrology, subwatershed.

I. INTRODUCCIÓN

Las zonas altoandinas del Perú no son ajenas a los problemas del cambio climático que se ven evidenciados por la irregular presencia de lluvias, sequias, friaje, inundaciones y cambios en la composición de la comunidad vegetal. A pesar de ello, en estos ambientes frágiles, coexisten sistemas pobres de producción de ganadería mixta que social, política y económicamente fueron consideradas, por mucho tiempo, modestas organizaciones marginales de futuro incierto. En este contexto, se arguye que la deficiente utilización de los pastos naturales son los responsables para la degradación de la condición del pastizal; y como si fuera poco, al aplicarse técnicas de modelamiento hidrológico en estos ámbitos, se pone en evidencia la poca disponibilidad de información agroclimática requeridas por los modelos temáticos para la caracterización y el desarrollo de la gestión integral del ecosistema pastizal.

Por lo que, la solución de los problemas del deterioro del pastizal requiere del estudio del estado ecológico de los pastos naturales a través de los indicadores de la función hidrológica del pastizal, estabilidad del suelo e integridad biótica; determinar la relación de la condición ecológica del pastizal con el rendimiento hídrico de cabeceras de cuencas; y simular espacios para el mejoramiento del rendimiento hídrico del ecosistema pastizal a través de la aplicación de técnicas de procesamiento de imágenes satelitales, modelamiento con el SIG (Sistema Integrado de Información Geográfica) y la previsión del rendimiento hídrico con HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System).

Dentro este marco, se planteo las siguientes preguntas de investigación: (1) ¿Cuál es el grado de influencia de los parámetros del pastizal sobre la función hidrológica?, (2) ¿En qué grado las prácticas de conservación de suelos coadyuvan la disminución de la degradación del suelo?, (3) ¿En qué proporción los cambios de condición ecológica del pastizal influyen en el comportamiento hidrológico de la subcuenca?, (4) ¿Cuál es la dimensión de cambio del rendimiento hidrológico de la subcuenca cuando se introduzca prácticas de conservación de suelos?.

En esta situación, se justifica la presente investigación porque la influencia de los indicadores del estado ecohidrológico del pastizal sobre la productividad animal se encuentra inmersa dentro un sistema dinámico de alta complejidad. Según Florez y Malpartida (1987) en el Perú del total de pastos naturales, los pastizales de condición pobre y muy pobre ocupan el 64% de la superficie. Trabajos recientes descritos por Pyke et al. (2002), encontraron de vital importancia incorporar para estudios de suelos, cubiertos por pastos naturales, el enfoque ecológico involucrando para ello indicadores de los atributos estabilidad del sitio, función hidrológica e integridad biótica de la comunidad vegetal que anteriores estudios del pastizal no lo consideraron, y así como revalorar los principales parámetros del suelo, como la humedad del suelo, que muy pocas veces fueron tomadas en cuenta para la evaluación de la condición ecológica del pastizal (Eekeren et al., 2010).

Quizás el primer trabajo en el que se intenta buscar una relación entre la pérdida de suelo por erosión hídrica y el efecto de la construcción de zanjas de infiltración en pastos naturales sea el de Vásquez y Tapia (2011). Sobre el tema Snymana y Preez (2005) indicaron que los cambios en los niveles de humedad del suelo varían en concordancia al grado de degradación del suelo. Y siendo la lluvia la única fuente de recarga de agua en el pastizal estas muestran influencia significativa en la cantidad de humedad del suelo (Salve y Allen-Díaz, 2001).

Asimismo, con información escasa de precipitación, caudal y mapas temáticos Amaya et al. (2009) realizaron un balance hidrológico empleando el modelo lluvia-escorrentía para la simulación de caudales diarios; el modelo demostró representar de manera aceptable las series de caudales de las estaciones, al calcular los indicadores de error entre las series simuladas y observadas, lo que sugirió que para estudiar las cuencas los datos de entrada son de vital importancia para el proceso de calibración. Finalmente, se predice que el cambio climático incrementara la escorrentía y la erosión del suelo y estos acelerar la desertificación de los pastizales por lo que las políticas y prácticas de gestión deberán considerar los cambios y adaptarse al aumento del riesgo de escorrentía y la erosión del suelo de los pastizales (Zhang et al., 2012), en este escenario, el Perú es considerado zona de alta variabilidad climática.

Sistémicamente las comunidades campesinas evolucionan por combinación dinámica de los factores ecohidrológicos; lo que conlleva decir que los impactos sobre las cuencas hidrográficas son multifactoriales; de manera tal, que la identificación de los indicadores de los sistemas de producción vulnerables al impacto adverso del cambio climático y su función sobre los sistemas de crianza mixta requieren ser profundizados en su entendimiento, con el propósito de mejorar su comunicación, fortalecer el aprendizaje colectivo, aplicar acuerdos de conservación y usufructo óptimo de los pastos naturales. De manera que con esta investigación se pretende alcanzar la identificación del grado de sensibilidad de los principales parámetros ecohidrológicos de la comunidad vegetal requeridos por los estudios ecológicos del pastizal altoandino; caracterizar ecohidrológicamente la subcuenca; así como predecir los mejores efectos de las técnicas de conservación de suelos replicables a mayor escala en zonas adyacentes a las parcelas experimentales; en razón del cual se han considerado los siguientes objetivos:

Objetivo principal

Determinar la dimensión de cambio ecohidrológico de los pastos naturales a través del manejo óptimo de los atributos de la ecología del pastizal y la introducción de prácticas de conservación de suelos como estrategia de previsión del comportamiento hídrico de la subcuenca.

Objetivos específicos

- Estudiar el impacto de las prácticas de conservación de suelos sobre la función hidrológica del pastizal nativo.
- Modelar el estado ecohidrológico del pastizal de la subcuenca Urpay.
- Simular escenarios de mejora del rendimiento hídrico del pastizal de la subcuenca Urpay.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Estudios de la condición del pastizal, se han venido realizando en los pastizales de las zonas altoandinas del Perú desde muchos años atrás, a pesar de ello los problemas de la pastura nativa se agudizan. Los esfuerzos técnicos por interpretar adecuadamente la influencia que podría tener los indicadores de la condición del pastizal sobre el estado hidrológico del pastizal y la productividad animal se encuentra inmersa dentro un sistema de alta complejidad ecohidrológica.

Trabajos recientes descritos por Pyke et al. (2002), encontraron de vital importancia incorporar para estudios de suelos, cubiertos por pastos naturales, el enfoque ecológico involucrando para ello indicadores de los atributos estabilidad del sitio, función hidrológica e integridad biótica de la comunidad vegetal que anteriores estudios del pastizal no lo consideraron; por lo que es pertinente considerar a la humedad del suelo, que muy pocas veces fueron tomadas en cuenta, para los próximos estudios de la condición ecológica del pastizal (Eekeren et al., 2010).

2.1 HIDROLOGÍA DEL ECOSISTEMA PASTIZAL.

2.1.1 Condición del pastizal.

La productividad del ecosistema pastizal se encuentra afectado por la composición florística, organismos del suelo y grado de utilización, las que interactúan con el ambiente que les rodea. Florez y Bryant (1989) indicaron que la condición del pastizal es un diagnóstico semidetallado o detallado de los cambios que han ocurrido en la cobertura vegetal y de esta forma proveer informaciones de análisis para predecir la naturaleza y dirección de los cambios en la comunidad vegetal por la utilización de recursos y otras acciones; conceptualmente, las clases de condición son la expresión del grado en que la composición florística, expresada en porcentaje, se ha modificado con relación a la comunidad clímax.

2.1.2 Factores hidrológicos del pastizal.

Eviner (2004) encontró que las especies vegetales del pastizal afectan diferenciadamente el desarrollo de los parámetros del ecosistema pastizal y debido a que

las correlaciones entre las características son débiles y cambiantes con la estación de crecimiento y época del año, es más pertinentes estudiar los factores de biomasa aérea, mantillo, humedad del suelo, infiltración, erosión y temperatura del suelo de forma independiente.

A. Biomasa aérea.

El clima influye en la variación de la productividad primaria neta y la biomasa del pastizal, estos efectos varían durante la temporada de crecimiento, con épocas más cálidas y húmedas resultan en un aumento de biomasa a comienzos de la temporada de crecimiento, y las caídas en épocas más áridas provocan disminución de la biomasa al final de la temporada de crecimiento (Ma et al., 2010). Asimismo, la producción de forraje de secano dentro los pastizales depende directamente de la precipitación, sobre aquellas que caen durante la estación de crecimiento (Bork et al., 2001).

La composición de los pastizales está limitada, durante la estación de crecimiento, por la disponibilidad de agua, nutrientes del suelo y pastoreo; el pastoreo altera los ciclos del agua y nutrientes, a través de la defoliación y la reducción de residuos vegetales; la pérdida del mantillo puede reducir la producción de forraje, y su defoliación repetida favorecerá la presencia de especies tolerantes pero menos productivas (Willmst y Jefferson, 1993). Estudios sobre el particular sugieren un efecto positivo de la cosecha del agua por las plantas de los pastizales en términos de cantidad y calidad, probablemente porque promueven el desarrollo de los pastos y la productividad de materia seca a principios de la estación de crecimiento (Elsadig et al., 2013).

B. Mantillo.

El mantillo aumenta significativamente la disponibilidad de agua, porosidad total, retención de humedad del suelo y la alta correlación entre el tipo de mantillo y la estabilidad de los agregados (Nagaya y Lal, 2008). Molinar et al. (1998) indicaron que el mantillo se divide en tres clases: (1) una vegetación madura conectados a la planta “forraje curado”, (2) vegetación separadas de las plantas que cubren la superficie del suelo “hojarasca” y (3) vegetación en

descomposición parcial o total incorporados en el suelo “humus”, cada uno de los tres componentes con roles específicos para la salud de las cuencas hidrográficas; el forraje curado tiene el rol de retardar el flujo de precipitaciones y movimiento del suelo del sitio; la hojarasca proporciona un cojín que previene el desprendimiento de partículas del suelo, aísla el suelo del sol y reduce la evaporación de la superficie del suelo; y el humus proporciona nutrientes para el crecimiento de las plantas, une las partículas del suelo, aumenta la tasa de infiltración y regula la capacidad del suelo para recibir y retener la humedad.

En la tundra alpina, el clima, la disponibilidad de humedad y la composición química de la hojarasca son variables principales para la descomposición y el ciclo de nutrientes, velocidad y transferencias de carbono fijado en los depósitos de materia orgánica del suelo en los ecosistemas terrestres (Bryant et al., 1998).

C. Temperatura del suelo.

Factores del suelo, como la temperatura, humedad, y sustrato influyen simultáneamente en el rendimiento vegetal (Raich y Tufekcioglu, 2000). Con respecto a la respiración, Maher et al. (2010) encontraron un aumento significativo de la respiración en pradera vieja y una correlación positiva con la biomasa de raíces y la productividad primaria neta durante el crecimiento del pastizal, e indicaron que la temperatura del suelo es un fuerte predictor de la respiración intra-estacional entre praderas naturales. De manera que la humedad del suelo es el factor ambiental dominante que controla la variación estacional e interanual de la respiración del prado a temperatura constante de 10°C (Lawrence y Bruce, 2005).

D. Humedad del suelo.

Snymana y Preez (2005) indicaron que los cambios en los niveles de humedad del suelo varían en concordancia al grado de degradación del suelo. La precipitación variada afecta la cantidad de agua que penetra en el suelo y siendo la lluvia la única fuente de recarga de agua en el pastizal, la textura, cubierta vegetal, y la elevación tienen influencias significativas en la cantidad de humedad del suelo (Salve y Allen-Diaz, 2001). Existe evidencia de que la

abundancia del mantillo produce un impacto positivo en la humedad del suelo cercano a la superficie y mantienen el suelo húmedo por más tiempo después de fuertes precipitaciones (Deutsch et al., 2010).

La dinámica de la humedad del suelo muestra tendencias similares en los perfiles del suelo de bosques y del pastizal, pero el secado son más intensas en el bosque en capas más profundas durante la temporada de crecimiento, posiblemente por la mayor utilización de agua de estas capas por los árboles (Hagyó et al., 2006). De manera que los tipos funcionales de plantas, en ecosistemas semiáridos, son afectados por la distribución de agua disponible en el suelo y las relaciones subyacentes entre la heterogeneidad de humedad del suelo y la composición del pastizal, por lo que pueden ser base para la predicción de las interrelaciones entre los procesos hidrológicos y la dinámica de la vegetación (Breshears y Barnes, 1999), variables que a su vez están determinadas por el clima y el uso del suelo.

Por otro lado, la profundidad del suelo y la precipitación podrían ser los principales factores limitantes para el pobre crecimiento de las plantas que además son muy susceptibles a la disminución de la cobertura vegetal y el pisoteo del ganado, y si a esto se suman la falta de humedad disponible generalmente se reduce la duración de la temporada de crecimiento y como consecuencia la productividad de los pastizales (Al-Seekh et al., 2009).

E. Tasa de infiltración.

En áreas con cantidades limitadas de cobertura vegetal y frecuente presión de pisoteo animal puede crear en la parte inferior del suelo una capa dura con mayor densidad aparente y como consecuencia reducir la tasa de infiltración de agua y humedad del suelo; es decir cuanto mayor es la porosidad del suelo resultara en una mejor estructura, infiltración y capacidad de retención de la humedad del suelo, características compatibles con la mejor cobertura vegetal (Chaichi et al., 2005).

En la comunidad vegetal degradada los factores de protección del suelo, gramíneas perennes y mantillo, son en parte reemplazadas por las gravas haciendo variar significativamente las propiedades físicas y químicas del suelo que afectan la condición hidrológica del suelo (Chartier et al., 2011). Los patrones espaciales de las propiedades del suelo están relacionados con la vegetación irregular en paisajes áridos y semiáridos y hace que la infiltración sea mayor en las tierras con cobertura vegetal que en los suelos desnudos (Bedford y Small, 2008).

El pastoreo deteriora las propiedades físicas del suelo y determinan la erosionabilidad, de manera que la resistencia del suelo al lavado se correlaciona negativamente con la densidad aparente y positivamente con el contenido de agua, estabilidad de agregados, y tasa de infiltración; lo que demuestra que el pastoreo debilita la resistencia del suelo al lavado del suelo por cambios en sus propiedades físicas (Zhou et al., 2010).

F. Erosión del suelo.

La fundamentación de los efectos de las prácticas de conservación de suelos sobre el pastizal es una herramienta importante para la mejora de la función hidrológica de los pastos naturales y las cuencas altas donde predominan las condiciones climáticas extremas, erosión del suelo y presencia de pastizales nativos y exóticos, es importante conocer la función hidrológica de las gramíneas sin importar el origen biogeográfico (Viramontes-Olivas et al., 2012). En este escenario, la zanja de infiltración como propuesta tecnológica es efectiva para el control de la erosión y la captación de agua de lluvia en laderas (Vásquez y Tapia, 2011).

2.2 MODELAMIENTO ECOHIDROLÓGICO DEL PASTIZAL.

Amaya et al. (2009) indicaron que el problema principal para el modelamiento es la poca disponibilidad de información hidrológica; por esta razón, para poder estudiar el comportamiento espacial y temporal de las variables en una cuenca hidrográfica, se

requirió combinar diferentes técnicas y modelos para representar con suficiente precisión el comportamiento hidrológico a partir de escasa información existente.

Reynolds et al. (2005) mencionaron que la desertificación caracteriza a las zonas áridas, semiáridas y secas-subhúmedas con condiciones climáticas extremas (precipitación y temperaturas variable y elevada evapotranspiración potencial) y que en ésta el principal problema radica en que las dimensiones biofísicas y socioeconómicas, por ausencia de un marco conceptual apropiado, no son tratadas integralmente; mientras que el problema biofísico se agrava irreversiblemente con pérdida de suelo, vegetación y el efecto de cascada negativo sobre la estructura y el funcionamiento del ecosistema. Jobbagy et al. (2013) exploraron como esta transformación afectan el rendimiento hídrico de pequeñas cuencas serranas, para ello estudiaron cuatro pares de cuencas ocupadas por pastizales naturales y plantaciones de *Pinus ellioti*; en promedio, la descarga de las plantaciones forestales fueron menores al de los pastizales y por el contrario las estimaciones de descarga diaria mostraron valores más altos en cuencas cubiertas por pastos naturales.

Pyke et al. (2002) propusieron que el estado de los ecosistemas de pastoreo de terrenos de temporadas secas podría cualitativamente ser evaluado a través de los atributos estabilidad del sitio, función hidrológica e integridad biótica de la comunidad vegetal; conceptualmente, estabilidad del sitio fue definido como la capacidad del lugar para limitar la redistribución y pérdida de recursos del suelo por el viento y/o el agua; función hidrológica como la capacidad del lugar para capturar, almacenar y liberar agua de lluvia y/o nieve; e integridad biótica como la capacidad del sitio para apoyar a las comunidades funcionales en resistir la pérdida de la función, estructura y facultad de recuperarse después de cada perturbación.

En aras de entender mejor los efectos de cambios sobre la superficie del suelo y la hidrología del pastizal se desarrollan organizadamente los siguientes tópicos:

2.2.1 Fundamentos del Modelamiento.

El modelamiento ecohidrológico de cuencas es una herramienta valiosa para evaluar adecuadamente el balance hídrico; el cual es información clave para el planeamiento,

conservación y gestión de las fuentes de agua como las lagunas, ríos, puquiales, filtraciones y bofedales. Sobre el particular, Parajka et al. (2013) expresaron que el objetivo del modelamiento fue aprender a interpretar el porqué de las diferencias del rendimiento hídrico en condiciones de clima y paisaje control donde la escorrentía en cuencas hidrográficas no aforadas tendieron a ser más precisos en estado húmedo que en cuencas áridas y, estos de mayor precisión en pequeñas cuencas; de manera que en cuencas húmedas los métodos de proximidad y similitud espacial funcionan mejor, mientras que en cuencas áridas los métodos de regresión de similitud y parámetros realizan una mejor predicción.

Berhane et al. (2013) indicaron que la comprensión de las relaciones básicas entre las precipitaciones, la escorrentía, la humedad del suelo y el nivel de las aguas subterráneas son vitales durante las actividades eficaces y sostenibles de planificación y gestión de los recursos hídricos; en ese sentido, desarrollaron relaciones entre la lluvia, la humedad del suelo, el nivel de agua subterránea y la descarga para entender los procesos de generación de escorrentía en la cuenca, y encontraron que el nivel de agua subterránea y la escorrentía tienen relación fuerte con la humedad del suelo en todas las capas del perfil del suelo.

2.2.2 Modelos Integrados.

En la actualidad, a raíz de los problemas de cambio climático, aumenta la necesidad por generar modelos hidrológicos integrados para que los usuarios de pastos naturales puedan monitorear los efectos del sobrepastoreo en la cuenca. Getahun et al. (2014) indicaron que los servicios de los ecosistemas requieren un enfoque integrado, ya que son influenciados por el clima, hidrología y socio-economía que interactúan entre sí; sin embargo, mencionan, que hay pocos estudios que integren estos elementos a fin de evaluar los servicios ecosistémicos y que los cambios dinámicos en el uso del suelo deben ser tomados en cuenta por los modelos hidrológicos para una representación más realista del estado de la cuenca; en esta situación la capacidad de pastizales para el servicio de pastoreo se pueden predecir a través de la biomasa y la estimación de la capacidad de pastoreo a través de los modelos computarizado.

Andrew y Allen (2013) a través del modelamiento compararon el potencial de escorrentía superficial de un barrio urbano y otro en proceso de desarrollo urbanístico para un escenario de tormenta de 24 horas a 10 años; la escorrentía superficial potencial fue calculado por capas de diferentes conjuntos de datos geoespaciales que representaron las características físicas de los dos sitios de estudio dentro del sistema de modelado de cuencas; la metodología empleada en esta investigación permitió combinar y manipular una serie de conjuntos de datos en SIG y el modelado permitió determinar el potencial de escorrentía superficial generado dentro de las áreas urbanas a escala de sub-cuenca.

2.2.3 Clasificación de Modelos.

Vargas-Castañeda et al. (2015), indicaron que los modelos hidrológicos pueden clasificarse en cuatro grupos: los puramente estocásticos, integrales agregados, integrales distribuidos y diferenciales distribuidos; en este esquema los modelos fueron considerados estocásticos cuando las variables del modelo mostraron variación aleatoria, o determinísticos cuando las variables del modelo consideradas libres de ésta; tanto los modelos estocásticos como los determinísticos fueron clasificados como conceptuales o empíricos; los modelos determinísticos se clasificaron de acuerdo a que si el modelo da una descripción agregada o distribuida del área considerada, y que si la descripción de los procesos hidrológicos es empírica, conceptual o más físicamente basada; en tanto que un modelo agregado implica que la cuenca sea considerada como una unidad computacional, y que el modelo distribuido proporciona una descripción de procesos de la cuenca en puntos del mallado computacional georreferenciados detalladamente al interior de la misma; de manera que en un enfoque intermedio puede ser un modelo semidistribuido, el cual emplea un tipo de distribución, ya sea en subcuencas o en unidades de respuesta hidrológica; donde las áreas con las mismas características se agrupan en unidades, sin considerar su localización al interior de la cuenca.

Metodológicamente, la zonificación de la cuenca es importante debido a que la información tabular puede ser procesada fácilmente a través del programa SIG y herramientas de teledetección. García y Conesa (2011) mencionaron que el empleo combinado de datos de precipitación, modelos hidrológicos, modelos hidráulicos y técnicas SIG, para la estimación de caudales de avenidas y la delimitación de áreas

inundables, se han integrado en modelos de conversión lluvia-escorrentía superficial (Hidrograma Unitario Adimensional SCS, Hidrograma Unitario Gamma de Témez y el Método Racional Modificado) y métodos de geometría hidráulica para la conversión de datos de lluvia (tormentas de diseño por periodos de retorno) a escorrentía empleando el programa HEC-HMS en combinación con la extensión HEC-GeoHMS de ArcView; de manera que en los últimos años los SIG están alcanzado gran aplicación en el campo de la hidrología, especialmente en la predicción de caudales y la gestión integrada de los recursos hídricos.

2.2.4 Unidad de Modelamiento.

A diferencia de la evaluación de la condición de pastos naturales basados en sitios de pastizales, para el estudio ecohidrológico se subdivide el territorio en subcuencas con el propósito de reducir la complejidad del ecosistema y adecuar mejor los parámetros biofísicos necesarios para el proceso de modelamiento.

Flint et al. (2013) mencionaron que los gestores de recursos naturales requieren modelos espacialmente explícitas de respuesta hidrológica a cambios de conductores climáticas clave a través de las condiciones del paisaje, y para estas son de mucha utilidad el modelo de cuenca caracterizado para integrar el detalle de la información sobre las características físicas de la cuenca con datos climáticos históricos o proyectados para predecir las respuestas hidrológicas específicas de las cuencas hidrográficas; de manera que la capacidad de calcular las salidas hidrológicas a escalas espaciales finas ofrece un nuevo conjunto de variables de predicción hidrológicas que pueden ser utilizados para una variedad de propósitos, tales como proyecciones de los cambios en la disponibilidad de agua, la demanda del medio ambiente, o la distribución de plantas y hábitats.

2.2.5 Caracterización Ecohidrológica de Cuencas.

Flint et al. (2103) sugirieron que los patrones de una amplia variedad de variables biofísicas hacen que el resultado del modelo sean de particular interés para los ecologistas del paisaje y aquellos interesados en el modelado de la respuesta biogeográfica de tipos de vegetación a cambios en el clima, deriva del hecho de que las futuras condiciones de humedad son mucho más difíciles de proyectar que la temperatura futuro, un hecho que surge cuando se comparan los resultados futuras para

la temperatura y la precipitación, donde hay mucho mayor acuerdo entre los modelos para la temperatura; el potencial de tener un modelo caracterizado que captura la dinámica del agua es un reto crucial para prever una mejor estimación de las condiciones hidrológicas en diferentes escenarios, y que estos a su vez pueden ofrecer imágenes de impactos potenciales a la disponibilidad de agua para los procesos naturales y usos humanos, ofrece una oportunidad de comparar las condiciones de niveles actuales de deterioro dado los datos específicos del sitio.

2.3 SIMULACIÓN HIDROLÓGICA DE CUENCAS.

2.3.1 Patrones de Utilización de Recursos.

Stehr et al. (2010) aplicaron un enfoque multidisciplinario para el análisis del efecto de los cambios en los patrones de uso de la tierra sobre la respuesta hidrológica de la cuenca, para lo cual generaron escenarios utilizando reglas heurísticas y modelos de regresión logística, con el fin de identificar la principal presión sobre la cuenca; los resultados muestran significativo incremento anual de descarga con el uso del suelo agrícola y disminución con cobertura forestal introducido; de manera que la forestación de áreas con especies introducidas como el *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus* podría ser regulada a fin de proteger los recursos hídricos de la cuenca; asimismo, las simulaciones de escenarios probables mostraron que la sustitución de las áreas de agricultura, arbustos y pastizales con plantaciones de especies introducidas causó una reducción de la media anual de la descarga hasta en un 10%, mientras que la sustitución de las plantaciones forestales introducidas, arbustos y pastizales con terrenos agrícolas aumenta el caudal medio anual en hasta un 7%.

Albhaisi et al. (2013) encontraron que el uso de la tierra es un factor importante que afecta la captación de agua subterránea, de manera que la gestión de los escasos recursos hídricos es una gran preocupación debido a que ha sufrido muchos cambios en los últimos años, en este escenario para reducir la pérdida de agua debido a la evapotranspiración, la vegetación no nativa de la colina fue cortado; para el análisis de datos se formuló la hipótesis de que la recarga ha sido aumentado debido a cambio en la vegetación, y la simulación de recarga de aguas subterráneas encontró que el alto incremento de precipitaciones en combinación con el cambio de uso del suelo resultó en

un gran aumento (278%) de recarga media de las aguas subterráneas; la recarga de acuíferos simulado mostró fuertes diferencias espaciales para cada año evaluado y un aumento sistemático de alrededor de 8% por año para el período de 21 años, debido al cambio en el uso del suelo a partir de los años diferentes a la del 2008; lo que confirma que la vegetación de colina no nativo es de considerable importancia para el aumento de la recarga de agua subterránea.

2.3.2 Modelos de Simulación.

Pieri et al. (2007) indicaron que el modelo Water Erosion Prediction Project (WEPP) se puso a prueba utilizando datos de un estudio detallado realizado en parcelas experimentales en la cordillera Apeninos, norte de Italia; donde se aplicó por primera vez para simular la escorrentía superficial transitoria, agua del suelo y erosión, en base a parámetros relación energía de biomasa de los cultivos y conductividad hidráulica efectiva de la superficie del suelo; para lo cual se calibraron con escorrentía observada en campo, agua del suelo, erosión y datos de biomasa vegetal; los resultados indicaron que con la definición de una capa restrictiva en la parte inferior del perfil del suelo y la calibración de los dos parámetros del modelo, WEPP explicó adecuadamente el balance de agua de la parcela experimental modelado; sin embargo los esfuerzos futuros de aplicación WEPP pasarían por una evaluación profunda y calibración adecuada de los parámetros de erosionabilidad con el fin de mejorar la predicción de la erosión por sitio de estudio.

Amaya et al. (2009) modelaron el comportamiento hidrológico de tres cuencas de la región de Urabá - Colombia, utilizando información escasa de precipitación y caudal, mapas temáticos y resultados de balances hidrológicos de largo plazo que empleó el modelo lluvia-escorrentía para la simulación de caudales diarios; el modelo representó de manera aceptable la serie de caudales de las estaciones, al calcular los indicadores de error entre las series simuladas y observadas, lo que sugirió que para las cuencas en estudio los datos de entrada y los parámetros elegidos fueron los adecuados.

Nearing et al. (2011) indicaron que el RHEM (Range Hidrologic Erosion Model) fue desarrollado con el fin de modelar la erosión de pastizal basado en la cuantificación de tasas de escorrentía y erosión específicas de los pastizales de Estados Unidos

occidentales en proceso de gestión e investigación de prácticas de conservación de los pastizales, con el considerando de que las tasas de pérdida de suelo son uno de los pocos indicadores cuantitativos para evaluar la salud de los pastizales y la eficacia de la práctica de la conservación; de manera que urge la necesidad de contar con un modelo para predecir la erosión de suelo específico para pastizales porque la que existe se desarrollaron para estudiar la erosión de las tierras de cultivo, donde los procesos hidrológicos y de erosión son diferentes, debido a la heterogeneidad de las propiedades del suelo y de la planta a escala de parcela; RHEM es una derivación basada en eventos del modelo WEPP, desarrolladas específicamente para tierras de cultivo, y visualiza los procesos de erosión en condiciones de pastizales perturbadas y no perturbadas, estimando la escorrentía, erosión, sedimentos y volúmenes en escala espacial de ladera y temporal de un solo evento de lluvia; RHEM representa una versión modificada y mejorada (para la aplicación de los pastizales) del modelo WEPP específica para los pastizales en base a fundamentos de infiltración, hidrología, ciencia del pastizal, hidráulica y mecánica de erosión.

En la actualidad, todas las investigaciones van confirmando el rol clave del estado de las cabeceras de cuencas para elevar los beneficios de los servicios ambientales a partir de la gestión adecuada del recurso hídrico; en esta situación, indudablemente, los modelos hidrológicos se convierten en instrumentos elementales para estudiar el comportamiento hidrológico de la cuenca de interés. En ese sentido, Di Luzio et al. (2002) desarrollaron un modelo hidrológico para el estudio de microcuencas, calibrado y validado para el uso del modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tools), modelo continuo determinístico, que basa su manejo en el uso de información de las características detalladas del suelo y la cubierta vegetal para la aplicación de la interfaz GIS donde se incluyen datos topográficos, hidrográficos, suelos, y uso de la tierra para el estudio de cambios en la condición del suelo mediante los atributos escorrentía, transporte de sedimentos y contaminantes.

Taffese y Zedemariam (2013) investigaron el modelado hidrológico de cuenca con el modelo SWAT mejorado usando dos versiones, SWAT-CN y SWAT-WB con la finalidad de verificar el impacto de las prácticas de manejo de tierras y agua existentes en el rendimiento de la escorrentía y la aplicabilidad del modelo de evaluación de los recursos hídricos en la cuenca con datos de las estaciones hidro-meteorológicas

cercanas; los resultados encontrados sugieren que el rendimiento del modelo, en sus dos versiones, fue aceptable para predecir el flujo de descarga.

Álvarez y Samper (2009) indicaron que el código GIS-BALAN se desarrolló en 2005 y marcó la transición del BALAN en el modelamiento hidrológico distribuido, en la que además se añadieron importantes avances en la estimación automática, con algoritmos genéticos y herramientas para la reducción de escala de las proyecciones del cambio climático y la evaluación de sus impactos en los recursos hídricos; éste código resolvió el balance hidrológico de manera secuencial en cada zona de estudio y que los principales aspectos del balance fueron las entradas de la precipitación, riego y fusión de la nieve; en tanto que las salidas fueron la interceptación, escorrentía superficial, evapotranspiración, flujo hipodérmico, corriente subterránea y la variación en el nivel de humedad del suelo y del nivel piezométrico; los datos del modelo a escala anual, mensual y por día permitieron una mejor comprensión de la dinámica hídrica de la cuenca y que los resultados manifestaron que el código GIS-BALAN es una potente herramienta de modelación hidrológica muy útil para la gestión de los recursos naturales de una cuenca hidrológica.

Markstrom et al. (2015) explicaron que el PRMS-IV, es una versión actualizada del parámetro distribuido determinista, físico-proceso modelo hidrológico comúnmente llamado el Sistema de Modelado de precipitación-escorrentía (PRMS); el PRMS-IV simula los procesos del ciclo hidrológico, incluyendo la evaporación, transpiración, escorrentía, infiltración, interflujo y estima mediante el equilibrio de los presupuestos de energía y masas de la cubierta vegetal, la capa de nieve, y la zona del suelo sobre la base de la información climática distribuida (temperatura, precipitación, y la radiación solar); cada proceso hidrológico está representado dentro de PRMS-IV por un algoritmo que se basa en una ley física o una relación empírica con características medidos o estimados; los parámetros distribuidos se proporcionan mediante la división de una cuenca en unidades de respuesta hidrológica (HRUS).

La respuesta de la cuenca, se refiere a los efectos que los cambios en estos atributos tienen en la simulación de los procesos hidrológicos; en tanto que la cantidad de agua almacenada en los embalses, segmentos de arroyos y lagos se conoce como el "Estado" y a la cantidad de agua que se mueve entre estos elementos se conoce como la "Fux.";

de manera que la respuesta hidrológica simulada de la cuenca se caracteriza por los estados y fluxes; PRMS-IV mantiene un balance de agua en toda la cuenca, así como en los depósitos individuales, segmentos de arroyos y lagos; finalmente, se encontró que el diseño modular del PRMS-IV facilita la integración con otros modelos utilizados para gestionar los recursos naturales y otras disciplinas científicas (Markstrom et al., 2015).

Nourani et al. (2011) estudió la respuesta lluvia-escorrentía utilizando TOPMODEL, el cual es un modelo semi-distribuidos y geomorfológicos que simula el escurrimiento en la salida de la cuenca sobre la base de los conceptos de flujo de escorrentía y el subsuelo exceso de saturación; aunque los resultados obtenidos demuestran la capacidad del modelo de realizar simulaciones basadas en eventos y diarios, el modelo podría conducir a resultados más fiables en el modelado diario debido al efecto del factor humedad del suelo de la cuenca.

Da Silva et al. (2010) estudiaron el enfoque *TOPMODEL distribuido modificado* en tres cuencas de gran escala; para lo cual realizó una parametrización multi-velocidades para encaminar el flujo; en ese sentido el modelo modificado utilizó precipitaciones distribuidas espacialmente y datos de evapotranspiración a través del enrutamiento célula a célula; las simulaciones mostraron que el enfoque TOPMODEL modificado parece ser un modelo hidrológico razonable para estimar la corriente de descargas de cuencas hidrográficas de gran escala; el modelo es considerada como un modelo semi-distribuido, debido a que utiliza la información topográfica para determinar el índice topográfico y para distribuir el déficit de saturación a lo largo de la cuenca; sin embargo, su principal limitación es la imposibilidad de utilizar los datos de entrada distribuidos, tales como la precipitación y la evapotranspiración.

2.3.3 El Modelo HEC-HMS.

A. Modelo conceptual.

Prasad (2015), sugirió que los modelos conceptuales y aquellos basados en la física se pueden categorizar como agrupados, semi-distribuido y distribuida; el modelo agrupado trata el área de influencia como uno o más segmentos

homogéneos de tierras donde se promedian las entradas; en tanto que el modelo distribuido representa explícitamente la variabilidad espacial dividiendo la cuenca en redes y modelar individualmente cada celda y el modelo semi distribuido es un modelo conceptual que cierra la brecha entre los modelos agrupados y distribuidos; el objetivo principal del estudio fue evaluar el efecto de la geometría del canal de la cuenca en la salida de la cuenca en el modelaje semi-distribuido lluvia-escorrentía y para determinar el rendimiento de las diferentes secciones de canal que producirán los mejores resultados para esa cuenca; los resultados sugieren que la sección trapezoidal fue el más eficiente que las otras secciones para la determinación del pronóstico de inundaciones, y ambos trapezoidal y la sección triangular fueron los más eficiente para determinar el volumen total de escorrentía anual simulado.

B. Componentes de simulación.

Scharffenberg et al. (2010) indicaron que el HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System) fue concebido como una herramienta para simular el ciclo hidrológico en el contexto de resolución de problemas de ingeniería; el movimiento de agua en el ciclo correspondiente al contexto incluyó la precipitación, infiltración, escorrentía superficial, flujo base y el flujo de canal abierto; el software fue muy adaptable, ya que incluyó una variedad de opciones de modelo para cada segmento del ciclo hidrológico y fue utilizado en muchos estudios para resolución de problemas de inundaciones, restauración ambiental, planificación de suministro de agua, entre otros; versiones de software utilizan principalmente componentes de simulación contruidos a partir de un marco conceptual y el proceso basado en la física puede ser una herramienta poderosa para la simulación de la hidrología de la cuenca; asimismo, tienen la ventaja de que los parámetros se pueden calcular directamente de las propiedades de la cuenca; por lo general requieren información complementaria como la temperatura, radiación solar, presión atmosférica y otros datos meteorológicos de naturaleza conceptual.

C. Simulación integrada.

Santillan et al. (2010), desarrollaron el enfoque integrado donde se articularon la teledetección (RS), sistema Geográfico Información (SIG) y modelos hidrológicos para caracterizar los impactos del cambio en la cobertura de la tierra en cuencas tropicales; para lo cual combinaron eventos lluvia-escorrentía basado en el modelo curva número (SCS-CN) y el modelo de producción de sedimentos en base a la modificación de la ecuación universal de pérdida de suelo (MUSLE) para estimar los efectos del cambio de cobertura terrestre en el volumen de escorrentía y el rendimiento de sedimentos durante eventos de lluvia; la capacidad de predecir las consecuencias hidrológicas del cambio de cobertura terrestre ofrece a los planificadores y tomadores de decisiones una herramienta valiosa para evaluar la efectividad de rehabilitación de la cubierta terrestre propuesta para minimizar la escorrentía y producción de sedimentos durante eventos de lluvia; esto les permitió entender mejor los impactos del cambio en la cobertura de la tierra con el aumento de la escorrentía superficial y la producción de sedimentos durante eventos de lluvia y, aunque los métodos utilizados fueron para una pequeña cuenca, su aplicabilidad a grandes cuencas es posible, siempre y cuando haya imágenes disponibles para derivar información de la cobertura del suelo y la localización de los cambios.

Owen et al. (2014) emplearon el SIG (Sistema de Información Geográfica) para crear el DEM (modelo digital de elevación) y un mapa de los sistemas de aguas pluviales con el fin de realizar análisis hidrológico espacial en las descargas de las cuencas hidrográficas de las zonas urbanas; utilizaron Arco Hydro para crear y analizar las redes hidráulicas, determinar la acumulación de flujo, y la delimitación de la subcuenca y luego utilizaron el preprocesador HEC-GeoHMS para transformar el modelo de ArcMap en un formato que pudo ser importado en modelo de cuenca HEC-HMS para crear hidrogramas de flujo máximo y la escorrentía de subcuencas; en tanto que la calibración del modelo se basó en datos de eventos aislados de tormenta para determinar el flujo de las aguas pluviales y las contribuciones de volumen de las respectivas subcuencas.

El HEC-HMS demanda el uso obligatorio del parámetro proveniente de tablas del SCS (Soil Conservation Service) denominado CN (Curva Número) a través

del cual se estima la escorrentía superficial, calidad y grupo hidrológico del suelo. Bhatt et al. (2013) utilizaron el método curva número, debido a que este requirió sólo un parámetro para la caracterización de infiltración de estimación de la cuenca en base al uso del suelo y propiedad del suelo; un modelo inverso se formuló usando HEC-HMS para la obtención de los parámetros de infiltración optimización histórica de diferentes parámetros para averiguar el mejor valor que muestra la variación mínima entre la escorrentía observada y simulada en la salida; de manera que en el estudio, el modelado lluvia-escorrentía se llevó a cabo utilizando técnicas de HEC-HMS y SIG, para lo cual, un mapa obtenido de Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) se ha ejecutado para crear las direcciones de flujo y archivos de acumulación de flujo que se utilizaron después para delinear el contorno de las redes de transmisión en la cuenca y datos de precipitación diaria se analizaron para periodo 1992-2009; en tanto que los datos de flujo diarias, desde el punto de salida, se utilizaron para crear los hidrogramas de escorrentía para los fines de calibración y validación; el modelo HEC-HMS fue el primero de su tipo aplicado en la cuenca del Bhagirathi.

III. MATERIALES Y METODOS

La selección del área experimental, diseño y monitoreo de los parámetros se realizaron participativamente con el Comité de Investigación Agropecuaria Local – CIAL “alli pastu”, organización comunal patrocinada por la ONG The Mountain Institute. Tal como se ha expuesto previamente, el interés central de este estudio fue responder sistémicamente a las siguientes hipótesis de investigación: (a) La implementación de técnicas de surcos, hoyos y revegetación mejoran la función hídrica de los pastos naturales porque incrementan la cantidad de agua infiltrada y humedad del suelo; (b) La condición ecohidrológica de cuencas puede modelarse adecuadamente con el SIG (Sistema de Información Geográfica) y percepción remota incorporando al proceso indicadores de los atributos de la función hídrica del pastizal; (c) En cuencas la conservación y mejora de las clases ecohidrológicas pueden ser previstas adecuadamente a través de la simulación hidrológica con HEC-HMS.

3.1 HIDROLOGIA DEL PASTIZAL ALTOANDINO.

3.1.1 Ámbito de Estudio.

A. Límite de la subcuenca Urpay.

La presente investigación doctoral se realizó en pastos naturales altoandinos (4,100 m.s.n.m.) de la comunidad campesina Cordillera Blanca, Sector Canrey Chico, Provincia de Recuay, Huaraz, Perú, desde mayo 2011 a diciembre 2014. La delimitación de la subcuenca Urpay se realizó con imágenes satelital Landsat del año 2005 proveniente del MINEDU (Ministerio de Educación del Perú). Holdridge (1987) clasificó a esta zona como Páramo muy Húmedo-Subalpino Tropical (Pmh-SaT) con temperatura promedio de 12 °C, precipitación promedio de 700 mm por año y suelo franco arenoso con tipo de pastizal dominado por la asociación vegetal *Calamagrostis macrophylla* y *Stipa brachyphylla* de condición muy pobre (Figura 1).

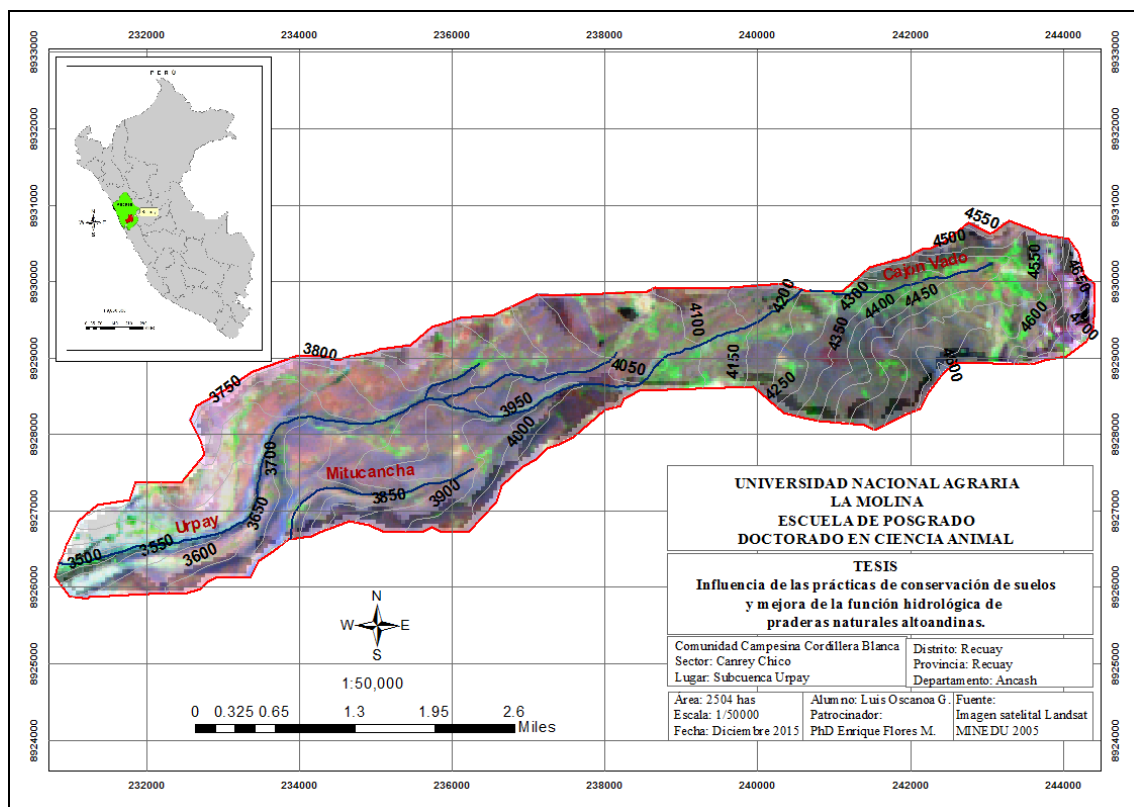


Figura 1: Límite de la subcuenca Urpay.

B. Distribución de las parcelas experimentales.

En la Figura 2, se presenta la distribución de las parcelas experimentales desarrolladas en la zona del paraje “Sillacancho”, cuyas dimensiones de cada una fueron de 625 m² (25m X 25m). En específico, se estudio las parcelas “surcos de infiltración” (P11), “hoyos de infiltración” (P12) y el usufructo comunal denominado “testigo”. La construcción de los surcos de infiltración considero un distanciamiento entre surco- surco de dos metros a una profundidad de 10 cm y un ancho de 15 cm; en tanto para la construcción de los hoyos de infiltración se contemplo un distanciamiento de un metro entre hoyo-hoyo a una profundidad de 10 cm y un diámetro de 7.5 cm. Los parámetros de investigación fueron: condición del pastizal, biomasa aérea, mantillo, humedad del suelo, temperatura del suelo, infiltración del agua y erosión del suelo.

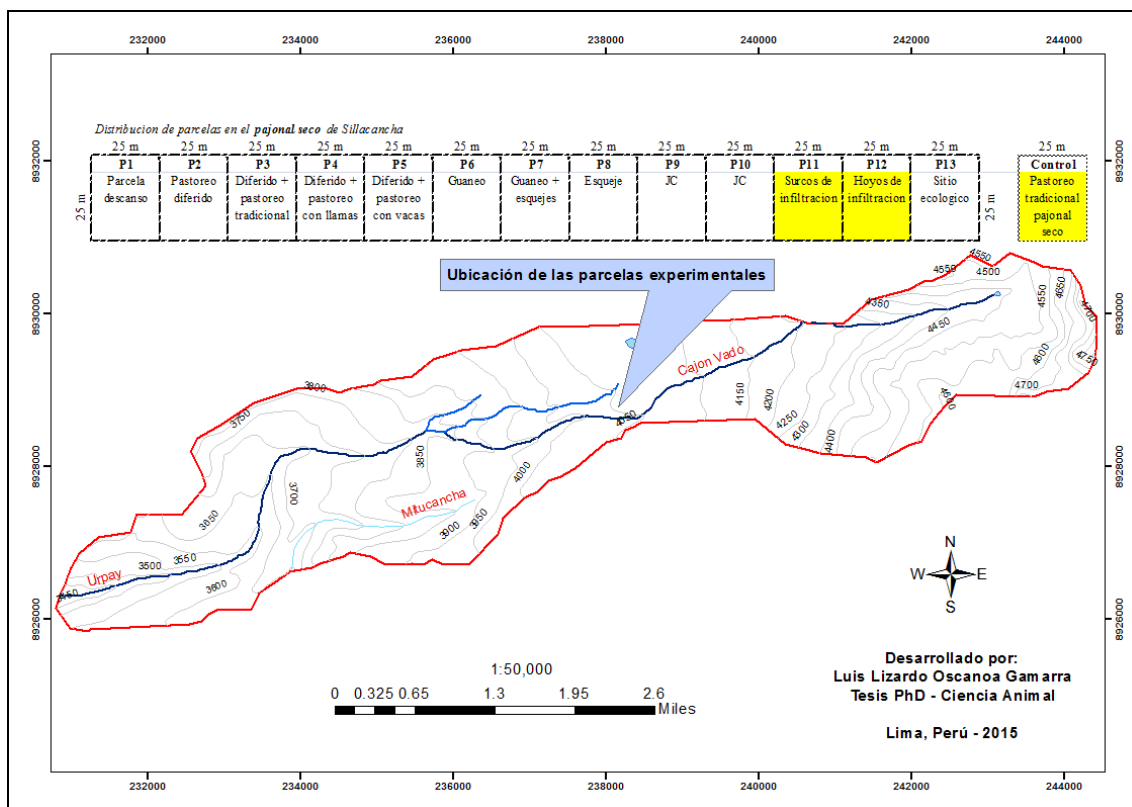


Figura 2: Ubicación de las parcelas experimentales de “Sillacancha”.

C. Software

El manejo organizado de la información geográfica, datos cuantitativos, cualitativos, descriptivos y diseños temáticos se realizaron a través del software SIG - ArcGis10 y ENVI 5.0 (Chavarrí y Portuguez, 2014) y todos los parámetros de las parcelas experimentales de “Sillacancha” fueron analizados individualmente a través del programa computarizado SAS (SAS,1986).

3.1.2 Parámetros Hídricos del Pastizal.

A. Condición del pastizal.

Los censos de vegetación se realizaron en las parcelas experimentales, al inicio y final del experimento, con el propósito de determinar la tendencia de la condición del pastizal de las parcelas en estudio (Parker, 1951; Florez et al., 1991) a través de los índices de especies deseables (% D), índice de especies poco deseables (% A), índice forrajero (IF = % de especies deseables mas poco deseables), índice suelo desnudo - pavimento de erosión – roca (% BRP) y el índice del vigor de las especies vegetales claves (ANEXOS 1,2). La integración

matemática de los índices parciales permitió estimar la condición del pastizal a través de la fórmula:

$$\text{Puntaje} = 0.5(\%D) + 0.2(\%IF) + 0.2(\%COB) + 0.1(\%V) \quad \text{[Fórmula 1]}$$

Donde:

D: Especie vegetal decreciente.

IF: índice forrajero.

COB: Cobertura vegetal (COB = 100 - % BRP).

BRP: Suelo desnudo, roca y pavimento de erosión.

V: Vigor de especies vegetales claves.

El puntaje total se comparó con la escala puntaje – condición propuesta por Florez y Malpartida (1987) (ANEXO 3).

B. Producción del mantillo.

La respuesta de la función hidrológica del pastizal fue evaluado a través de las variaciones de biomasa y mantillo (ASRM, 1962; AOAC, 1980), para el caso del mantillo, cuidando el efecto de borde (2 m del cerco), se ubicaron al azar 12 puntos de muestreo y con la ayuda de un cuadrante de metal de 0.5 m² se realizaron manualmente el peinado del tejido vegetal muerto en pie y el recojo cuidadoso de las hojarascas ubicados dentro el cuadrante. Las muestras fueron colocadas en bolsa de papel n° 12, se codificaron, se protegieron externamente con bolsa de plástico e inmediatamente trasladado al laboratorio de pastizales de la UNALM. En el laboratorio las muestras fueron sacadas de las bolsas de protección, pesadas con balanza de precisión, oreadas previamente al secado en estufa a temperatura de 105 ° C por 24 horas; luego del cual, las muestras secas fueron pesadas y los datos anotados en registros de análisis del mantillo.

C. Producción de biomasa.

Con la ayuda de una tijera de esquila llamado “lapiaco” se cortaron todo el macollo de forraje verde que estuvieron dentro del cuadrante, las muestras fueron colocados en bolsa de papel n° 12, se codificaran, se protegieron externamente con bolsa de plástico e inmediatamente trasladado al laboratorio de pastizales de la UNALM. En el laboratorio las muestras fueron sacadas de las bolsas de protección, pesadas con balanza de precisión y oreadas para su

posterior secado en estufa a una temperatura de 105 °C por 24 horas y nuevamente pesadas con balanza de precisión; tanto los rendimientos de biomasa y mantillo fueron expresadas en términos de materia seca (kg ms/ha).

D. Temperatura del suelo.

La temperatura del suelo fueron evaluados a profundidades de crecimiento de las raíces (10 – 20 cm); para lo cual luego del muestreo del mantillo y biomasa se construyeron mini calicatas de 15 cm de ancho. En cada punto de lectura se esperaron cinco minutos para la estabilización del sensor de temperatura del geotermómetro. Las lecturas fueron tomadas entre las nueve y once de la mañana debido a que en este lapso de tiempo hubo una cierta estabilidad de temperatura ambiental, viento y poca probabilidad de caída de lluvia que podría afectar la toma de información.

E. Tasa de infiltración.

En cada parcela de estudio se seleccionó dos áreas representativas. Usando una comba y bloque de madera se introdujeron el infiltrómetro doble anillo hasta una profundidad aproximada de 10 cm. El infiltrómetro de 2 mm de espesor fueron fabricados en material metálico de medidas de 40 cm de altura con 40 cm de diámetro (anillo externo) y 40 cm de altura con 30cm de diámetro (anillo interno). Luego de fijado el infiltrómetro en el suelo, se cubrieron la parte interna con una capa plástico con el objeto de amortiguar el golpe del agua al momento del vaciado del agua. Se enrazaron el nivel de agua hasta una medida conocida y se dio inicio a la lectura inmediatamente después de sacado el plástico. Las lecturas fueron realizadas en cm/min a intervalos de un minuto (cinco lecturas), cinco minutos (cinco lecturas), diez minutos (dos lecturas) hasta encontrar la constancia de las dos últimas lecturas (Bouwer, 1986).

F. Humedad del suelo.

Para el monitoreo de la humedad del suelo y la densidad aparente, información importante para el cálculo erosión del suelo, con un cilindro de muestreo de suelo se tomaron muestras de suelo a una profundidad de 10 y 20 cm; las medidas del cilindro fueron de 7.62 cm de altura y 7.62 cm de diámetro; con la ayuda de una comba se clavaron el cilindro en el suelo hasta que toda la cámara

del cilindro este completamente llena de suelo, se sacaron cuidadosamente el cilindro y con un cuchillo plano se uniformizó la superficie de los extremos del cilindro e inmediatamente cubiertos con papel de hornear. Se guardaron herméticamente en bolsa de plástico, se codificó y las muestras fueron inmediatamente trasladadas al laboratorio de utilización de pastizales de la UNALM; en el laboratorio las muestras frescas fueron pesadas, oreadas y secadas en estufa a 105 °C por 24 horas, y luego de este tiempo, las muestras secas fueron pesadas en balanza de precisión y los resultados expresados en porcentaje (Blake, 1965).

G. Grado de erosión del suelo.

Para el monitoreo de pérdida de lamina del suelo, se colocaron en la parte alta de la parcela una fila de cuatro varillas y otra fila de cuatro varillas en la parte inferior de la parcela a intervalos de distancia de 5.25 m entre varilla y varilla. Las varillas fueron redondas de un espesor de 4 mm y 40 cm de largo las que fueron fijados en el suelo a una profundidad de 25 cm. Las lecturas fueron realizadas con vernier digital a cuatro lados de la varilla (superior, inferior, derecha e izquierda). Las evaluaciones se llevaron a cabo a inicios de lluvia (Octubre-Diciembre 2011), plena lluvia (Diciembre-Abril 2012), fin época lluvia (Abril-Junio 2012) y plena época seca (Julio-Agosto). Los datos fueron sumadas algebraicamente respetando los signos de los resultados, de manera que se consideraron a los signos positivos (+) como pérdida del suelo y a los negativos (-) como acumulación de suelo; y para el cálculo de la pérdida del suelo se usó la fórmula (Vásquez y Tapia, 2011):

$$Ps = h * Dap * 10 \quad \text{[Fórmula 2]}$$

Donde:

Ps = Pérdida de suelo por erosión o sedimentación (ton/ha).

h = Lámina de suelo erosionado o sedimentado (mm).

Dap = Densidad aparente del suelo (gr/cm³).

$$Dap = MS/V \quad \text{[Fórmula 3]}$$

Donde:

MS: Materia seca.

V: Volumen del cilindro

$$V = 3.14159 * r^2 * h$$

[Fórmula 4]

Donde:

r = radio del cilindro.

h = altura del cilindro.

3.1.3 Análisis Estadístico.

El efecto de los tratamientos fue examinado en cada uno de los parámetros en un diseño completamente al azar con arreglo factorial (Calzada, 1982; Cordero, 2008). Los tratamientos fueron la combinación de los parámetros de la función hidrológica del pastizal con la época del año y se realizaron un análisis de varianza y un test de separación de medias (test de Duncan para un nivel de significación 0.05). Todos los parámetros fueron analizados por separado a través del programa SAS (S.A.S, 1986).

A. Población, tamaño de muestra y recolección de datos.

Los datos utilizados en esta investigación provinieron de las parcelas experimentales, donde se consideró como población al universo de datos de las principales estados productivos de la comunidad vegetal (años 2011 –2013). En base a este tamaño de población se consideró muestrear lo factiblemente posible con los recursos humanos y económicos existentes por cada parámetro identificado.

La técnica de recolección de datos fue realizada manualmente y los datos fueron recolectados y registrados periódicamente de forma participativa por el tesista, socios del comité de investigación agropecuaria local “allí pastu” de la comunidad campesina Cordillera Blanca y técnicos de la ONG internacional The Mountain Institute.

B. Definición y descripción de las variables.

Lo principal para el análisis estadístico fue identificar las variables y factores que intervinieron en el diseño (Calzada, 1982).

Variable respuesta (variable dependiente), valores de los parámetros de la función hidrológica del pastizal (biomasa, mantillo, temperatura, humedad del suelo, infiltración) y erosión del suelo.

Factor A: Prácticas de conservación de suelos (tres).

Factor B: Aquellas referidas al grupo de épocas del año (seis).

Cada factor enunciado correspondió a una variable independiente y su combinación significó un experimento factorial total de 3 x 6.

Notaciones del proceso de análisis:

Factor A: correspondió a prácticas de conservación de suelos:

a1: técnica actual

a2: técnica de hoyos

a3: técnica de surcos

Factor B: correspondió a diferentes épocas del año:

b1: época seca (mayo, junio, julio, agosto).

b2: época inicio de lluvias (setiembre, octubre, noviembre).

b3: época de lluvias (diciembre, enero, febrero).

b4: época fin de lluvias (marzo, abril).

C. Materiales e instrumentos utilizados.

Se utilizaron datos recolectados de las parcelas experimentales durante el periodo 2011 –2013, artículos especializadas, computadora equipo de cómputo, libros y los datos fueron analizados a través de los software académicos Excel, S.A.S y SPSS.

D. Procedimiento estadístico.

Las hipótesis planteadas para el presente ensayo fueron las siguientes:

Hipótesis

- ❖ **H₀:** el tipo de práctica de conservación del suelo no influye significativamente en el rendimiento de los parámetros hidrológicos del pastizal.

H_a: el tipo de práctica de conservación del suelo influye significativamente en el rendimiento de los parámetros hidrológicos del pastizal.

❖ **H₀**: la época del año no influye significativamente en el rendimiento de los parámetros hidrológicos del pastizal.

H_a: la época del año influye significativamente en el rendimiento de los parámetros hidrológicos del pastizal.

❖ **H₀**: la combinación de la práctica de conservación de suelos y la época del año no influye significativamente en el rendimiento de los parámetros hidrológicos del pastizal.

H_a: la combinación de la práctica de conservación de suelos y la época del año influye significativamente en el rendimiento de los parámetros hidrológicos del pastizal.

Diseño Experimental:

Se empleó el diseño completamente al azar con arreglo factorial con dos factores A (prácticas de conservación) y B (épocas del año), donde los tratamientos considerados fueron la combinación de las prácticas con las épocas del año, cuyas combinaciones hicieron un total de 18 tratamientos. El Diseño factorial fue no balanceado (desigual cantidad de observaciones por casilla) y fue completo, ya que se realizaron todas las posibles combinaciones entre los valores de las variables.

Modelo Estadístico:

Modelo estadístico para un experimento factorial completo no balanceado, con dos factores A y B, y la interacción respectiva:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \tau_j + \alpha\tau_{ij} + e_{ijk}$$

[Ecuación 5]

$$i = 1, 2, 3 ; \quad j = 1, 2, 3, 4, 5, 6 ; \quad k = 1, 2, \dots, n_{ij}$$

donde:

Y_{ijk} = Es la respuesta obtenida (rendimiento de los parámetros hidrológicos del pastizal) en la unidad experimental correspondiente a la k-ésima repetición a la cual se le aplicó el i-ésimo nivel del factor A, con el j-ésimo nivel del factor B.

μ = es el efecto de la media general.

α_i = Efecto del i-ésimo nivel del factor técnico de mejora (A).

τ_j = Efecto del j-ésimo nivel del factor épocas del año (B).

$\alpha\tau_{ij}$ = efecto de la interacción entre el i-ésimo nivel del factor A con el j-ésimo nivel del factor B.

e_{ijk} = Es la variación del error asociado con las ijk unidades.

En definitiva, el interés de los modelos factoriales se sustentó en identificar los efectos significativos pues sólo son éstos los que nos permitieron visualizar las relaciones que se produjeron entre las variables de la tabla de contingencia de múltiples entradas (Ríos, 2015).

Análisis multifactorial de medias.

Teóricamente el análisis de medias nos midió la intensidad de la relación entre las variables, presentó las asociaciones entre las categorías, mediante la producción de dimensiones representativas de las distancias chi-cuadrado; el análisis de medias intentó proporcionar diversos marcos de interpretación a los gráficos, en términos de distancias, centroides, modelos de asociación, y chi-cuadrado; también se mostró cómo los mismos modelos y técnicas aparecen en muchas disciplinas diferentes, a menudo bajo diferentes nombres, y que combinar ideas de estas disciplinas apertura posibilidades adicionales de interpretación (Montgomery, 1991; Ríos, 2015).

3.2 MODELAMIENTO ECOHIDROLÓGICO DEL PASTIZAL.

El estudio del estado ecohidrológico del pastizal, se inspiró en el análisis de los indicadores de los atributos estabilidad del sitio, función hidrológica e integridad biótica (Pyke et al., 2002); para lo cual, se utilizó las informaciones de evaluaciones de campo y resultados de análisis de laboratorio provenientes de muestras de las parcelas experimentales de “Sillacancha”. Los indicadores seleccionados fueron: producción de biomasa, mantillo, temperatura del suelo, humedad del suelo, infiltración del suelo, erosión del suelo y condición del pastizal; los que fueron fuente de información para la construcción de los mapas temáticos en concordancia al marco conceptual diseñado para tal fin (ANEXO 4).

3.2.1 Delimitación de Sitios Ecohidrológicos.

En la Figura 3, se presenta los sitios de evaluación ecohidrológica de la subcuenca Urpay predeterminados en base al análisis de imagen satelital a través del programa ENVI 5.0 y definidos en base al estudio de informaciones de campo. La parte más alta del territorio alcanzó los 4800 m.s.n.m. y los puntos de descarga del río “Urpay”, tributario del río Santa, se ubicaron en las coordenadas UTM 231337, 8924435. Se consideró que la subcuenca estudiada fue representativa de la zona y fuente de información primaria para la construcción de mapas temáticos que fueron utilizados en el desarrollo de los submodelos hidrológicos del pastizal de la subcuenca.

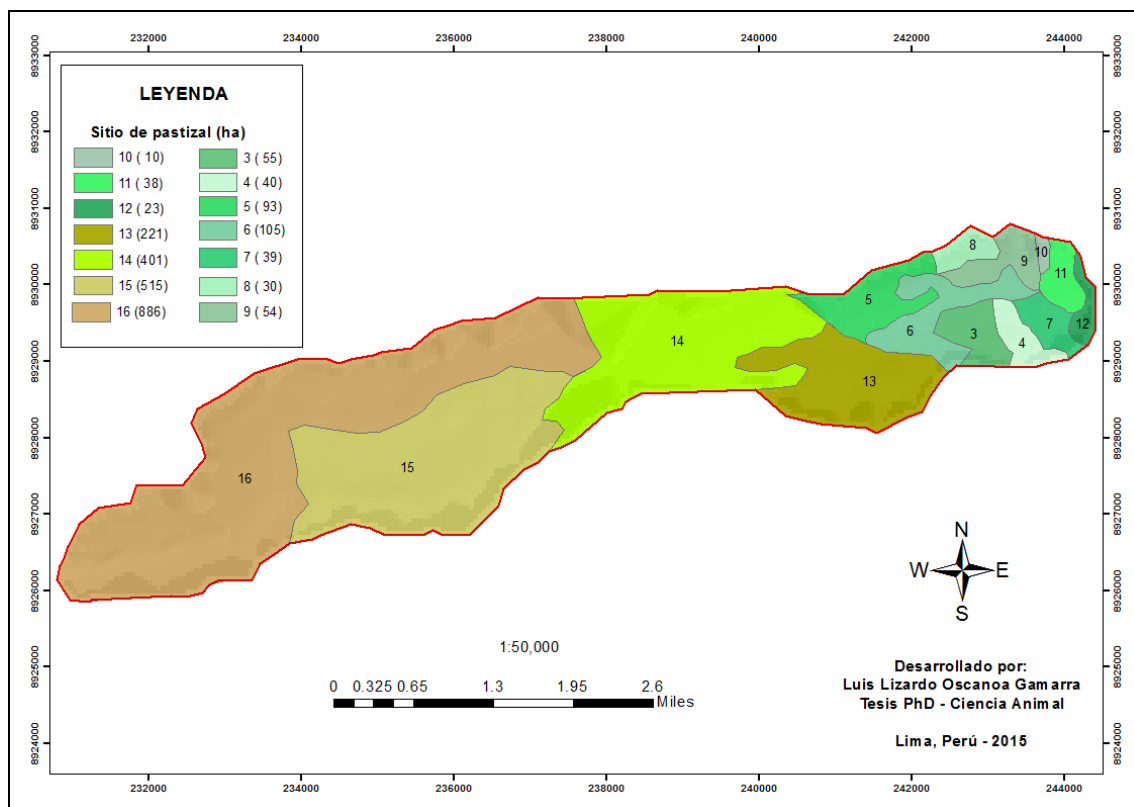


Figura 3: Mapa de sitios de la subcuenca Urpay.

3.2.2 Caracterización Ecohidrológica de la Subcuenca.

El arreglo de los mapas temáticos sugirió generar los submodelos de vulnerabilidad de la cuenca, estado de conservación, función hidrológica y capacidad de retención de agua por el suelo. Para el primer caso, el arreglo de los indicadores fueron la fisionomía vegetal, pendiente y precipitación; para el segundo, la condición del pastizal, modalidad de tenencia de tierras y la práctica local de conservación de suelos; para el tercero, la producción de biomasa, humedad del suelo, producción de mantillo y temperatura del suelo; y para el último la erosión del suelo, tasa de infiltración y análisis textural del suelo en estudio. Los pasos seguidos contempló el arreglo de la información provenientes del objetivo uno de la presente tesis doctoral con la salvedad de que la valoración de los indicadores fueron específicos para la subcuenca en estudio.

A. Vulnerabilidad biofísica de la subcuenca.

La secuencia de pasos desarrollados para mapear la vulnerabilidad biofísica de la subcuenca se inició con la determinación de los indicadores más relevantes

para el estudio de las variables que afectaron la estabilidad fisiográfica de la subcuenca. Los indicadores mencionados fueron analíticamente ponderados en base a datos de análisis de laboratorio, análisis multicriterio de productores y resultados del estudio edafoagrostológico de pastos naturales de la zona, de manera que las variables identificadas fueron lo más pertinentes para la ponderación de indicadores del proceso de vulnerabilidad de la subcuenca.

MINAM (2011) sugirió calificar las variables temáticas que inciden en la vulnerabilidad de la subcuenca, pendiente y precipitación, en cuatro clases; complementariamente para la variable temática fisionomía vegetal, por análisis multicriterio, se incrementó ésta a cinco clases (Cuadro 1).

Cuadro 1: Valoración de variables temáticas de vulnerabilidad.

Variable Temática	Tipo de Vegetación	Calificación	Descripción (Rol de la vegetación)	Puntaje Multicriterio	Fuente
Fisionomía vegetal	Chilliguar	Muy bajo	Cobertura vegetal alta, continua y muy buena protección del suelo.	1	Estudio edafoagrostológico
	Bofedal	Bajo	Cobertura vegetal densa, discontinua y buena protección del suelo.	2	
	Pajonal ocsha	Medio	Cobertura vegetal media y regular protección del suelo.	3	
	Pajonal ichu	Alto	Cobertura vegetal regular y pobre protección del suelo.	4	
	Invasoras	Muy Alto	Cobertura vegetal rala y mala protección del suelo.	5	

Variable Temática	Rango	Calificación	Descripción (Susceptibilidad del suelo a la erosión)	Puntaje Técnico	Fuente
Pendiente	15.84% (9°)	Bajo	Erodabilidad baja	1	MINAM (2011)
	24.93% (14°)	Medio	Erodabilidad moderada	2	
	50.95% (27°)	Alto	Erodabilidad alta	3	
	>50.95% (27°)	Muy Alto	Erodabilidad muy alta	4	

Variable Temática	Rango (mm/año)	Calificación	Descripción (Efecto de la energía cinética)	Puntaje Técnico	Fuente
Precipitación	700-900	Bajo	Baja capacidad de erosión	1	MINAM (2011)
	900-1100	Medio	Media capacidad de erosión	2	
	1100-1300	Alto	Altas capacidades de erosión	3	
	> 1300	Muy Alto	Muy altas capacidades de erosión	4	

Nota: Menor incidencia = 1, , Mayor incidencia = 5

La calificación uno correspondió a la caracterización de muy baja incidencia y el cinco a la máxima incidencia a la vulnerabilidad de la subcuenca. La tabla del grado de incidencia a la vulnerabilidad de la cuenca, construido para la presente investigación, muestra los puntajes ponderativos analíticos y multicriterio que se usaron para el manejo tabular de los mapas temáticos de la fisionomía de la vegetación, pendientes y precipitación (ANEXOS 5a, 5b, 5c), en base a la conceptualización siguiente:

Fisionomía vegetal.

Desde el punto de vista hidrológico, los pastizales se caracterizaron por cobijar plantas de crecimiento bajo, medio y alto que tuvieron la capacidad funcional de capturar agua, conservar el suelo y mantener el flujo de humedad del suelo. De manera tal, que la fisionomía vegetal, como componente del ecosistema pastizal, definió la dominancia de la comunidad vegetal o tipo de pastizal que cubrió la superficie de la cuenca (Tovar y Oscanoa, 2002).

Pendientes.

Fatorelli y Fernandez (2011) indicaron que la pendiente de una cuenca tienen importancia en el comportamiento hidrológico, dado que, indirectamente, a través de la velocidad, incide en el tiempo de concentración; por ello, se definió todo el relieve a través de una curva o de un rectángulo y, se le identificó por un determinado índice que representó la pendiente de la cuenca durante el proceso tabular del SIG.

Precipitación.

Fue definido como el volumen de agua que se precipita sobre la cuenca en estudio por unidad de tiempo y que influyen directamente el grado de infiltración, escorrentía, drenaje, y estabilidad fisiográfica de la subcuenca.

B. Estado de conservación de la subcuenca.

Metodológicamente se consideró estimar el estado de conservación de la subcuenca a través del análisis de los indicadores que evalúan la protección del

suelo. Los pasos del proceso incorporo todas las informaciones primarias y secundarias de los resultados del objetivo uno del presente estudio, con el fin de caracterizar adecuadamente el componente central de la dinámica ecológica del pastizal, uso de recursos y evolución ecológica de la cuenca. Los indicadores para caracterizar el estado de conservación de la subcuenca fueron categorizados en cinco clases (muy pobre, pobre, regular, bueno, excelente) o su equivalente con peso de valores que varió del uno al cinco; cualitativamente el uno correspondió a la calificación de muy baja incidencia y el cinco a la máxima incidencia para la conservación de la subcuenca (Cuadro 2).

Específicamente, los indicadores de la matriz de conservación acogieron analíticamente los datos del estudio edafoagrostológico, las prácticas locales de conservación de suelos, y la modalidad de uso de las tierras asignadas a cada socio de la comunidad campesina; todas fueron tratadas tabularmente en el SIG en base a la conceptualización siguiente (ANEXOS 5d, 5e, 5f):

Condición del pastizal.

Teóricamente, se entendió como condición del pastizal al estado de salud del pastizal con capacidad a ser pastoreado con un número y especie animal recomendado, en clara correspondencia a la conservación sostenible de las principales especies vegetales de la comunidad vegetal. En términos de manejo ésta información nos permitió caracterizar el diseño actual de programas de alimentación de animales al pastoreo de la subcuenca.

Prácticas locales de conservación de suelos.

Este indicador caracterizó al número hectáreas de superficie del suelo que fueron intervenidas con el propósito de mejorar la captura de agua de lluvias. Las prácticas fueron variadas, así se pudo constatar en la subcuenca, la construcción de zanjas de infiltración, quemas y canales de riegos implementados por los usuarios de los pastos naturales; los cuales evidenciaron prácticas de conservación y mejora de los pastos naturales de importancia ganadera.

Cuadro 2: Valoración de variables temáticas de conservación del recurso natural.

Variable Temática	Puntaje Total	Calificación	Descripción (Rol del indicador)	Valor Técnico	Fuente
Condición del pastizal	0-22	Muy pobre	Composición florística escasa y mala protección del suelo.	1	Estudio edafoagrostológico
	23-36	Pobre	Baja densidad de cobertura vegetal y pobre protección del suelo.	2	
	37-53	Regular	Composición florística de pastoreo estacional y poca protección del suelo.	3	
	54-78	Bueno	Composición de plantas pastoreables todo el año, adecuado balance del agua y buena protección del suelo.	4	
	79-100	Excelente	Muy buena composición de plantas para la alimentación de animales al pastoreo y alto ciclo de nutrientes del suelo.	5	
Prácticas de conservación suelos.	Técnicas Mejora	Calificación	Descripción (Rol del indicador)	Valor multicriterio	Fuente
	Tradicional	Muy bajo	Manejo descontrolado de los recursos naturales y limitada posibilidad de éxito de programas de conservación.	1	Análisis participativo
	Quema	Bajo	Prácticas que dejan descubierto el suelo, aumenta la erosión del suelo e incrementa la escorrentía. Suelo muy frágil.	2	
	Zanjas	Medio	Prácticas que mejoran la capacidad de infiltración del suelo, bajan la escorrentía superficial y controlan la erosión del suelo.	3	
	Cercos	Alto	Técnica de recuperación y uso controlado del pastizal.	4	
	Riegos	Muy alto	Técnica que aumenta la densidad de vegetación, mejora el balance hídrico, disminuye la compactación de suelos y aumentan organismos vivos del suelo.	5	
Tipo de tenencia de tierras	Modalidad Uso	Calificación	Descripción (Rol del indicador)	Valor multicriterio	
	Arrendatario	Muy pobre	Organización marginal con mentalidad de máximo provecho de los recursos naturales a bajo costo.	1	Acta comunal
	Comunal	Pobre	Organización con alto poder de control de la utilización de recursos y cambio frecuente de autoridades que afectan los procesos de conservación de largo plazo.	2	
	Multifamiliar	Medio	Organización que sobreusa los recursos de alta potencialidad productiva y reduce el poder del mas fuerte.	3	
	Privado	Alto	Conserva la biodiversidad en concordancia a beneficios económicos, manejo controlado de recursos y aplica tecnologías rentables.	4	
	Familiar	Muy alto	Proactivos a recuperar y conservar la biodiversidad para futuras generaciones, evita el sobreuso de recursos y reinvierte beneficios en la unidad productiva.	5	

Nota: Menor incidencia = 1, , Mayor incidencia = 5

Tipo de tenencia de tierras.

El término tenencia de tierras definió a la forma de asignación del territorio comunal, denominada “estancia”, a un determinado socio de la comunidad; las modalidades fueron: tierras de uso comunal, arrendatario, privado, familiar y multifamiliar; variables importantes que evaluaron la aplicabilidad de acuerdos de conservación y manejo.

C. Función hidrológica del pastizal.

La secuencia metodológica para evaluar la hidrología del pastizal de la subcuenca, tuvo su inicio con la identificación de indicadores claves para calificar los factores que determinaron el rol de la comunidad vegetal en el rendimiento hídrico de la subcuenca. En el proceso se tomó en cuenta los resultados experimentales del objetivo uno de la presente tesis, bajo la hipótesis de que los datos encontrados en las parcelas experimentales son extrapolables a similares tipos de pastizal de la subcuenca.

Los indicadores seleccionados fueron consensuados analíticamente en base a conceptos de calidad del suelo, fisiología vegetal y la ecología del pastizal de la subcuenca; de manera que los mapas temáticos desarrollados manifiestan ser adecuados para entender el potencial hidrológico de la subcuenca. Igual a las anteriores, los indicadores seleccionados fueron categorizados en cinco clases (muy pobre, pobre, regular, bueno, excelente) o su equivalente con peso de valores que varió del uno al cinco, correspondiendo el uno a la calificación de muy baja influencia de los pastos naturales al comportamiento hidrológico y el nueve a la máxima influencia (Cuadro 3).

Cuadro 3: Valoración de variables temáticas de la función hidrológica del pastizal.

Variable Temática	Tipo pastizal	Cantidad (Kg/ha)	Calificación	Descripción (Rol hídrico del indicador)	Valor Multicriterio	Fuente
Biomasa	Invasoras	<741	Muy bajo	Producción irregular y no controla adecuadamente la evapotranspiración.	1	Dato experimental
	Cesped puna	741	Bajo	Producción bajo, irregular y poco control de la evapotranspiración.	2	
	Ichu	785	Medio	Producción regular, heterogéneo y control bajo de la evapotranspiración.	3	
	Ocscha	1067	Alto	Producción alto, heterogéneo y control medio de la evapotranspiración.	4	
	Chillihuar	1375	Muy Alto	Producción muy alto, homogénea, sostenida y control óptimo de la evapotranspiración.	5	
Humedad	Tipo pastizal	Grado (%)	Calificación	Descripción (Rol hídrico del indicador)	Valor Multicriterio	Fuente
	Invasoras	<7.7	Muy bajo	Pastizal con períodos largos de sequía y con limitaciones significadas sobre la ecología de la respiración del pastizal.	1	Dato experimental
	Cesped puna	7.7	Bajo	Humedad del pastizal con variación estacional e interanual que afectan significativamente el desarrollo de organismos que intervienen en la ecología de la respiración de la planta.	2	
	Ichu	11.9	Medio	Humedad del pastizal con variación estacional e interanual que afectan moderadamente la actividad de organismos que intervienen en la ecología de la respiración de la planta.	3	
	Ocscha	16.6	Alto	Alta incidencia positiva en la interacción humedad del suelo y biomasa aérea vegetal para la actividad de organismos que intervienen en la ecología de la respiración.	4	
	Chillihuar	18.1	Muy alto	Muy alta incidencia positiva en la interacción humedad del suelo y biomasa aérea vegetal para la actividad de organismos que intervienen en la ecología de la respiración.	5	
Mantillo	Tipo pastizal	Cantidad (Kg/ha)	Calificación	Descripción (Rol hídrico del indicador)	Valor Multicriterio	
	Invasoras	<73	Bajo	Cantidad irregular de tejidos muertos y de mala calidad para el desarrollo de organismos del ciclaje de nutrientes.	1	Dato experimental
	Pajonal	305	Medio	Cantidad alto de materia orgánica y de pobre calidad para organismos del ciclaje de nutrientes.	2	
	Cesped puna	211	Alto	Cantidad regular de materia orgánica y de regular calidad para organismos del ciclaje de nutrientes.	3	
	Chillihuar	73	Muy alto	Cantidad muy alta de materia orgánica y de muy buena calidad para organismos del ciclaje de nutrientes.	4	
Temperatura suelo	Tipo pastizal	Grado (°C)	Calificación	Descripción (Rol hídrico del indicador)	Valor Multicriterio	
	Cesped puna	11.0	Bajo	Ambiente irregular y muy susceptible a heladas.	1	Dato experimental
	Pajonales	10.6	Medio	Ambiente irregular y frío.	2	
	Chillihuar	10.0	Alto	Ambiente estable, uniforme y contrarrestan bien las heladas.	3	

Nota: Menor incidencia = 1, , Mayor incidencia = 5

El marco conceptual construido para el estudio de la función hidrológica de la subcuenca (ANEXO 4) muestra la interrelación de indicadores más importantes para el rendimiento hídrico de la subcuenca caracterizado en el presente proceso en base a la información experimental biomasa aérea, humedad del suelo, producción del mantillo y temperatura del suelo (ANEXOS 5g, 5h, 5i, 5j); variables que se conceptualizaron de la forma siguiente:

Producción de biomasa.

Desde el punto de vista de la ecología del pastizal, estos son indicadores que evalúan el grado de protección del suelo y según su composición florística caracterizan intrínsecamente los beneficios de captura de gotas de agua del rocío en beneficio del balance hídrico de la cuenca.

Humedad del suelo.

El contenido de humedad del suelo, como indicador hidrológico del pastizal, caracterizó la disponibilidad de agua para el ciclo vegetativo de la comunidad vegetal y su limitación fue interpretada como factor predisponente para el estrés y deterioro de las principales especies vegetales de importancia ganadera.

Producción del mantillo.

Son considerados como mantillo al material de tejidos vegetales muertos que se desprendieron de la planta y aún no están incorporados en el suelo; conceptualmente, estas tuvieron influencia directa sobre la protección del suelo, retención de humedad, grado de infiltración de agua y estructura del suelo; a pesar de estos beneficios, sin el uso adecuado, se convierten en material peligroso como combustibles muy susceptibles a incendios naturales y/o artificiales.

Temperatura del suelo.

La evaluación de la temperatura fue de mucha utilidad para caracterizar la cualidad del suelo para capturar energía de los rayos del sol y entender la influencia sobre el desarrollo fenológico de las plantas y la evapotranspiración. Este indicador midió el grado de calor absorbido y mantenido por el suelo expresado en grados centígrados (°C).

D. Nivel de retención de agua por el suelo.

La secuencia de pasos metodológicos para estudiar la conservación de agua en el suelo de la subcuenca se dio su inicio con la selección de indicadores claves para la evaluación de factores determinantes sobre la capacidad de retención de agua por el pastizal (ANEXOS 5k, 5l, 5m). La metodología tomo en cuenta los resultados del análisis de laboratorio estudiados en el objetivo uno de la presente investigación bajo, la hipótesis de que los resultados de las parcelas experimentales son extrapolables a similares tipos de suelo de la subcuenca. El marco conceptual construido para el estudio de la retención de agua de la subcuenca muestra la interrelación de indicadores más importantes para el estudio de la capacidad hídrica del suelo, en base a la evaluación de la erosión del suelo, infiltración y análisis de la textura del suelo (Cuadro 4).

Cuadro 4: Valoración de variables temáticas en la retención de agua por el suelo.

Variable Temática	Tipo pastizal	Cantidad (TM/ha)	Calificación	Descripción (Rol hídrico del indicador)	Valor Multicriterio	Fuente
Erosión	Proteccion	>45	Bajo	Pastizal de pobre retención de humedad en el suelo y de alta erodabilidad.	1	Dato experimental
	Pajonal ichu	45.00	Medio	Pastizal de mediana retención de humedad en el suelo y de regular erodabilidad.	2	
	Pajonal ocsha	28.70	Alto	Pastizal de alta retención de humedad en el suelo y de baja erodabilidad.	3	
	Chillihuar	<20	Muy alto	Pastizal de muy alta retención de humedad en el suelo y de muy baja erodabilidad.	4	
Infiltracion	Tipo pastizal	Velocidad (cm/min)	Calificación	Descripción (Rol hídrico del indicador)	Valor Multicriterio	Fuente
	Pajonal ichu	0.12	Bajo	Pastizal superficial, compactado y de baja permeabilidad.	1	Dato experimental
	Pajonal ocsha	0.27	Medio	Pastizal superficial, compactado y de regular permeabilidad.	2	
	Chillihuar	0.71	Alto	Pastizal con suelos profundos, con agregados y permeables.	3	
Textura	Clase suelo	Arena-Limo-Arcilla (%)		Descripción (Rol hídrico del recurso)	Valor Multicriterio	Fuente
	Franco arenoso (Fr.A.)	54-42-4	Bajo	Suelos de bajo contenido de arcilla y pobre capacidad de retención de agua.	1	Laboratorio de suelos de la UNALM
	Franco arenoso (Fr.A.)	54-34-12	Medio	Suelos con mayor contenido de arcilla y capacidad media de retención de agua.	2	
	Franco (Fr)	46-42-12	Alto	Suelos de mayor equilibrio entre arena-limo-arcilla, mejor cualidad para el desarrollo de las plantas y de alta capacidad de retención de agua.	3	

Nota: Menor incidencia = 1, Mayor incidencia = 5

Los indicadores estudiados en este tópico fueron categorizados en cuatro clases (bajo, medio, alto, muy alto) o su equivalente con peso de valores que varió del uno al cuatro, correspondiendo el uno a la calificación de baja influencia a la retención de agua y el cuatro a la máxima influencia; cuyos indicadores fueron conceptualizados en forma sucinta como:

Infiltración de agua en el suelo.

La infiltración de agua en el suelo, como indicador hidrológico, evaluó la cantidad máxima de agua que pasó desde la capa superior a la inferior (cm/min) a un determinado grado de humedad del suelo, textura, estructura y nivel de compactación del suelo.

Erosión del suelo.

La erosión del suelo, como indicador hidrológico, evaluó el grado de movimiento de partículas del suelo (tm/ha/año), originado por acción de las lluvias y el viento, en concordancia a las condiciones de textura, estructura y cobertura vegetal.

Textura del suelo.

La textura del suelo, como indicador hidrológico, evaluó la proporción de agrupamiento de arena, limo y arcilla considerados factores muy importantes para la formación de agregados; estas fueron expresadas en términos porcentuales.

3.2.3 Modelación Ecohidrológica de la Subcuenca.

Para lograr un modelo consolidado de los parámetros morfogenéticos, vegetación y uso de recursos naturales de la subcuenca a partir del estudio desagregado de los mapas temáticos, se recurrió al SIG; de manera específica el proceso de calificación fue desarrollado a través del software SIG – ArcGis 10.0 y ENVI 5.0 donde se modeló las características ecohidrológicas de la subcuenca tomando como patrón el ponderado de ponderados elaborado en el marco conceptual descrito para la presente investigación doctoral (ANEXO 4). El proceso determinó las características hídricas de cada uno de

los polígonos para su posterior simulación de mejora de zonas con potencial de manejo ecohidrológico de la subcuenca a través del programa HEC-HMS.

3.3 SIMULACIÓN DE MEJORA HÍDRICA DEL PASTIZAL.

3.3.1 Unidad de simulación.

La unidad de simulación del comportamiento hídrico del pastizal se enmarcó en la subcuenca Urpay (Figura 1). La parte más alta del territorio alcanzó los 4800 m.s.n.m. y la más baja 3450 m.s.n.m. de altitud; en tanto que los puntos de descarga del río “Urpay” se ubicó dentro las coordenadas UTM 230800 y 8926312. En la cabecera de la subcuenca nace el río Urpay generada por la caída de lluvias y, su caudal base fue sostenida en el tiempo por pequeñas lagunas, puquiales y filtraciones que proveen de agua al río durante el ciclo hidrológico; las que finalmente, como tributario, desembocan en el río Santa. La subcuenca fue considerada representativa del sistema de cabeceras de cuenca de la cordillera blanca y fue fuente de información confiable para la simulación del comportamiento hidrológico del ecosistema del pastizal altoandino.

3.3.2 Pasos Metodológicos de Simulación Hídrica.

Dado la bondad del modelamiento hidrológico para predecir los efectos de la cobertura vegetal sobre el rendimiento de agua (Chavarri y Portuguez, 2014), en el presente estudio se utilizó el programa HEC-HMS para determinar el grado de influencia de las prácticas de conservación de suelos (hoyos, surcos y revegetación) sobre la variable caudal del modelo ecohidrológico, cuyos atributos fueron analizados detalladamente en el objetivo dos de la presente tesis con la finalidad de caracterizar realísticamente la tipología ecohidrológica de la subcuenca Urpay y sus implicancias tangibles en el rendimiento hídrico del pastizal de la subcuenca.

A. Componentes del HEC-HMS.

El proceso de simulación se realizó a través de los módulos del programa, al cual se ingresó datos obligatorios requeridos por el HEC-HMS. Nania (2007) indicó que para simular la respuesta hidrológica de una cuenca, HEC-HMS maneja los

componentes: modelos, meteorológicos, control y datos de entrada; la simulación calcula la transformación de lluvia a caudal en el modelo meteorológica, y las especificaciones de control definen el periodo de tiempo de simulación y el intervalo de tiempo a utilizar; en tanto, los componentes de los datos de entrada, tales como las series temporales, tablas y datos por celdas son requeridos como condiciones de contorno tanto en el modelo de la cuenca como en el meteorológico.

Hammouri y El-Naqa (2007) indicaron que la modelación hidrológica requiere la determinación de parámetros hidrológicos que son espacial y temporalmente variable; para tales casos, los SIG fueron las herramientas más poderosas utilizadas para estimar los parámetros del modelo que generan modelos cercanas a las condiciones reales y su combinación con el modelo SCS hizo que la estimación de la escorrentía fuera más fiable.

B. Modelación del escurrimiento.

Para modelar el escurrimiento se definieron los principales parámetros del modelo HEC-HMS; tales como: (1) datos de la superficie de la subcuenca, el método de tasa de pérdida mediante el método curva número, el método de conversión de la lluvia en escurrimiento mediante el método del SCS (Unit Hydrography) y el flujo base constante fue el valor más bajo ocurridos durante la época seca registrados por los vertederos del sistema de monitoreo de la estación Pocco (Gil, 2014), (2) Para el caso particular de curva número ponderada se calculó a través del procesamiento SIG, la impermeabilidad fue considerada como proporción del 5%, el tiempo de concentración (T_c) fue calculada por la ecuación Kirpich:

$$T_c = 0,000323(L^{0,77}/S^{0,385})$$

[Fórmula 6]

donde:

L: longitud del cauce.

S: semisuma de la cota máxima y mínima dividido entre L.

y para el parámetro tiempo de retardo el valor fue considerado como el 60% del tiempo de concentración.

C. Datos pluviométricos.

En este estudio se aplicaron las series de precipitaciones mínimos y máximos mensuales del año 2011-2012 registrado por los pluviómetros de Pocco que se ubicó dentro del ámbito de estudio (Figura 4) . Los datos de precipitación fueron registrados por pluviómetros digitales del tipo Tipping Buckets Davis con captador de datos Hobo® (Rain Collector Davis Económico + HOBO event datalogger + Optic USB Base Station for Pendant) con sensibilidad de 0,2 mm (Gil, 2014). A los datos recopilados se les hizo un análisis de frecuencia con la finalidad de determinar el comportamiento de mayor precipitación y el periodo de la época seca.

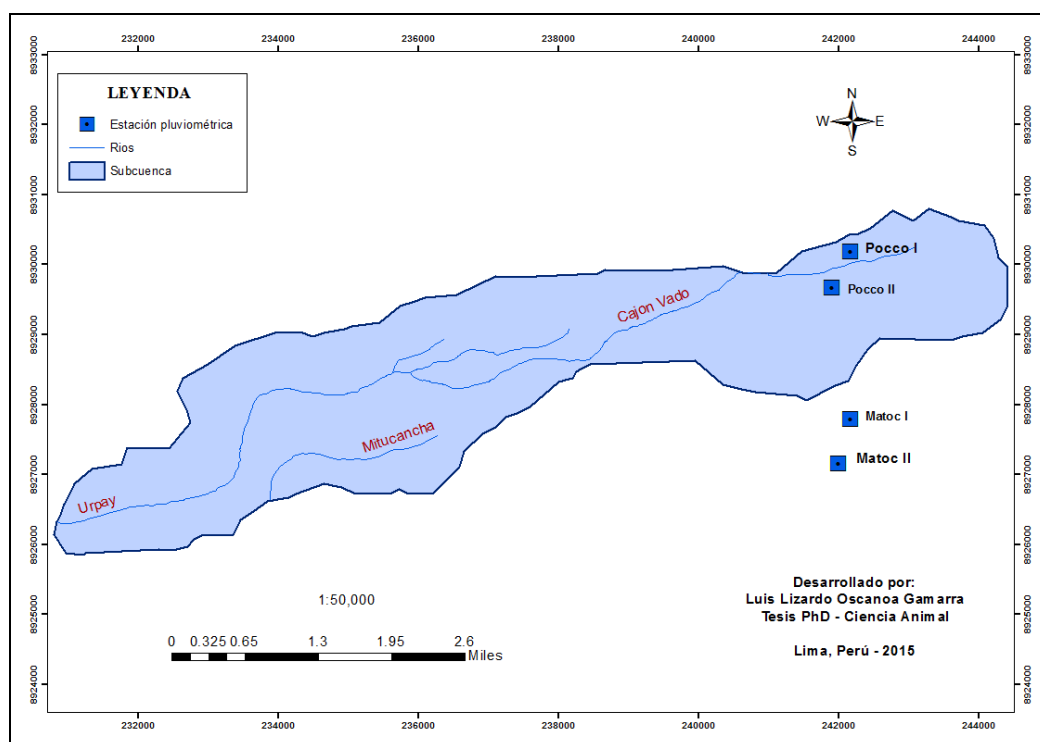


Figura 4: Mapa de ubicación de los pluviómetros de la subcuenca Urpay.

Datos hidrométricos

Gil (2014) evaluó los caudales a través de vertederos mixtos, junto a los cuales fueron instalados los fluviométricos (divers) y barodiver para medidas de presión bajo el agua y la presión barométrica que luego de ser ajustada estimaron la altura del agua requerida por la ecuación hidráulica para el cálculo del caudal; en los vertederos el aforo manual se realizó empleando un recipiente de volumen

conocido en el cual se midió el tiempo de llenado del agua que fluyó por el vertedero; la descarga de datos fue realizado mensualmente con el objeto de evitar pérdida de datos y dar mantenimiento adecuado a los vertederos; el cálculo de caudal se efectuó dividiendo el volumen del recipiente para el tiempo que tardó en llenarse.

Gil (2014) complementariamente indican que con regleta milimétrica dispuesta en paredes de cada vertedero se midieron visualmente la altura del agua que luego fueron contrastadas con datos obtenidos por el sensor automático y la correlación entre la altura de la regleta y el caudal aforado manualmente permitieron calcular con mayor precisión, la curva de descarga registrados por los equipos automáticos de caudales la descarga de los datos se hizo mediante el software Diver-Office 2011 tanto para el sensor como para el barodiver; los datos de altura del nivel del agua fueron utilizados para calcular el caudal del vertedero que finalmente fueron agrupados para obtener el caudal instantáneo, diario, mensual y anual (ANEXO 6).

3.3.3 Hidrograma unitario.

Conceptualmente, un hidrograma unitario es la reacción de una cuenca a la precipitación que cae uniformemente en toda la superficie del suelo con valor unitario de 1mm, con la atingencia de que en la práctica los eventos reales no necesariamente son lineales y que el hidrograma resultante son solamente una aproximación. Sobre la hipótesis de igual precipitación el método fue extrapolado a cuencas de rango de área de aproximadamente 0,32 a 167 millas cuadrados ($1 \text{ km} = 0.62137 \text{ millas}$) y una longitud del canal principal de aproximadamente 1,2 a 49 millas (Asquith et al., 2006).

Singh (2006) encontró que un hidrograma unitario instantáneo (IUH) es el más adecuado para el análisis de lluvia-escorrentía debido a que la duración de la unidad se elimina del análisis y facilita el análisis teórico del proceso de precipitación-escorrentía de una mejor manera.

Gi-Choul et al. (2014) sugirieron que con el fin de estimar los hidrogramas pico para diversos niveles de precisión de los datos pluviométricos, hay que considerar cuatro

pasos importantes en el procedimiento: (1) Colección de datos de entrada necesarios para estimar y probar el modelo básico para una tormenta real, (2) Establecer una relación estadística entre las categorías de uso del suelo, características hidrológicas del suelo, y el número de curva (CN) que utiliza el modelo para representar impermeabilidad, (3) Creación de entrada de escenarios de cambio de datos, (4) Hacer varias ejecuciones del modelo para medir la sensibilidad de las previsiones de las aguas pluviales a errores sistemáticos en la estimación de superficie impermeable

Blume et al. (2007) sugirieron que los coeficientes de escorrentía a base de eventos proporcionan información sobre respuesta de la cuenca, y explican las diferencias observadas con mecanismos de escorrentía relacionados; en tanto que la técnica de separación (método constante k) se basa en la teoría de almacenamiento lineal y las ventajas son teóricamente la determinación del punto final de un evento.

Breña y Jacobo (2006) clasificaron las fuentes principales del escurrimiento en cuatro tipos: precipitación directa sobre el cauce, flujo superficial, flujo base y escurrimiento directo; el primero fue definido como aporte modesto debido a la pequeña superficie que abarcan los ríos y corrientes; el segundo como volúmenes asociados a escurrimientos que varían en el tiempo y en el espacio, el tercero como el aporte de un sistema acuífero somero a un cauce determinado y el último como aquel flujo exceso una vez que quedan definidas las primeras tres fuentes; en la práctica, durante la época de estiaje estas podrán descargar a un ritmo casi constante formando corriente perennes y luego de algunas lluvias, el gasto en un cauce serán de corrientes intermitentes.

A. Modelo curva número

El modelo empírico para evaluar el volumen de escorrentía originado por la lluvia es conocido como el método curva número; durante el proceso, antes de que ocurra el escurrimiento, primero deben cubrir los niveles de intercepción, llenado de la micro topografía del suelo e infiltración; el volumen necesario para satisfacer estos niveles se denomina abstracción inicial.

Balvanshi and Tiwari (2014) encontraron que la relación lluvia-escorrentía es uno de los fenómenos más importantes en el diseño hidrológico de las

estructuras hidrológicas y sistemas de drenaje, y la estimación del volumen de escorrentía de una cuenca es un aspecto importante en la planificación de la ingeniería, la evaluación de impacto ambiental, previsión de inundaciones y los cálculos del balance hídrico; en este contexto hay dos tipos de métodos para la estimación de la escorrentía a saber, el método directo y el método indirecto, el método directo se basa en las mediciones directas mientras que el otro se basa en la aplicación de ecuaciones matemáticas. Uno de los métodos indirectos para el cálculo de la escorrentía es el método número de curva del Servicio Nacional de Conservación de Recursos (ANEXO 7).

B. Caracterización hidrológica de suelos.

Condición hidrológica

Cronshey et al. (1986) sugirió que la condición hidrológica indica los efectos del tipo y tratamiento de cubierta sobre la infiltración, escorrentía y se estima generalmente a partir de la densidad de plantas y cobertura de residuos vegetales en áreas muestra; en este contexto, teóricamente buen estado hidrológico indica que el suelo tiene un bajo potencial de escorrentía y los factores a considerar en la estimación del efecto de la cobertura sobre la infiltración y la escorrentía son: (a) canopia o densidad del prado, cultivos u otras áreas vegetativas; (b) cantidad de cobertura durante el año; (c) cantidad de hierba o legumbres de las serie de rotaciones; (d) porcentaje de cobertura de residuos; y (e) grado de rugosidad de la superficie.

Clasificación hidrológica de suelos

Cronshey et al. (1986) indicaron que los suelos se clasifican en grupos de suelos hidrológicos (HSG) para indicar la tasa mínima de infiltración obtenido para suelo desnudo después de la humectación prolongada; conceptualmente, tasa de infiltración es la velocidad de entrada de agua de la superficie del suelo y HSG indica también la velocidad de movimiento del agua dentro del suelo, la tasa de movimiento es controlada por las características del perfil del suelo; de manera que la condición hidrológica de los suelos fueron agrupados en grupos hidrográficos A, B, C y D en concordancia al potencial de escurrimiento.

HSG A: Suelos que tienen *bajo potencial de escorrentía*, suelos con altas tasas de infiltración aún en condiciones muy húmedas, suelos constituidos principalmente por arena o grava, suelos excesivamente drenados y con alta tasa de transmisión de agua (mayor de 0,30 in/hr).

HSG B: Grupo de suelos de *bajo-moderado potencial de escorrentía*, suelos con tasas de infiltración moderada en condiciones muy húmedas, suelos moderadamente profundos a profundos, suelos moderadamente bien drenados, suelos con permeabilidad moderadamente lenta a moderadamente rápida, suelos con texturas moderadamente finas a moderadamente gruesa, suelos con tasa moderada de transmisión de agua (0,15 0,30 in/hr).

HSG C: Grupo de suelos de *moderado-alto potencial de escorrentía*, suelos con bajas tasas de infiltración en condiciones muy húmedas, suelos en condiciones muy húmedas con capas que obstaculizan la circulación de agua hacia la parte inferior, suelos pobremente drenados a moderadamente drenados con capas de permeabilidad lenta a muy lenta a profundidad superficial, suelos de textura moderadamente finas a finas y suelos con baja tasa de transmisión de agua (0,05 a 0,15 in/hr).

HSG D: Suelos con *alto potencial de escurrimiento* y de muy baja tasa de infiltración en condición muy húmedo, suelos constituidos principalmente por arcilla con alto potencial de hinchamiento, suelo de nivel freático alto permanente, suelo con capa de arcilla superficial, suelo superficial impermeable y suelos con muy baja tasa de transmisión de agua (0-0,05 in/hr).

C. Cálculo de abstracción inicial o umbral de escorrentía (Po)

La abstracción inicial (Po) se determinó a partir del valor curva número aplicado a la ecuación siguiente (NRCS 2004):

$$P_o = 0.2 \times (25400/CN - 254)$$

[Fórmula 7]

donde:

Po = Abstracción inicial o umbral de escorrentía.

CN = Número de curva de escorrentía.

D. Proceso de simulación con HEC-HMS.

El proceso de simulación consideró el hietograma de la estación pluviométrica Pocco I con datos de lluvia que cayó sobre la subcuenca. En gabinete las informaciones fueron adecuados a través de histogramas para la determinación de épocas estacionales del clima; asimismo, se considero como información control del parámetro flujo base datos de la época seca y para observar el hidrograma completo la simulación consideró adicionar tres días a los datos de los eventos de precipitación, lo que implicó registrar información desde 01 marzo 2011 a 03 de abril del 2012 con un intervalo de tiempo de un día.

Zhang et al. (2013) manifestaron que el HEC-HMS ofrece una variedad de opciones de modelos para simular la producción de escorrentía, dentro los cuales se encuentran el modelo curva número SCS, hidrograma unitario, y los métodos de estimación de caudal base que son necesarios para el cálculo de las pérdidas de agua, la transformación de escorrentía, y las tasas de caudal base; el método de Muskingum y constante pérdida se utilizan para calcular las pérdidas de enrutamiento de inundaciones y el agua a lo largo del canal; y los valores de los parámetros del modelo tienen el potencial de cambiar junto con el cambio de tamaño de la sub-cuenca.

3.3.4 Descripción del Análisis Estadístico.

A. Tipo de investigación:

Según la naturaleza de la información, es una investigación cuantitativa, ya que se basó en observaciones reales de campo, se colectó, procesó y analizó los eventos de precipitación que se sucedieron en la subcuenca; los datos tuvieron características longitudinales, ya que se evaluó en varios momentos de tiempo, y el diseño fue de tipo experimental, ya que se basó en la temporalización de la investigación, al cual correspondió el diseño completamente al azar con arreglo factorial que tuvo como objetivo indagar la incidencia de una o más variables y la combinación respectiva (Ríos, 2015).

B. Población, tamaño de muestra y recolección de datos.

Los datos utilizados en esta investigación provinieron de una fuente primaria, donde se consideró como población al universo de datos del ciclo anual de precipitación (marzo 2011 – febrero 2012). En base a este tamaño de población se consideró una muestra total de 1464 datos.

La técnica de recolección de datos fue a través de pluviómetros digitales y los datos fueron recolectados mensualmente por el equipo técnico de la ONG internacional The Mountain Institute que estuvieron realizando estudios de conservación y desarrollo de paisajes de montaña durante los años 2011 – 2012 y los registros de información fueron anotadas como lecturas diarias (Gil, 2014).

C. Definición y descripción de las variables

Lo principal para empezar el análisis estadístico fue identificar las variables y factores que intervinieron en el diseño (Montgomery, 1991):

Variable respuesta (variable dependiente), volumen de descarga hídrica (m^3/seg).

Factor A: Prácticas de mejora de suelo con 4 niveles a1, a2, a3 y a4.

Factor B: aquellas referidas al grupo de épocas del año que se sucedieron en el campo de forma recurrente, con 4 niveles b1, b2, b3 y b4.

Cada factor enunciado correspondió a una variable independiente y su combinación significó un experimento factorial 4 x 4 con 4 niveles por cada factor.

Notaciones del proceso:

Factor A: correspondió a las prácticas de conservación de suelos:

a1: técnica actual

a2: técnica de hoyos

a3: técnica de surcos

a4: técnica revegetación

Factor B: correspondió a diferentes épocas del año:

b1: época seca (mayo, junio, julio, agosto).

b2: época inicio de lluvias (setiembre, octubre, noviembre).

b3: época de lluvias (diciembre, enero, febrero).

b4: época fin de lluvias (marzo, abril).

D. Materiales e instrumentos utilizados.

Se utilizaron datos hidrográficos, de la subcuenca Urpay del periodo marzo 2011 – febrero 2012, libros y revistas especializadas, equipo de cómputo y los datos fueron analizados a través de los software estadístico SPSS 20 y Excel académicos.

E. Métodos y Procedimientos utilizados.

Las hipótesis planteadas para el presente ensayo fueron las siguientes:

Hipótesis

- ❖ **H₀:** el tipo de prácticas de conservación del suelo no influye significativamente en el volumen de descarga hídrica de la subcuenca.
H_a: el tipo de prácticas de conservación del suelo influye significativamente en el volumen de descarga hídrica de la subcuenca.

- ❖ **H₀:** la época del año no influye significativamente en el volumen de descarga hídrica de la subcuenca.
H_a: la época del año influye significativamente en el volumen de descarga hídrica de la subcuenca.

- ❖ **H₀:** la combinación de la práctica de conservación de suelos y la época del año no influye significativamente en el volumen de descarga hídrica de la subcuenca.
H_a: la combinación de la práctica de conservación de suelos y la época del año influye significativamente en el volumen de descarga hídrica de la subcuenca.

Diseño Experimental:

El análisis experimental aplicó el diseño completamente al azar con arreglo factorial con dos factores, A (prácticas de mejora) y B (épocas del año) cada uno con 4 niveles, donde los tratamientos considerados fueron la combinación de las prácticas con las épocas del año, cuyas combinaciones hicieron un total de 16 tratamientos. El Diseño factorial es no balanceado (desigual cantidad de observaciones por casilla) y completo, ya que se realizaron todas las posibles combinaciones entre los valores de las variables. En el cuadro 5, se presenta la cantidad total de observaciones correspondiente a cada una de las casillas (cada casilla corresponde al tratamiento), corresponde a 1464 datos recopilados.

Cuadro 5: Tabla de contingencia 4 x4 tabuladas por época y técnicas.

ÉPOCAS * PRÁCTICAS (tabulación cruzada)

Épocas	Prácticas de conservación				Total
	Actual	Hoyos	Surcos	Revegetación	
Seca	123	123	123	123	492
Inicio de lluvias	91	91	91	91	364
Lluvias	91	91	91	91	364
Fin de lluvias	61	61	61	61	244
Total	366	366	366	366	1464

Se realizaron un análisis de varianza y un test de separación de medias (test de tukey para un nivel de significación 0.05).

Modelo Estadístico:

Modelo estadístico para un experimento factorial completo no balanceado, con dos factores A y B con interacción:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \tau_j + \alpha\tau_{ij} + e_{ijk}$$

[Ecuación 8]

$$i = 1, 2, 3, 4; \quad j = 1, 2, 3, 4; \quad k = 1, 2, \dots, n_{ij}$$

donde:

Y_{ijk} = Es la respuesta obtenida (volumen de descarga hídrica) en la unidad experimental correspondiente a la k-ésima repetición a la cual se le aplicó el i-ésimo nivel del factor A, con el j-ésimo nivel del factor B

μ = es el efecto de la media general.

α_i = Efecto del i-ésimo nivel del factor prácticas de mejora (A).

τ_j = Efecto del j-ésimo nivel del factor épocas del año (B).

$\alpha\tau_{ij}$ = efecto de la interacción entre el i-ésimo nivel del factor A con el j-ésimo nivel del factor B

e_{ijk} = Es la variación del error asociado con las ijk unidades.

En definitiva, el interés de los modelos factoriales se sustenta en identificar los efectos significativos pues sólo son éstos los que nos permitieron interpretar las relaciones que se produjeron entre las variables de la tabla de contingencia de múltiples entradas (Ríos, 2015).

Análisis multifactorial de medias.

(Montgomery, 1991; Ríos, 2015) indicaron que el análisis de medias mide la intensidad de la relación entre las variables, presentan asociaciones entre las categorías, mediante la producción de dimensiones representativas de las distancias chi-cuadrado; proporciona diversos marcos de interpretación a los gráficos, en términos de distancias, centroides, modelos de asociación, chi-cuadrado; y también muestran cómo los mismos modelos y técnicas aparecen en muchas disciplinas diferentes, a menudo bajo diferentes nombres, y que combinar ideas de estas disciplinas da posibilidades adicionales de interpretación.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 PATRONES ECOHIDROLOGICOS DEL PASTIZAL.

4.1.1 Eventos de Precipitación.

En el Cuadro 6, se presenta los resultados de los periodos de monitoreo de precipitación que se realizó en el ámbito de estudio (Gil, 2014). Tal como se puede apreciar en esta, los datos encontrados muestran alta similitud en el promedio de precipitación anual ocurrido en las estaciones pluviométricas Pocco I y II (ANEXO 8); por lo que para los fines de la presente investigación se tuvieron en cuenta solo el de la primera estación para el análisis de los atributos de la función hidrológica del pastizal de las parcelas experimentales de “sillacancha” durante los años 2011-2013.

Cuadro 6: Precipitación mensual de la subcuenca Urpay.

Pluviómetro	Periodo	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	TOTAL (mm/año)
Pocco - PI	2011-2012	242	166	16	7	8	22	37	61	165	223	209	250	1405
Pocco - PI	2012-2013	131	133	16	7	1	4	14	68	202	209	114	334	1231
		186	150	16	7	5	13	26	64	183	216	162	292	1318

Fuente: Registros de las estaciones pluviométricas Pocco I y II.

La curva de precipitación del periodo de estudio mostraron la existencia de cuatro estaciones bien marcadas: la primera correspondió a la época final de lluvias, donde la poca precipitación fue muy notoria (abril-mayo); luego la época plena seca, con el registro de más baja precipitación (junio-julio); seguido por el incremento de caída de lluvias (setiembre-noviembre) y un periodo de máxima precipitación denominada plena lluvias (diciembre-febrero) (Figura 5). En la producción ganadera altoandina, la caracterización de la época de lluvias son factores determinantes para el diseño del programa de manejo de los animales al pastoreo y la aplicación de técnicas de mejoramiento de los pastos naturales.

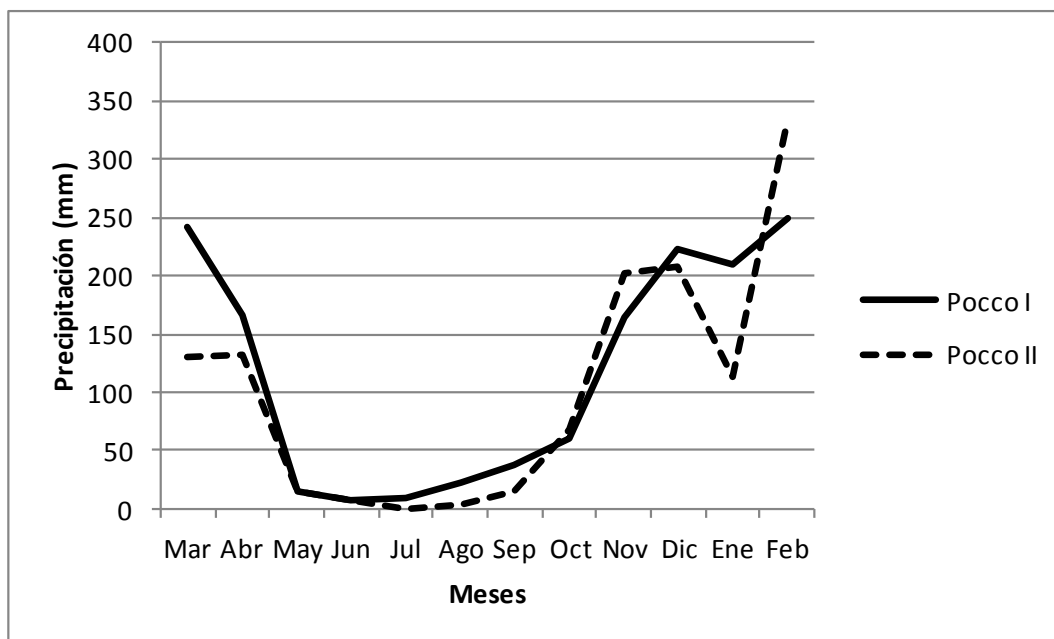


Figura 5: Curva de precipitación de la subcuenca Urpay.

4.1.2 Condición del Pastizal.

La condición del pastizal de las parcelas “Sillacancha” con surcos, hoyos de infiltración y el área testigo se muestran en el Cuadro 7. Los resultados nos indican que las parcelas con técnicas de mejora de suelos (surcos y hoyos) y la del control muestran condición muy pobre del pastizal para ovinos, vacunos y vicuñas a lo largo de dos años de estudio (ANEXO 9). En las parcelas experimentales estudiadas, también se observó que hay uniformidad notoria a nivel de especie vegetal dominante; en tanto que en la subdominante estas se fueron alternadas entre tres especies vegetales representativas de suelos en deterioro.

Cuadro 7: Condición del pastizal de las parcelas experimentales “Sillacancha”.

Especie Vegetal	Condición del Pastizal	Surcos		Hoyos		Testigo	
		oct-11	sep-13	oct-11	sep-13	oct-11	sep-13
Dominante		Cama	Cama	Cama	Cama	Cama	Cama
Sub-dominante		Sciri	Sti sp	Sti sp	Acpu	Sciri	Sciri
Sub-sub-dominante		Mupe	Sciri	Mupe	Cavi	Plan sp	Mupe
Especie Animal	Puntaje	12.5	12.5	16.4	16.6	12	12.5
	Ovinos	Muy pobre	Muy pobre	Muy pobre	Muy pobre	Muy pobre	Muy pobre
	Puntaje	12.5	12.5	14.9	16.1	12	12.5
	Vacunos	Muy pobre	Muy pobre	Muy pobre	Muy pobre	Muy pobre	Muy pobre
	Puntaje	12.5	10	18.4	17.1	10	9
	Vicuñas	Muy pobre	Muy pobre	Muy pobre	Muy pobre	Muy pobre	Muy pobre

Cama: Calamagrostis macrophylla

Sciri: Scirpus rigidus

Sti sp: Stipa sp.

Acpu: Aciachne pulvinata

Cavi: Calamagrostis vicinarum

Plan sp: Plantagon sp.

Mupe: Muhlenbergia peruviana

Los resultados estimados en el presente ensayo fueron similares a los encontrados por Zegarra (1999) en investigaciones del ecosistema pastizal realizados en zonas adyacentes al área experimental, con pequeña variación en puntaje-condición dentro de cada sitio en particular. Una interpretación de los resultados encontrados podría ser de que el atributo condición del pastizal no detecta cambio alguno por tiempos prolongados; sin embargo, al observar los efectos instantáneos de arrastre de materiales por las lluvias evoca la necesidad de resolver algunas preguntas desde una perspectiva ecohidrológica, como por ejemplo ¿Qué atributos son físicamente visibles a cambios de eventos de lluvia?; en este contexto, los estudios edafoagrostológicos manifiestan la necesidad de monitorear, como proceso de aprendizaje, los principales atributos del ecosistema pastizal con el fin de controlar los efectos erosivos de la precipitación y plantear sustentadamente el ajuste estratégico del uso de la tierra.

4.1.3 Parámetros Hidrológicos del Pastizal.

A. Taxonomía vegetal.

La composición florística de las parcelas experimentales “Sillacancha” con técnicas de mejora de suelos se muestran en el Cuadro 8. En las parcelas experimentales se encontraron diez especies vegetales de las familias Poaceae, Cyperaceae, Plantaginaceae, Asteraceae y Polygonaceae; y en todo los casos la especie vegetal *Calamagrostis macrophylla* perteneciente a la primera familia y la *Scirpus rigidus* perteneciente a la segunda familia fueron las que dominaron la comunidad vegetal de las parcelas experimentales en estudio.

Cuadro 8: Composición florística de las parcelas experimentales.

Familia	Especie vegetal	Nombre Local	Surcos		Hoyos		Testigo	
			oct-11	set-13	oct-11	set-13	oct-11	set-13
Poaceae	<i>Calamagrostis macrophylla</i>	Huellap ocsha	20	12	18	13	18	11
Cyperáceae	<i>Scirpus rigidus</i>	Totorilla	5	5	3	5	4	7
Poaceae	<i>Muhlenbergia peruviana</i>	Jircapa sapran	5	4	6	2	2	4
Plantaginaceae	<i>Plantago sp.</i>		3		4		4	
Poaceae	<i>Stipa sp.</i>			7	7			
Poaceae	<i>Calamagrostis vicunarum</i>	Crespillo			2	6		
Poaceae	<i>Aciachne pulvinata</i>	Paco paco			3	10		
Poaceae	<i>Stipa brachyphylla</i>	Granu ichu					1	
Asteraceae	<i>Gnaphalium sp.</i>						2	
Polygonaceae	<i>Muehlenbeckia volcanica</i>	Mullaca						1
	<i>Mantillo</i>		10	17	11	17	18	15
	<i>Suelo desnudo</i>		18	24	19	17	29	33
	<i>Roca</i>		28	13	11	14	16	10
	<i>Pavimento de erosion</i>		11	18	16	13	9	19
Total			100	100	100	100	100	100

Es físicamente visible el muy poco cambio en la composición vegetal, lo que estaría sugiriendo una alta capacidad adaptativa de las plantas que cubren las áreas en estudio; en este contexto resalta la dominancia de la familia Poaceae que resultaron ser similares a los encontrados por Mamani (2002) en estudios desarrollados en la misma comunidad campesina, claro está que al interior de cada familia del pastizal la presencia de cada especie vegetal fue muy variable debido a la alta complejidad del ecosistema pastizal. Tovar y Oscanoa (2002) sugirieron que las comunidades vegetales que pueblan estas zonas son características del pajonal de jallqas.

B. Características fisionómicas del pastizal.

Las variaciones en la composición florística de la comunidad vegetal de parcelas con prácticas de conservación de suelos, surcos y hoyos de infiltración, se presentan en el Cuadro 8. Los censos de vegetación mostraron que el paraje “sillacancha” se encontró dominado por la comunidad vegetal o tipo de pastizal denominado pajonal, en esta forma de vida predominó en su composición, la especie vegetal *Calamagrostis macrophylla*. Desde el punto de vista ecohidrológico, los pajonales se caracterizaron por cobijar plantas de crecimiento alto que tuvieron la capacidad funcional de capturar gotas de agua

del rocío que fueron muy importantes para la regulación de la humedad del suelo.

Estudios de Bradford et.al. (2014) encontraron que las alteraciones en el equilibrio del flujo de agua del ecosistema fueron más pronunciadas en la vegetación herbácea bajo y que la abundancia de plantas leñosas pudieron tener un impacto en la evapotranspiración y la producción de agua; estos resultados justificaron plenamente la caracterización de los tipos de pastizal presente en el ámbito de estudio con el fin de mejorar la utilización del pastizal a través de los sistemas de pastoreo (vacuno-ovino/ llama-ovino), única vía conservacionista al alcance de los productores para mejorar el balance de la composición florística, tejido verde-muerto y la dinámica ecológica del pastizal.

C. Función hidrológica del pasto.

Al comparar la composición florística mostrada en el Cuadro 8, con la curva de precipitación del área de estudio (Figura 4), se pueden observar que las familias dominantes Poaceae y sub-dominantes Ciperáceae, se desarrollan adecuadamente en zonas con elevada variación de precipitación, lo que implica suponer que las familias vegetales en mención se encuentran adecuadamente adaptadas a la estacionalidad de lluvias y a los pulsos de humedad del suelo imperante en el ámbito de estudio.

Marshal (1988) sugirió que las plantas pueden ser afectadas por falta u exceso de humedad y que el déficit hídrico en el tejido vegetal ocurre cuando la tasa de transpiración supera a la absorción del agua; asimismo, encontró una fuerte relación existente entre el estrés hídrico, crecimiento y el rendimiento de la planta, en general fisiológicamente el crecimiento de la célula es más sensibles al estrés hídrico debido a que influye directamente en la apertura de estomas y la asimilación de CO₂; de manera tal, que el estrés hídrico durante el desarrollo de la yema puede afectar su desarrollo vegetativo y el estado reproductivo de la planta.

D. Producción de biomasa aérea.

El efecto de las técnicas de mejora de suelos sobre el rendimiento de biomasa de las parcelas experimentales se presenta en el Cuadro 9. Los resultados del análisis estadístico descriptivo nos sugiere que la producción de biomasa fue afectado por las practicas de conservación de suelos, siendo el más alto la influencia durante el mes de febrero 2013 y en promedio, en este periodo, los surcos (1755 KgMS/Ha) y hoyos (1562 KgMS/Ha) mostraron valores medios más altos de rendimiento de biomasa (1562 KgMS/Ha) con respecto al testigo (1067 KgMS/Ha).

Cuadro 9: Estadísticos descriptivos del rinde de biomasa aérea.

Prácticas de mejora del suelo		Media (KgMS/Ha)	Desviación estándar	N
Control	may-11	948.00	485.08	11
	ago-11	740.73	293.37	11
	oct-11	741.17	447.70	12
	nov-12	785.00	87.63	5
	feb-13	1067.20	110.12	5
	set-13	595.73	337.32	12
	Total	783.57	379.33	56
Hoyos	may-11	898.89	289.55	9
	ago-11	587.17	382.06	12
	oct-11	436.50	218.64	12
	nov-12	886.80	84.27	5
	feb-13	1561.60	277.37	5
	set-13	1025.57	699.14	12
	Total	816.78	513.98	55
Surcos	may-11	907.56	325.04	9
	ago-11	439.17	289.20	12
	oct-11	419.67	131.29	12
	nov-12	1091.20	232.08	5
	feb-13	1755.40	214.98	5
	set-13	1226.07	654.65	12
	Total	862.18	568.06	55
Total	may-11	920.21	372.40	29
	ago-11	584.69	339.04	35
	oct-11	532.44	325.41	36
	nov-12	921.00	192.30	15
	feb-13	1461.40	358.61	15
	set-13	949.12	628.64	36
	Total	820.62	490.99	166

Los resultados del análisis de variancia (ANEXOS 10, 11, 12, 13, 14 y 15a) indican diferencias estadísticas en el efecto del factor mes, así como en las interacciones técnicas por mes; en tanto que la prueba de medias DUNCAN nos sugiere la existencia de tres subconjuntos de homogeneidad entre los niveles del factor mes. Los resultados de comparaciones del factor técnicas de mejora (ANEXO 15a) manifiestan diferencias estadísticas entre el control y los surcos; en tanto las comparaciones por parejas del factor mes son de alta significancia estadística durante el mes de febrero del 2013 al ser contrastado estas con los otros meses estudiados (ANEXO 15b).

La curva de medias marginales estimadas de biomasa aérea se muestra en la Figura 6. Como se puede observar, en estas se visualizan el comportamiento de biomasa aérea del pastizal tratada con surcos y hoyos de infiltración durante el periodo de estudio; el punto menor de la curva (octubre 2011) nos sugiere que en un pastizal de condición muy pobre los suelos son muy sensibles a la perturbación física; tal vez por esta razón la producción de biomasa de los surcos, en esta primera fase, alcanzaron los niveles más bajos al inicio del experimento; luego, conforme se cicatrizó la superficie del suelo esta situación se revirtió y fueron marcadamente superiores al de los hoyos y al testigo a partir de noviembre 2012.

Los resultados determinados en la Figura 6 y Cuadro 9, nos sugieren que la producción de biomasa se encuentra íntimamente relacionada a la capacidad del suelo a retener nivel adecuado de humedad para el desarrollo óptimo de la comunidad vegetal del área en estudio. Rouhollah y Morteza (2013) encontraron que los efectos fisiológicos se dan sobre los estomas y la fotosíntesis, y en escenarios de estrés hídrico se cierran los estomas para no perder agua y al cerrarse reducen inmediatamente la transpiración y fotosíntesis con efectos negativos sobre el rendimiento de biomasa. Asimismo, Hayatu y Mukhtar (2010) coincidieron en señalar que la escasez severa de agua reduce el rendimiento de biomasa total y el contenido de clorofila fotoquímica de los genotipos, y que las reducciones generales de biomasa aérea se exhiben incrementadas en condiciones de estrés hídrico.

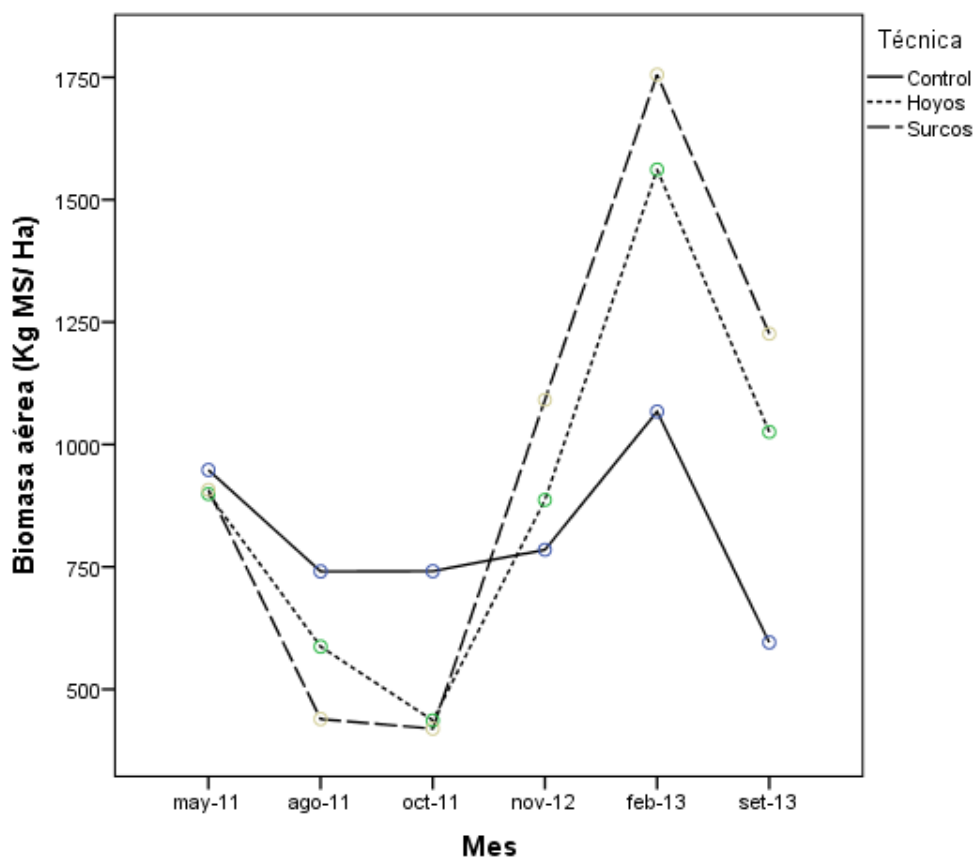


Figura 6: Medias marginales estimadas de biomasa aérea (KgMS/Ha).

E. Producción del mantillo.

El efecto de las técnicas de mejora de suelos sobre el rendimiento del mantillo se presenta en el Cuadro 10. Los resultados del análisis descriptivo, nos indican que el rendimiento del mantillo fue afectado positivamente por las prácticas de conservación de suelos durante el mes de febrero 2013 y, en promedio a dos años de estudio, el mejor rendimiento del mantillo se dio en las parcelas con surcos (402 KgMS/Ha), seguido por los hoyos (388 KgMS/Ha) y el área control (305 KgMS/Ha). Los resultados del análisis de variancia encontraron diferencias estadísticas solo del factor mes; en tanto que la prueba de medias Duncan nos sugiere que el efecto de los meses se ven agrupados en cuatro subconjuntos homogéneos (ANEXO 16a). Asimismo, el análisis de comparaciones por parejas manifiesta diferencias estadísticas significativas plenas al contrastar el mes de agosto 2011 y febrero 2013 con los otros meses estudiados (ANEXO 16b).

Cuadro 10: Estadísticos descriptivos del rinde del mantillo del pastizal.

Prácticas de mejora de suelos		Media (KgMS/Ha)	Desviación estándar	N
Control	may-11	346.00	186.57	12
	ago-11	72.83	75.37	12
	oct-11	135.50	122.91	12
	nov-12	211.40	71.98	5
	feb-13	305.40	102.17	5
	set-13	112.40	132.44	12
	Total	182.50	162.07	58
Hoyos	may-11	252.00	52.34	9
	ago-11	54.50	27.25	12
	oct-11	203.17	222.59	12
	nov-12	286.16	122.54	5
	feb-13	388.44	138.05	5
	set-13	141.58	116.04	12
	Total	189.67	160.31	55
Surcos	may-11	234.67	54.96	6
	ago-11	63.16	67.06	12
	oct-11	105.17	85.86	12
	nov-12	320.00	140.02	5
	feb-13	401.80	148.41	5
	set-13	161.07	109.10	12
	Total	172.49	142.62	52
Total	may-11	289.93	137.13	27
	ago-11	63.50	59.07	36
	oct-11	147.94	156.08	36
	nov-12	272.52	116.52	15
	feb-13	365.21	129.11	15
	set-13	138.35	117.88	36
	Total	181.74	154.81	165

Las curvas de las medias marginales estimadas para la producción del mantillo se muestran en la Figura 7. Como se puede observar en esta, el rendimiento del mantillo de las parcelas con surcos y hoyos, durante mayo 2011 y setiembre 2013, tuvo el mismo patrón de comportamiento estacional que el rendimiento de biomasa. En el mantillo, a diferencia de la biomasa, el punto de inflexión de las curvas se dieron en agosto 2011 y luego esta fue sostenidamente superior en los surcos en comparación al de los hoyos y el control. En febrero 2013 la interacción surco por mes indica que el valor del mantillo esta incrementado, lo que nos hace pensar que a mayor producción de biomasa hay una mayor probabilidad de incremento de tejidos muertos. Funcionalmente, el mantillo es de vital importancia porque coadyuva a la reducción de evaporación del suelo, escorrentía y erosión del suelo.

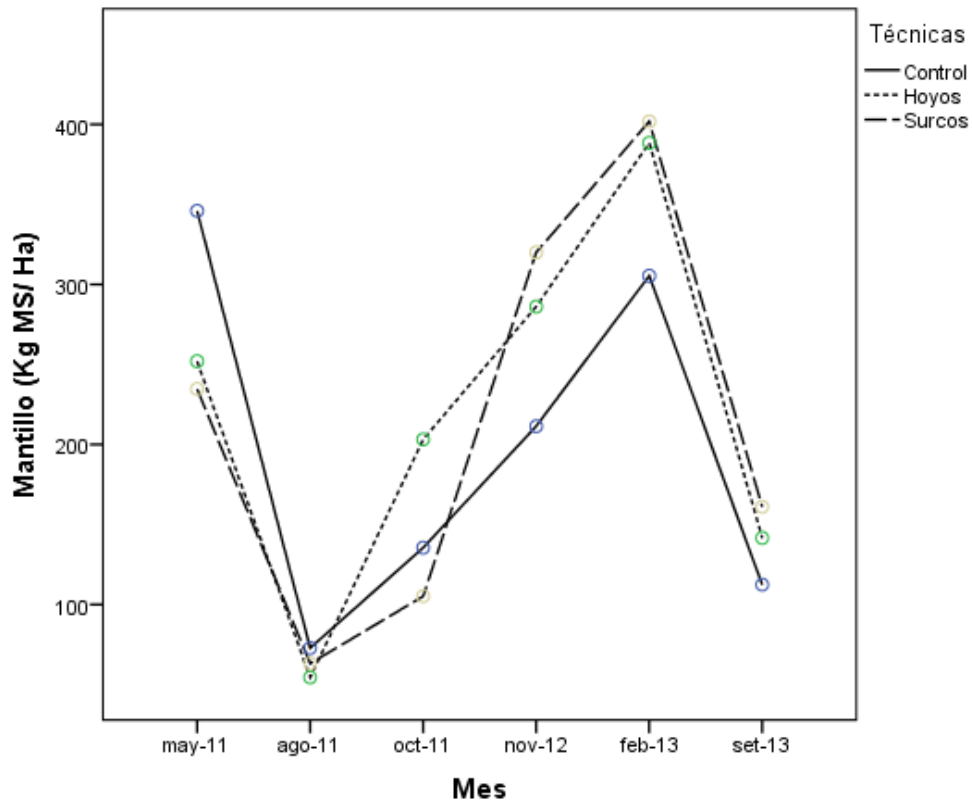


Figura 7: Medias marginales estimadas del mantillo (KgMS/Ha).

Los resultados del Cuadro 10 y Figura 7, nos sugieren que la cantidad de mantillo requerido para el máximo rendimiento del ecosistema pastizal es muy difícil de evaluar, debido al manejo y la variabilidad climática que afectan la dinámica de los sistemas de producción. Estudios de Willms y Jefferson (1993) demostraron que en pradera mixta seco, la producción máxima se alcanzo con la cantidad máxima del mantillo, por lo que sugieren que el pastoreo debe manejarse también con miras a conservar el mantillo con el fin de estabilizar la producción ganadera en plena concordancia con la fertilidad del suelo. Asimismo, otros estudios han encontrado que el mantillo tiene mayor impacto después de la senescencia de la planta, en el otoño, y antes de los períodos de crecimiento de las plantas a principios de primavera (Walter y Peterson, 1990).

F. La temperatura del suelo.

El efecto de la temperatura del suelo sobre parcelas tratadas con prácticas de conservación de suelos se presenta en el Cuadro 11. Según los resultados encontrados existe el efecto del mes sobre la temperatura del suelo que alcanzó

los valores más altos durante el mes de setiembre del 2013; dentro el cual, sobresalió nítidamente el valor máximo de los hoyos (15°C). Y los resultados del análisis de variancia nos sugieren que solo hay diferencias estadísticas significativas en el factor mes; dentro el cual, la prueba de medias Duncan solo encontró dos subconjuntos de grupos homogéneos (ANEXO 17a).

Cuadro 11: Estadísticos descriptivos de temperatura del suelo (°C).

Prácticas de conservación de suelos		Media (°C)	Desviación estándar	N
Control	may-11	13.00	0.63	6
	ago-11	11.00	1.41	4
	oct-11	11.50	1.00	4
	nov-12	10.57	0.51	3
	feb-13	10.00	1.00	3
	set-13	14.33	0.58	3
	Total	11.86	1.64	23
Hoyos	may-11	11.67	1.21	6
	ago-11	11.50	0.71	2
	oct-11	11.75	0.96	4
	nov-12	11.67	0.45	3
	feb-13	10.67	0.58	3
	set-13	15.00	1.00	3
	Total	12.00	1.54	21
Surcos	may-11	11.03	0.68	6
	ago-11	11.00	0.00	2
	oct-11	11.63	0.48	4
	nov-12	10.93	0.21	3
	feb-13	11.00	1.00	3
	set-13	13.83	3.54	6
	Total	11.81	2.10	24
Total	may-11	11.90	1.18	18
	ago-11	11.13	0.99	8
	oct-11	11.63	0.77	12
	nov-12	11.06	0.60	9
	feb-13	10.56	0.88	9
	set-13	14.25	2.49	12
	Total	11.89	1.77	68

Las curvas de las medias marginales estimadas para el cambio de temperatura del suelo se muestran en la Figura 8. En este parámetro el punto de inflexión de las curvas se dieron durante el mes de agosto 2011 que notoriamente fueron a favor de los hoyos y surcos a lo largo de todo el ensayo. Al contrastar la tendencia de la temperatura con el rendimiento del mantillo se observa que a mayor mantillo mayor nivel de temperatura; funcionalmente, para el ecosistema pastizal, este cambio es muy importante, ya que las temperaturas de confort para

las plantas coadyuvan el proceso germinativo de las semillas y el establecimiento de las plantas tiernas.

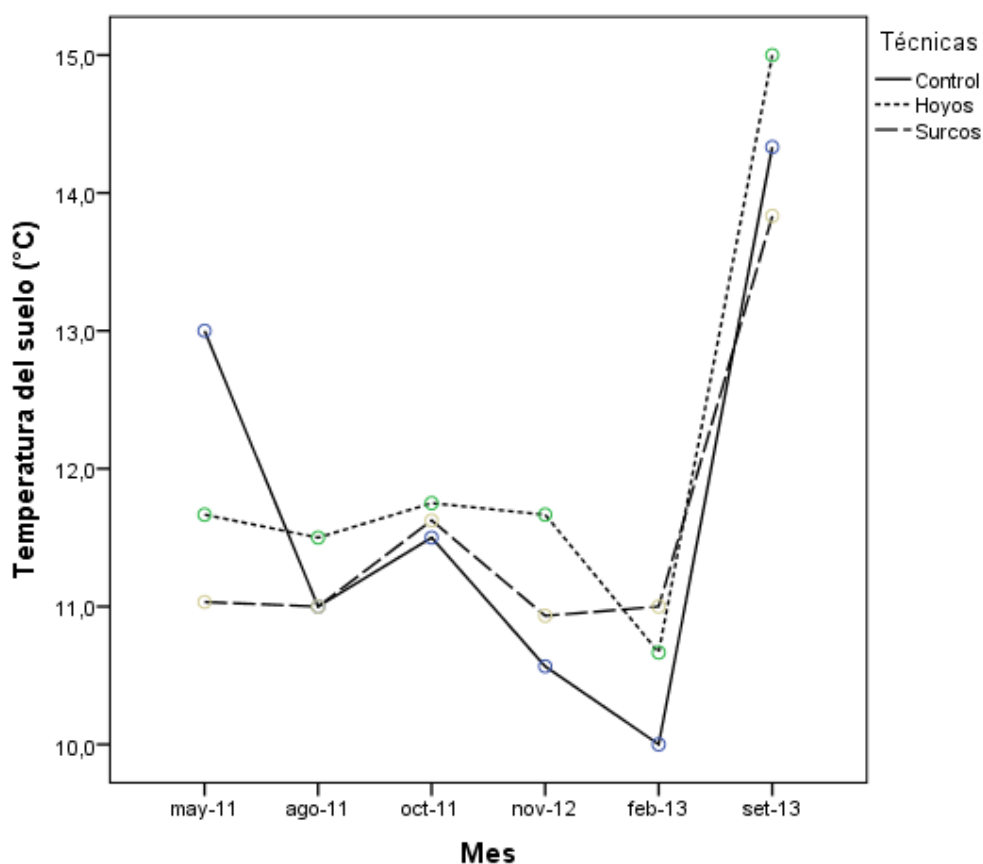


Figura 8: Medias marginales estimadas de la temperatura del suelo (°C).

Los resultados del Cuadro 11 y Figura 8, nos sugieren que la temperatura del suelo se encuentra también interrelacionada con el grado de humedad del suelo. Sobre el tema, Lawrence y Bruce (2005) determinaron que la alta variación diurna de la respiración del ecosistema total, con biomasa máxima y adecuada humedad del suelo, es controlada principalmente por los cambios de temperatura; de manera que la humedad del suelo es el factor ambiental dominante que controla la variación estacional e interanual de la respiración total del ecosistema, cuando la variación de la temperatura es constante.

Yue et.al. (2014) demostraron que la temperatura óptima para la actividad microbiana del suelo es de aproximadamente 25-35 °C y que los efectos interactivos de temperatura y humedad en la mineralización de nitrógeno es significativa; lo que implica que el metabolismo microbiano responden a los

factores que afectan a la actividad microbiana, como pueden ser la temperatura y la humedad.

G. Grado de humedad del suelo.

El efecto de los factores técnicos de mejora del pastizal y los meses del año sobre la composición porcentual de la humedad del suelo se muestra en el Cuadro 12. Los resultados del estadístico descriptivo nos sugieren que ambos factores influyen el contenido de humedad, obteniendo los surcos el nivel más alto (20.8%) durante el mes de febrero del 2013 en comparación al de los hoyos (20.4%) y el control (16.6%).

Cuadro 12: Estadísticos descriptivos de la humedad del suelo (%).

Prácticas de conservación de suelos		Media (%)	Desviación estándar	N
Control	ago-11	7.69	4.50	4
	oct-11	6.02	1.36	4
	nov-12	11.86	1.11	5
	feb-13	16.58	3.52	5
	set-13	10.95	1.33	3
	Total	10.95	4.62	21
Hoyos	ago-11	9.46	4.33	4
	oct-11	7.73	2.43	4
	nov-12	15.82	2.26	5
	feb-13	20.42	2.11	5
	set-13	4.81	0.51	3
	Total	12.59	6.27	21
Surcos	ago-11	6.32	0.87	4
	oct-11	13.40	5.23	4
	nov-12	18.06	2.62	5
	feb-13	20.82	2.87	5
	set-13	12.82	1.28	5
	Total	14.67	5.64	23
Total	ago-11	7.82	3.55	12
	oct-11	9.05	4.52	12
	nov-12	15.25	3.29	15
	feb-13	19.27	3.33	15
	set-13	10.13	3.66	11
	Total	12.79	5.68	65

El análisis de variancia del efecto de las técnicas de conservación de suelos mostró diferencias estadísticas significativas en el contenido de humedad del suelo para los dos factores en estudio y de la interacción respectiva; en tanto que la prueba de medias de Duncan indican que el efecto de las técnicas se agrupan

en dos subconjuntos homogéneos en comparación al factor mes que los hace en tres subconjuntos (ANEXO 18 a). Por otra parte, el análisis de comparaciones por parejas muestra diferencias significativas al contrastar el control con los surcos y hoyos; en cambio al comparar el factor mes (noviembre 2012 y febrero 2013) con los otros meses estudiados, estas manifiestan diferencias estadísticas significativas en todas sus combinaciones (ANEXO 18b). Las curvas de las medias marginales estimadas del nivel de humedad del suelo se muestran en la Figura 9.

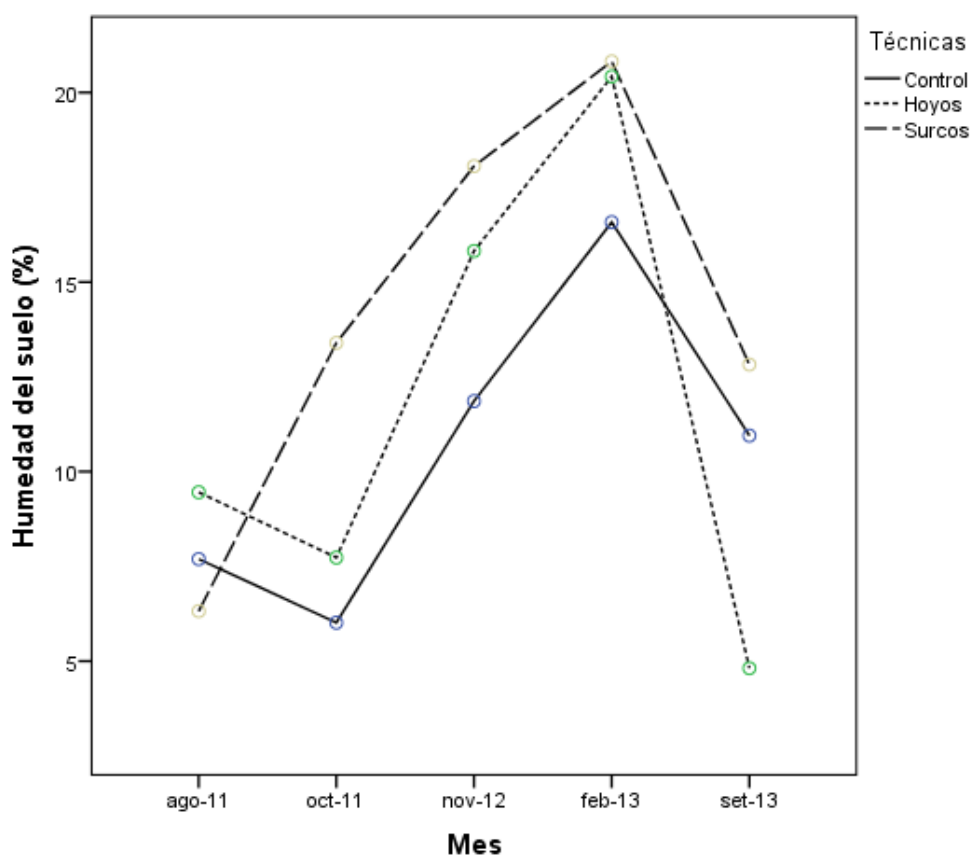


Figura 9: Medias marginales estimadas de la humedad del suelo (%).

Como se puede observar en esta, la tendencia de la curva de interacción de la humedad del suelo fue afectado por las técnicas de conservación de suelos, mostrando los surcos superioridad sostenida desde el comienzo de la evaluación y que alcanza su pico más alto durante el mes de febrero 2013. En el caso particular de los hoyos, al final del experimento, hay un declive pronunciado del porcentaje de humedad, el cual podría deberse a que estas se hayan vuelto a

rellenar de suelo nuevamente. En ese entender, los eventos encontrados confirman que la textura y la estructura del suelo juegan un rol importante sobre la humedad del suelo; y su influencia directa en la función hidrológica del pasto coadyuva la capacidad retentiva del agua por espacios de mayor tiempo.

Los resultados del Cuadro 12 y Figura 9, nos sugieren la existencia de una alta relación entre el nivel de humedad del suelo, producción de biomasa aérea y el mantillo, que sobresale notoriamente en la parcela con surcos durante la época de plena lluvia. Investigaciones de Deutsch et al. (2010) indicaron que la humedad del suelo puede limitar la producción de los pastizales templados-fríos bajo sequía severa y que altos niveles de mantillo mejoran la retención de la humedad del suelo y coadyuvan estabilizar la producción de las plantas.

Zhang et al. (2010) mostraron que las tasas basales de respiración y temperatura varían con la gradiente de humedad; por lo que a un mayor contenido de agua de suelo mayor intensidad de respuesta de la respiración del suelo; de manera que el binomio temperatura del suelo y contenido de agua son los factores ambientales claves de la variación en la respiración del suelo; por lo que el manejo de los efectos de los factores sobre la humedad del suelo son parámetros importantes para la conservación de la función ecohidrológica de los pastizales.

H. Infiltración del agua en el suelo.

El efecto de los factores técnicos de mejora de suelos y los meses del año sobre la infiltración del agua en el suelo se presenta en el Cuadro 13. En términos generales, los resultados del estadístico descriptivo indican que ambos factores influyen la velocidad de infiltración, notándose que en las parcelas con hoyos hay un menor tiempo de infiltración (0.113 cm/min) que en los surcos (0.125 cm/min) y el control (0.135 cm/min).

Cuadro 13: Estadísticos descriptivos de la infiltración del suelo (cm/min).

Prácticas de conservación de suelos		Media (cm/min)	Desviación estándar	N
Control	ene-11	0.27	0.04	2
	ago-11	0.12	0.01	2
	oct-11	0.13	0.01	2
	nov-12	0.11	0.00	2
	feb-13	0.07	0.01	2
	set-13	0.12	0.00	2
	Total	0.14	0.07	12
Hoyos	ene-11	0.09	0.02	2
	ago-11	0.05	0.04	2
	oct-11	0.15	0.04	2
	nov-12	0.15	0.00	2
	feb-13	0.11	0.00	2
	set-13	0.14	0.00	2
	Total	0.11	0.04	12
Surcos	ene-11	0.13	0.05	2
	ago-11	0.14	0.01	2
	oct-11	0.09	0.07	2
	nov-12	0.16	0.00	2
	feb-13	0.12	0.00	2
	set-13	0.12	0.00	2
	Total	0.13	0.03	12
Total	ene-11	0.16	0.09	6
	ago-11	0.10	0.05	6
	oct-11	0.12	0.04	6
	nov-12	0.14	0.02	6
	feb-13	0.10	0.03	6
	set-13	0.13	0.01	6
	Total	0.12	0.05	36

Por otra parte, el análisis de variancia del efecto de las técnicas de mejora no mostró diferencia estadística en la infiltración del suelo en comparación al factor mes que sí manifiesta diferencias estadísticas significativas; en este escenario la prueba medias Duncan agrupó los resultados en tres subconjuntos homogéneos (ANEXO 19 a). Por último, el análisis de comparaciones por parejas muestra diferencias significativas notables cuando todos los meses son contrastados con el mes de enero 2011 (ANEXO 19b).

Las curvas de las medias marginales estimadas de la infiltración de suelos se muestran en la Figura 10. En esta se observa el comportamiento de la interacción de la curva de infiltración con los meses del año, los resultados sugieren una marcada superioridad de los suelos del pastizal donde se aplicaron las técnicas de hoyos y surcos, en comparación al control; a pesar de ello, conforme avanza el tiempo, la dinámica del movimiento de suelos y otros hacen que el comportamiento de los hoyos y surcos sean muy similares.

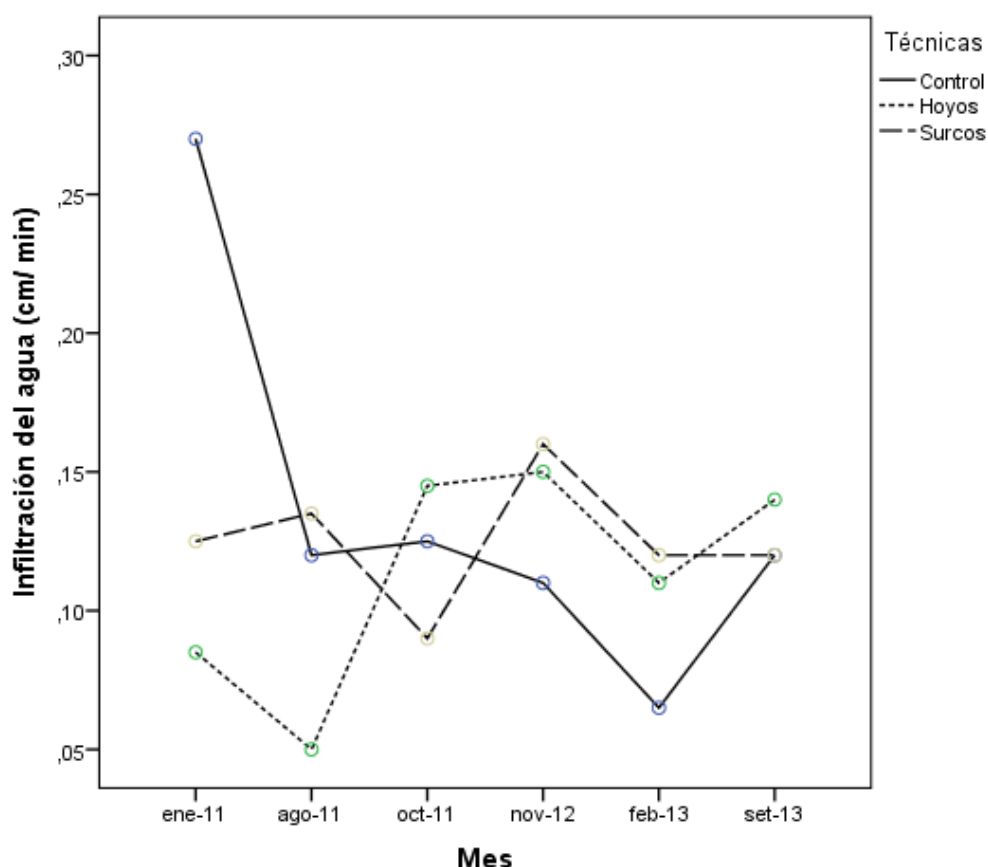


Figura 10: Medias marginales estimadas de la infiltración del suelo (cm/min).

La infiltración del agua en el suelo varió marcadamente debido a los efectos de las técnicas de mejora del pastizal y los meses del año (Cuadro 13 y Figura 10). Este comportamiento es de suma importancia para explicar la relación estrecha entre la cobertura vegetal que depende de la estación del año y la estructura del suelo que facilita la infiltración. En los pastizales con técnicas de mejora de suelos se ha observado que el grado de infiltración alcanza los niveles más altos, el cual coincide con las investigaciones de Chartier et al. (2011) quienes

indicaron que la vegetación e infiltración del suelo estuvieron estrechamente acopladas, y que el pastoreo animal afectaron los procesos ecológicos e hidrológicos, así como a sus interacciones. De la misma forma, Fiedler et al. (2002) en sus investigaciones encontraron una relación estrecha entre la microtopografía y la asociación vegetal de los pastizales e indicaron que las interacciones de la superficie del suelo fueron un componente importante de los efectos de pastoreo sobre la respuesta hidrológica de los pastizales debido a la compactación de la superficie desnuda del suelo.

I. La erosión del suelo

El efecto de las técnicas de mejora suelos sobre la erosión del suelo del pastizal se presenta en el Cuadro 14. Los resultados del estadístico descriptivo muestra que los factores estudiados afectan la conservación de suelos, lo que cuantitativamente se observa que desde diciembre 2011 a setiembre 2013 la que menos pérdida registró fue la parcela con surcos (36 TM/Ha) en comparación de los hoyos (45 TM/Ha) y el control (58 TM/Ha).

El análisis de variancia de los factores estudiados, solo el factor mes muestra diferencia estadística significativa, y a la prueba de medias Duncan estos indican que el efecto mes se agrupan en dos subconjuntos homogéneos (ANEXO 20a). Por otro lado, el análisis de comparaciones por parejas no muestra diferencias estadísticas para el caso de técnicas de mejora; en cambio al contrastar los meses del factor mes se puede observar que los resultados del mes junio 2012, manifiesta diferencia estadística significativa en todas sus combinaciones (ANEXO 20b).

Cuadro 14: Estadísticos descriptivos de la erosión del suelo (TM/Ha).

Prácticas de conservación de suelos		Media (TM/Ha)	Desviación estándar	N	Total (TM/Ha)
Control	dic-11	12.66	17.32	8	
	abr-12	19.89	30.41	8	
	jun-12	-22.90	33.39	8	
	jul-12	17.16	21.77	7	
	ago-12	2.42	7.22	8	
	set-13	28.44	17.62	5	
	Total	8.16	27.58	44	58
Hoyos	dic-11	6.46	13.47	8	
	abr-12	-1.75	25.35	8	
	jun-12	1.59	15.19	8	
	jul-12	13.63	11.59	8	
	ago-12	11.05	19.90	7	
	set-13	14.52	40.57	8	
	Total	7.51	22.83	47	45
Surcos	dic-11	12.54	9.91	8	
	abr-12	4.06	13.35	8	
	jun-12	-3.22	10.14	8	
	jul-12	9.04	10.71	8	
	ago-12	11.03	4.72	8	
	set-13	2.21	20.57	7	
	Total	6.02	12.84	47	36
Total	dic-11	10.55	13.61	24	
	abr-12	7.40	24.87	24	
	jun-12	-8.18	23.62	24	
	jul-12	13.11	14.83	23	
	ago-12	8.04	12.22	23	
	set-13	13.69	30.19	20	
	Total	7.21	21.68	138	

Las curvas de medias marginales de la erosión del suelo se muestran en la Figura 11. Como se puede observar en esta, la interacción de las técnicas de mejora de suelos afectaron negativamente el proceso haciendo que esta sean menos variable en comparación al control; asimismo, fue muy notorio que al final del experimento las parcelas con surcos mostraran el pico más bajo de pérdida de suelo y en promedio la técnicas de mejora del pastizal muestran un comportamiento uniforme a lo largo del periodo de estudio en comparación al testigo que se mostraron irregulares. En este escenario, debido a que los pastizales fueron utilizados únicamente para la alimentación de animales al pastoreo, supondría que el pisoteo animal fue el factor determinante para la irregularidad de movimiento del suelo.

Es muy reconfortante demostrar con resultados (Cuadro 14 y Figura 11) que las propuestas de mejora del pastizal del presente estudio son alternativas para controlar la erosión de suelos, y que estas sean relativamente menores a los registrados por Vásquez y Tapia (2011) quienes indicaron que la pérdida de suelo, en laderas de la sierra peruana, fueron sumamente alta (45 ton/ha/año o 3.20 mm/año) y cuando estas fueron tratadas con zanjas de infiltración se redujeron la perdida en aproximadamente a mitad del testigo (24.44 ton/ha/año o 1.73 mm/año); a la luz de los resultados los surcos y hoyos son alternativas de mínimo costo a tenerse en cuenta para la conservación ecohidrológica del pastizal dedicadas al pastoreo animal. Sobre el tema, Zhou et al. (2010) señalaron que si bien es cierto que los animales al pastoreo son medio de vida para los agricultores, en la práctica estos inadecuadamente manejados causan efectos negativos por pisoteo animal con graves efectos sobre la compactación del suelo que dañan las propiedades físicas del suelo e incrementan la erosionabilidad de tierra vegetal.

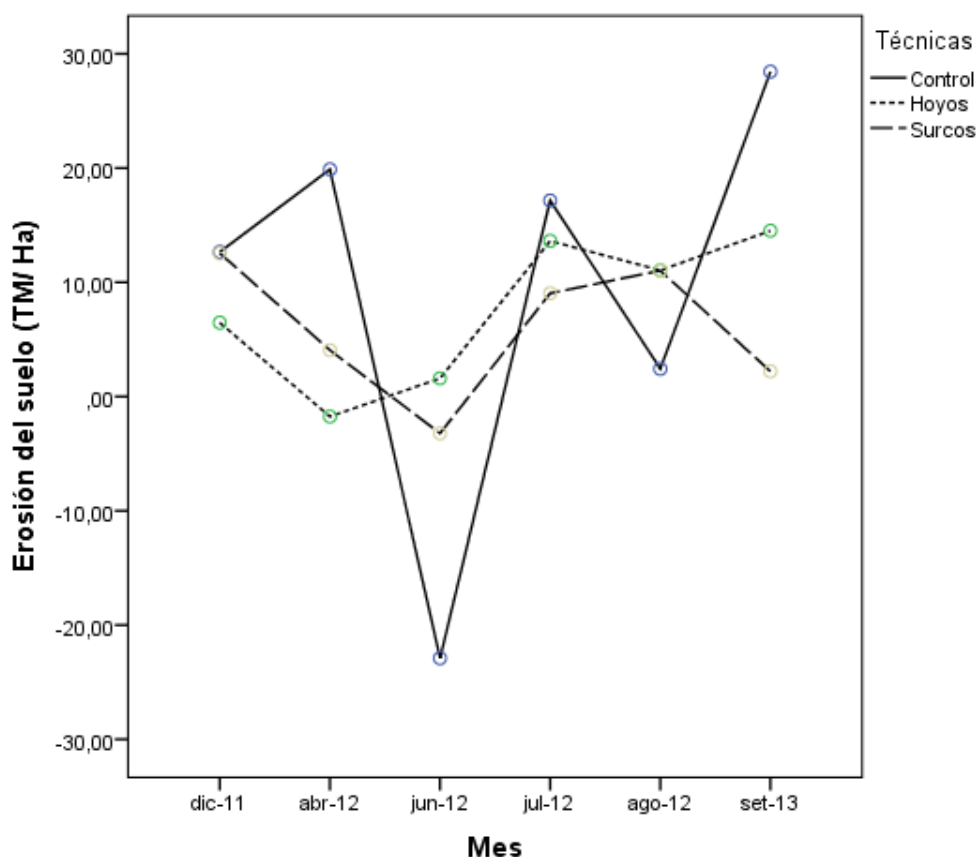


Figura 11: Medias marginales estimadas de la erosión del suelo (TM/Ha).

4.2 MODELO ECOHIDROLOGICO DEL PASTIZAL.

En este capítulo se describen los resultados ponderados de evaluación, ordenamiento y agrupamiento de trece mapas temáticos que determinaron el estado ecohidrológico de la subcuenca (ANEXO 5). El estudio partió del análisis de los indicadores de los atributos de las parcelas experimentales de “sillacancha”, desarrollados detalladamente en el objetivo uno de la presente investigación doctoral, que agrupados de acuerdo a su grado de interconexión dio origen a los submodelos siguientes: (a) Grado de vulnerabilidad biofísica, (b) estado de conservación, (c) función hidrológica del pastizal y (d) capacidad de retención de agua por los suelos.

4.2.1 Submodelos de la Subcuenca Urpay.

A. Grado de vulnerabilidad biofísica.

El Cuadro 15, presenta los resultados ponderados de la vulnerabilidad de la estabilidad biofísica de la microcuenca, que involucró la valoración de cada uno de los indicadores (ANEXOS 5a, 5b, 5c) del atributo que determinó la estabilidad fisiográfica de la zona en estudio. Resultados del proceso sugieren que el área se encuentra cubierto, en su mayor parte, por el tipo de pastizal denominado localmente como “pajonal de ocsha” (*Calamagrostis macrophylla*), de pendiente ligeramente inclinado y una frecuencia de lluvias que oscila entre 1061 y 1170 mm/año; en términos ponderados la estabilidad de la subcuenca calificó ser de condición bajo en un 28% de la superficie, medio en un 49 % , alto en un 18% y solo el 5% de la superficie califica ser de muy alta vulneración de un total de 2478 has; lo que indican que alrededor del 23% del territorio de la subcuenca Urpay se encuentra en franco proceso de inestabilidad biofísica.

Cuadro 15: Vulnerabilidad biofísica de la subcuenca Urpay.

Fisionomía (35 %)			Pendiente (40 %)			Precipitación (25 %)			ESTADO VULNERACIÓN		
Zona	Superficie (ha)	Valoración Temática	Porcentaje	Superficie (ha)	Valoración Temática	mm/año	Superficie (Ha)	Valoración Temática	Valoración del submodelo	Superficie (has)	%
Chilluar	468	1	00 - 16	1606	1	700-900	111	1	Bajo	698	28
Humedal	518	2	16 - 25	292	2	900-1100	319	2	Medio	1219	49
Ocsha	727	3	25 - 51	69	3	1100-1300	2077	3	Alto	437	18
Ichu	428	4	> 51	539	4				Muy alto	124	5
Invasoras	363	5									
TOTAL	2504			2506			2507			2478	100

Tal como se aprecia en el Cuadro 15 y Figura 12, el arreglo ponderativo de indicadores expresa en el mapa el estado de vulnerabilidad de la subcuenca; de manera que las áreas calificadas como vulnerables, alta y muy alta pueden estar manifestando una amenaza seria sobre la conservación de recursos, y de continuar esta situación pueden ocasionar daños irreversibles sobre la textura y estructura del suelo. A medida que se extrapola el análisis de los datos experimentales a áreas adyacentes, se afianza la hipótesis de que los daños no solo son naturales, sino que estas son una combinación muy compleja de los componentes biofísicos, sociales, económicos y políticos que interactúan entre sí y que en la práctica resultan enfrentados en su tratamiento. Entonces, siendo la subcuenca tierras comunales, es pertinente concluir que el estado de vulnerabilidad es un reflejo de poca claridad en su tratamiento; lo peligroso de esto, es que si esta no presenta resultados físicamente visibles de bienestar para el usuario pueden dar origen a organizaciones marginales que se excluyen de toda regulación comunal para la conservación de los recursos naturales.

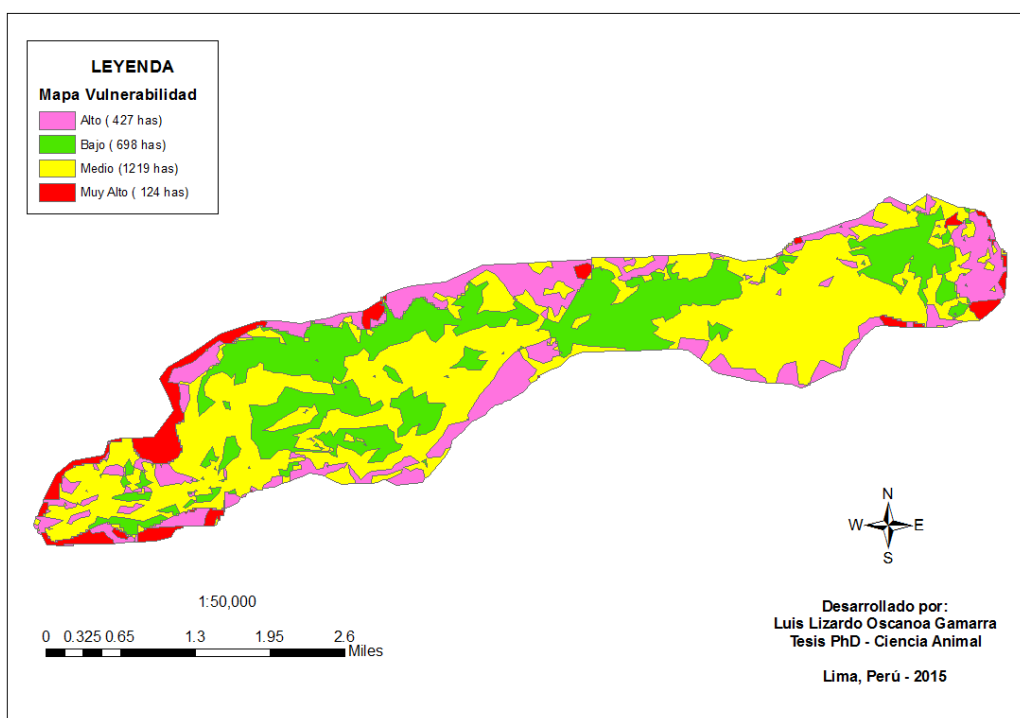


Figura 12: Grado de vulnerabilidad de la subcuenca Urpay.

B. Estado de conservación de la subcuenca.

En el Cuadro 16, se observa los resultados del nivel de conservación de la subcuenca que involucró principalmente la ponderación de los mapas temáticos edafoagrostológicos, prácticas de mejora, y modalidad de uso (ANEXOS 5d, 5e, 5f), datos muy importantes para la estabilidad ecológica de la subcuenca. Los resultados del análisis sugieren que la conservación de la subcuenca estima ser, en mayor proporción, de condición Muy pobre (65%), pobre (32%), regular (3%); los dos últimos resultados expresan potenciales espacios para la conservación de la capacidad hídrica de la subcuenca sobre un área total de 2504 has. De manera que con el apoyo del estudio edafoagrostológico urge la necesidad de hacer un balance entre la oferta y demanda del recurso pastizal para el reordenamiento de la alimentación de animales al pastoreo de la subcuenca.

Cuadro 16: Conservación biofísica de la microcuenca Urpay.

Edafoagrostología (50%)			Prácticas (20%)			Modalidad de uso (30%)			ESTADO CONSERVACIÓN		
Condición	Superficie (ha)	Valoración Temática	Mejora	Superficie (ha)	Valoración Temática	nm/año	Superficie (Ha)	Valoración Temática	Valoración del submodelo	Superficie (has)	%
Muy pobre	1640	1	Tradicional	2390	1	Comunal	1062	2	Muy pobre	1632	65
Pobre	794	2	Quema	77	2	Multi familiar	498	3	Pobre	795	32
Regular	54	3	Zanjas	12	3	Familiar	947	5	Regular	77	3
Bueno	23	4	Riegos	77	5						
TOTAL	2511			2556			2506			2504	100

La subcuenca Urpay es parte de la cadena de cabeceras de cuenca del Parque Nacional Huascarán consideradas zonas importantes para el balance hídrico del callejón de Huaylas (Figura 13). El hecho de ser cabeceras de cuenca, su elevada capacidad de captación de agua y dinámica de la ecología del pastizal atrae la presencia de animales doméstico y silvestre que eleva la presión de pastoreo de la comunidad vegetal.

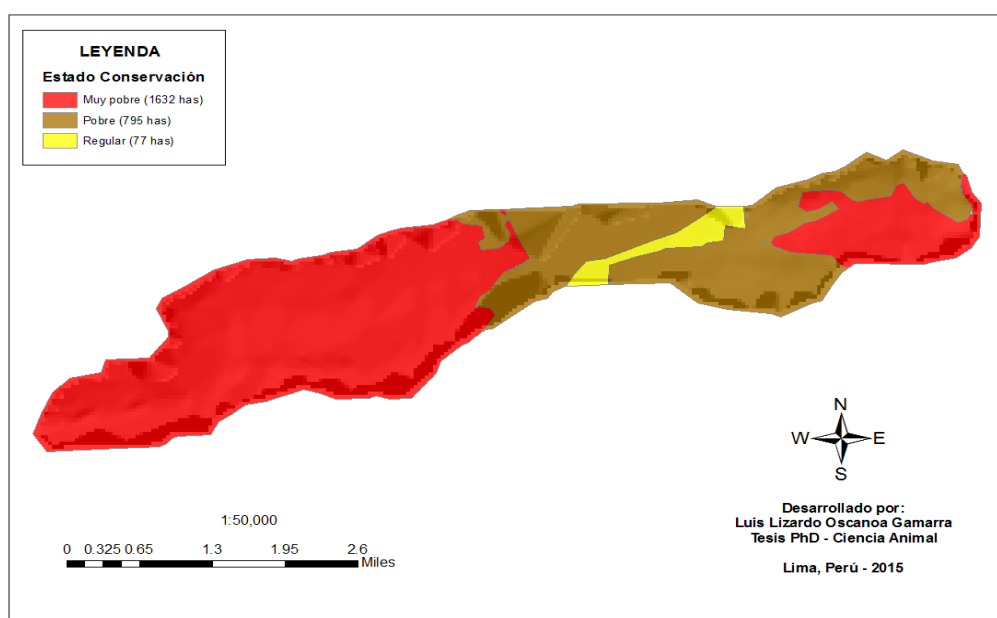


Figura 13: Estado de conservación de la subcuenca Urpay.

El estudio edafoagrostológico, nos sugiere que el deterioro de la capacidad de soporte va en aumento, siendo lo más grave la pérdida de especies vegetales

claves para la alimentación de animales al pastoreo (Cuadro 7, 8 y ANEXOS 5d y 21). Para remediar esta situación, localmente, anterior a esta investigación aplicada, se realizaron esfuerzos por aplicar técnicas de mejoramiento de suelos (construcción de cercos, zanjas de infiltración, reforestación, quemas) que a la luz de los resultados el problema se va agravando, ya que estas no responden a las necesidades básicas del manejo técnico de la capacidad de soporte del pastizal, movimiento animal, flujo de pastoreo, manejo de aguadas, etc.

C. Función hidrológica del pastizal.

Tal como se puede apreciar en el Cuadro 17 y ANEXOS (5g, 5h, 5i, 5j), el resultado principal fue la identificación de la humedad del suelo como factor determinante para el estudio de la subcuenca, en donde las superficies calificadas como muy alto, alto y medio, que proporcionalmente representan el 43% de la superficie de un total de 2476 has, son los principales territorios de regulación hídrica; los cuales, son influenciados por el tipo de pastizal chillihuar y ocsha. Sobre el particular, se indica que los humedales tienen una alta vocación de almacenamiento de agua, debido a la presencia de plantas de mejor calidad hidrológica. En este contexto, las laderas se convierten en espacios de alto valor para la conservación de la subcuenca Urpay, debido a que interviene directamente en el control de la escorrentía y erosión del suelo.

Cuadro 17: Función hidrológica del pastizal.

Biomasa (30%)			Humedad del suelo (40%)			Mantillo (20%)			Temperatura suelo (10%)			ESTADO HIDRICO		
Zona	Superficie (ha)	Valoración Temática	Zona	Superficie (ha)	Valoración Temática	Zona	Superficie (Ha)	Valoración Temática	Zona	Superficie (Ha)	Valoración Temática	Valoración del submodelo	Superficie (has)	%
Invasoras	621	1	Cesped puna	1415	2	Invasoras	828	1	Cesped puna	1430	1	Muy bajo	424	17
Cesped puna	762	2	Ichu	406	3	Pajonal	366	2	Pajonales	532	2	Bajo	998	40
Ichu	518	3	Ocscha	279	4	Cesped puna	772	3	Chillihuar	544	3	Medio	638	26
Ocscha	268	4	Chillihuar	404	5	Chillihuar	538	4				Alto	193	8
Chillihuar	336	5										Muy alto	223	9
2506			2505			2504			2505			2476 100		

En términos biofísicos, la selección de indicadores proporcionan datos importantes sobre la funcionabilidad del pasto para la recarga hídrica, los que son visualizados plenamente en el mapa de la subcuenca (Figura 14). En este contexto, la subcuenca presenta valores significativamente bajos que califican proporcionalmente a la subcuenca como de alta pobreza ecológica (Cuadro 17).

En este escenario, en promedio el 9% de la superficie se encuentra cubierto por los chillihuales, y que los niveles de sostenimiento de la humedad del suelo pueden deberse a la capacidad hidrológica de esta comunidad vegetal. En sí, la poca presencia de este tipo de pastizal no puede considerarse del todo una desventaja, si no un buen argumento para conservarlo porque cobija una composición florística genéticamente seleccionado de forma natural; por lo que con el uso de la información del modelo amerita determinar espacios de

conservación y áreas para la propagación de estas especies de alta calidad hidrológica.

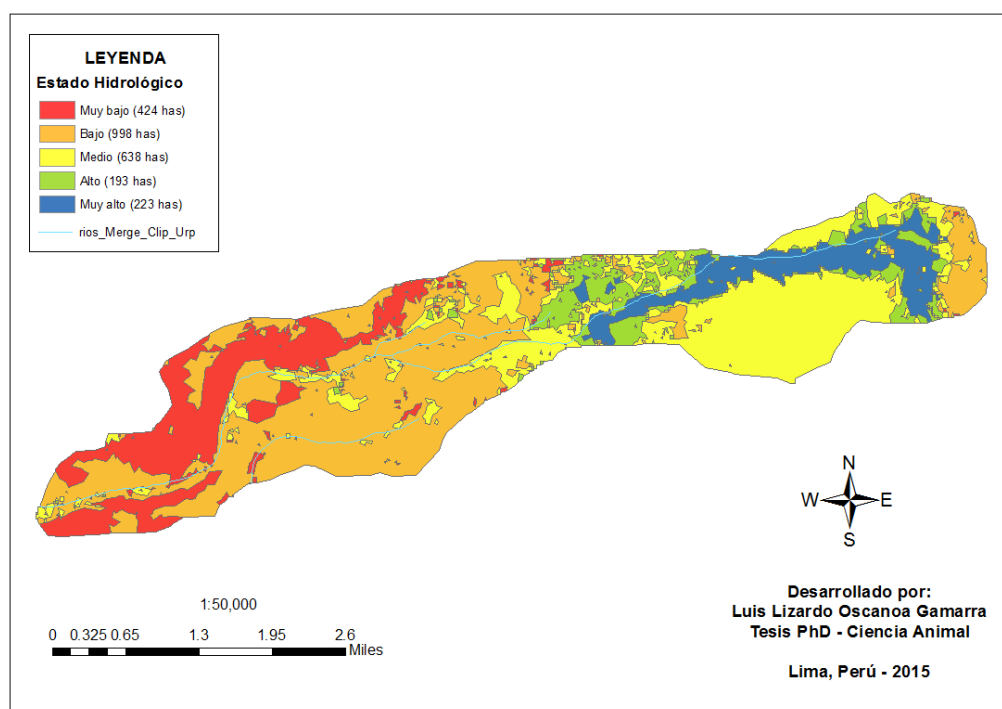


Figura 14: Función hidrológica de la subcuenca Urpay.

D. Estabilidad hídrica de los suelos.

Tal como se puede apreciar en el Cuadro 18, uno de los principales hallazgos corresponde a la caracterización de la estabilidad hídrica de los suelos de la subcuenca, en donde las áreas calificadas como alta solo representan el 16% de la superficie de un total de 2,501 has; de manera que estas zonas fueron las principales áreas de reserva de agua, determinado en gran medida por el tipo de pastizal chillihuar y ocsha de la microcuenca. Teóricamente, este tipo de pastizal tiene una buena capacidad de almacenamiento de agua y juegan un rol muy importante en la regulación del flujo de agua. Por tal razón, es pertinente realizar urgentes acciones de conservación, tanto de la comunidad vegetal, lagunas, puquiales y puntos de filtraciones del potencial de este recurso hídrico.

Cuadro 18: Capacidad de retención hídrica de los suelos de Urpay.

Erosión (30%)			Infiltración (30%)			Textura del suelo (40%)			RETENCIÓN DE AGUA		
Zona	Superficie (ha)	Valoración Temática	Zona	Superficie (ha)	Valoración Temática	Arena - limo - Arcilla	Superficie (Ha)	Valoración Temática	Valoración del submodelo	Superficie (has)	%
Protección	633	1	Pajonal ichu	429	1	54-42-4 (Fr.A.)	1681	1	Alto Medio Bajo	965	39
Pajonal ichu	414	2	Pajonal ocsha	1653	2	54-34-12 (Fr.A.)	406	2		1137	45
Pajonal ocsha	911	3	Chlliuar	424	3	46-42-12 (Fr)	419	3		399	16
Chilliuar	548	4									
2505			2505			2506			2501	100	

El estudio de las parcelas experimentales de “sillacancha” proporcionó datos importantes sobre la capacidad de retención de agua por los suelos, los que son representados adecuadamente por el submodelo (Cuadro 18). En este contexto, la subcuenca presentó espacialmente las zonas de mayor calidad hidrológica que en el mapa se encuentra pintado de grises y negro (Figura 15). Del análisis de la información se concluyeron que estas zonas coinciden con el espacio de la rivera del río naciente de la subcuenca; en ese sentido de forma práctica y con el apoyo del mapa queda la tarea de delimitar espacios adecuados para la reserva de estos espacios y la aplicación de sistemas de riego extensivos que permitan reorientar la presión animal a las partes adyacentes subutilizados.

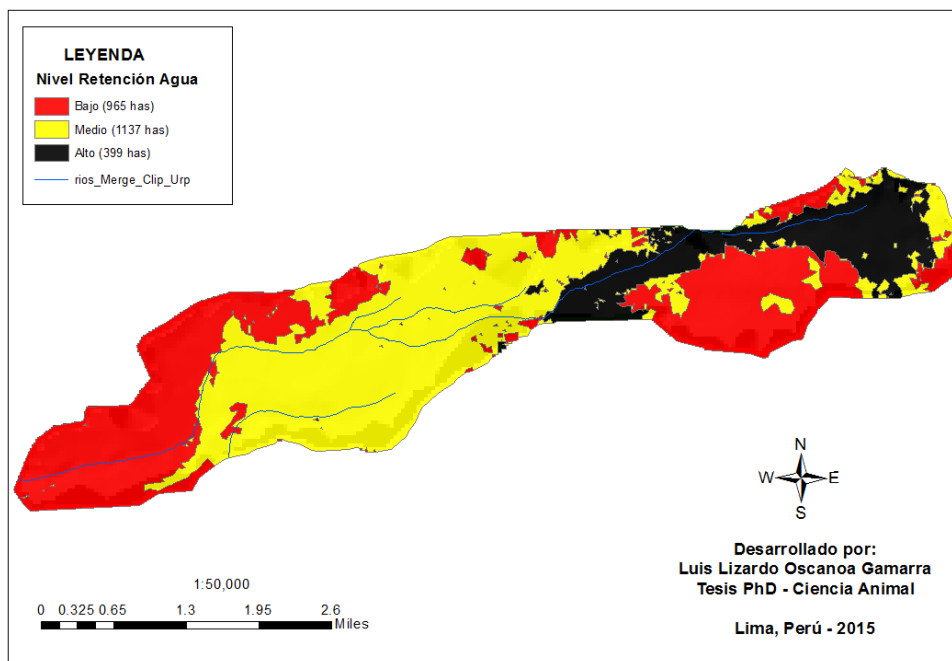


Figura 15: Nivel de retención de agua en la sucuencia Urpay.

4.2.2 Modelo Ecohidrológico de la Subcuenca Urpay.

En el Cuadro 19, se presenta los resultados del proceso de modelamiento del estado ecohidrológica de la subcuenca que involucró el agrupamiento de cuatro submodelos en lo referente a la consolidación final de la ponderación de ponderados. La evaluación de los resultados nos sugirió que un 34% de la superficie tuvo estabilidad pobre de recursos, la cual fue refrendada por los resultados del análisis del estado de conservación de la subcuenca cuyo puntaje fue alrededor del 36%. En términos generales alrededor del 20% de la superficie de la subcuenca presenta adecuadas aptitudes ecohidrológica del pastizal sobre un total de 2449 has de pastizal; lo que nos sugiere que las demás áreas se encuentra en un franco proceso de deterioro ecohidrológico con alto grado de compromiso sobre el balance hídrico de las subcuencas subyacentes.

Cuadro 19: Estado ecohidrológico de la subcuenca Urpay.

Estado vulneración (35%)			Estado de conservación (15%)			Estado hidrológico (30%)			Capacidad de retención de agua (20%)			APTITUD ECOHIDROLÓGICA			
Valoración del submodelo	Superficie (has)	Valor	Valoración del submodelo	Superficie (has)	Valor	Valoración del submodelo	Superficie (has)	Valor	Valoración del submodelo	Superficie (has)	Valor	Valor Ponderado de Ponderado	Superficie (has)	Proporción (%)	
Bajo	698	1	Muy pobre	1632	1	Muy bajo	424	1	Bajo	965	1	Muy bajo	117	5	
Medio	1219	2	Pobre	795	2	Bajo	998	2	Medio	1137	2	Bajo	427	17	
Alto	437	3	Regular	77	3	Medio	638	3	Alto	399	3	Medio	1211	49	
Muy alto	124	4				Alto	193	4				Alto	700	29	
						Muy alto	223	5							
2478			2504			2476			2501			2455 100			

En la Figura 16, se puede apreciar que el proceso ponderativo de los submodelos fue representativo, pues el modelo final consolidado representó realísticamente el nivel de la aptitud ecohidrológica de la subcuenca; de manera que las zonas calificadas como medio y alto manifestaron espacios adecuados para la efectiva mejora de la aptitud ecohidrológica de los pastos naturales. A medida que se va mejorando el entendimiento geoespacial del ecosistema se fortalece la calidad de información para el desarrollo del plan de uso de los recursos naturales en armonía con el estado de las fuentes de agua.

Los resultados corroboran cuantificadamente los problemas alertados en la temática del cambio climático, en el sentido de pérdida de cobertura vegetal de alto valor ecohidrológico; por lo que con el apoyo del presente modelo se espera clarificar la idea de que el problema no es solo la ausencia de datos ni interés por trabajos en campo, sino la ausencia de procesos metodológicos capaces de procesar integralmente las informaciones de resultados experimentales, testimonios de usuarios, percepciones y datos geoespaciales; y como no, sistemas de toma de decisión para el control y conservación ecohidrológica del pastizal de la subcuenca.

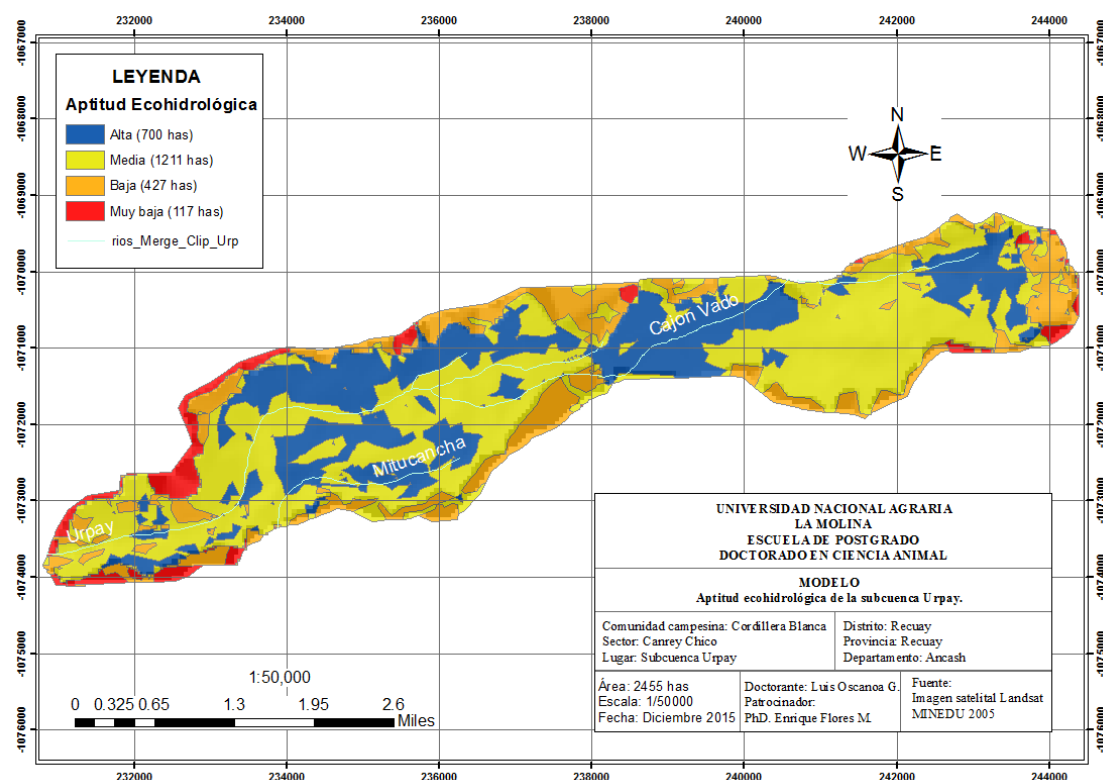


Figura 16: Modelo ec hidrológico de la subcuenca Urpay.

4.3 RENDIMIENTO HIDRICO DE LA SUBCUENCA URPAY.

4.3.1 Parámetros Morfométricos de Simulación.

Bajo el marco conceptual de la ecología del pastizal, con Arcmap 10 y Envi 5.0, se procesaron las informaciones del modelo digital de elevación con el fin de caracterizar la unidad de estudio de la subcuenca Urpay; dentro el cual, en base al análisis de trece mapas temáticos, se tipificaron los submodelos de vulnerabilidad, estado de conservación, función hidrológica y estabilidad hídrica de los suelos de la subcuenca que finalmente generó el modelo denominado “Modelo ec hidrológico de la subcuenca Urpay”; el cual fue considerado como unidad de simulación y fuente de información morfométrico para el proceso de simulación con HEC-HMS (Figura 16 y Cuadro 20).

Cuadro 20: Parámetros morfométricos de la subcuenca Urpay.

DESCRIPCION	UNIDAD	VALOR
De la superficie		
Area	km ²	24.50
Perimetro de la cuenca	km	32.69
Cotas		
Cota máxima		4850
Cota mínima		3400
Centroide (WGS_1984_UTM_Zone_18S)		
X centride	m	237537.01
Y centroide	m	8928399.50
Z centroide	msnm	4091.17
De la red hídrica		
Longitud del curso principal	km	16.99

Para el proceso de análisis, se aplicó el modelo de precipitación-escorrentía en HEC-HMS con el fin de estimar la escorrentía superficial de la subcuenca Urpay como consecuencia de eventos de precipitación durante las épocas del año y la aplicación de técnicas de mejora ecohidrológica del pastizal estudiadas detalladamente en el objetivo uno de la presente tesis. Sobre el tópico, Hammouri y El-Naqa (2007) sugirieron que para la modelación hidrológica se requiere la determinación de parámetros hidrológicos que son espacial y temporalmente variable; en tales casos, mencionaron que el SIG es la técnica más poderosa para estimar los parámetros del modelo para generar modelos que simulan cercanamente a las condiciones reales, y su combinación con el modelo SCS hacen que la estimación de la escorrentía sea más fiable.

4.3.2 Simulación del Rendimiento Hídrico de la Subcuenca.

A. La unidad de simulación en HEC-HMS.

En la Figura 17, se presenta los puntos de interés sobre el cual se estudio el comportamiento hídrico de la subcuenca con la aplicación de técnicas de mejora de suelos (hoyos, surcos y revegetación). Al respecto, Amador et al. (2011) indicaron que el modelo HEC-HMS representa una alternativa viable para la modelización hidrológica de la cuenca, ya que logro mejores estimaciones en comparación al cálculo a partir de modelización de flujos de agua desarrollados por otros métodos.

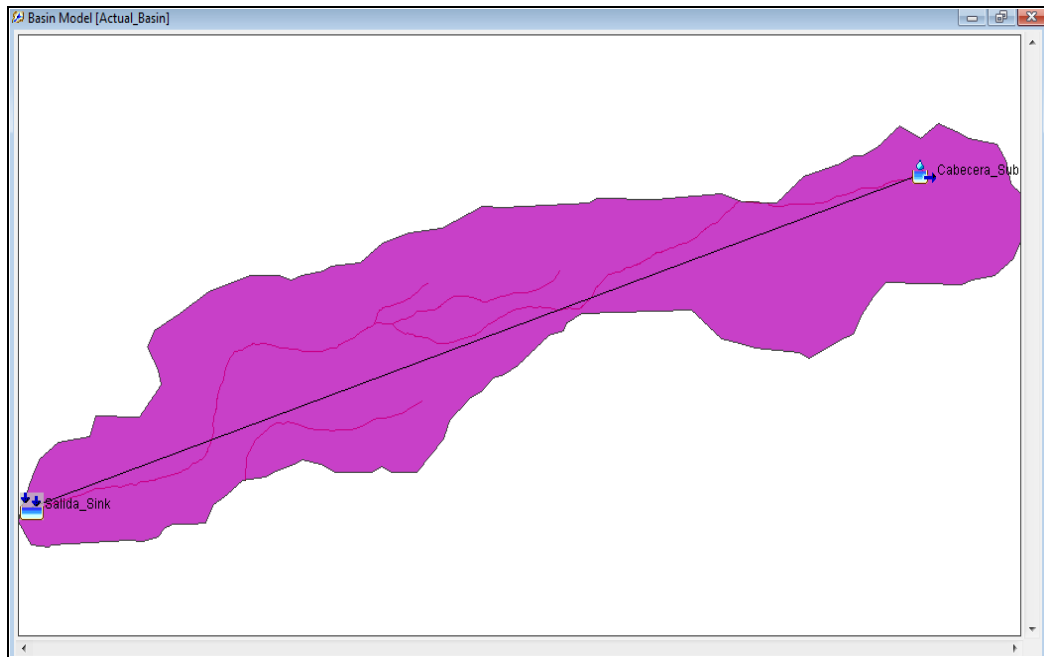


Figura 17: Ubicación de puntos de interés en HEC-HMS.

En el Cuadro 21 y ANEXO 22 se presenta los datos obligatorios calculados para las estimaciones de la escorrentía superficial. Como parte esencial de esta se encuentra la ponderación de la curva número con arreglo a lo sugerido por la propuesta del método del SCS (USDA 1986; Balvanshi y Tiwari, 2014). Los resultados mostraron que la característica ecohidrológica de la subcuenca disminuyó sustancialmente su valor curva número al ponderarse cada clase hidrológica con la superficie total de la subcuenca; y esta declino sustancialmente su valor cuando se aplicó técnicas de mejora de pastizales (hoyos, surcos y revegetación) en las áreas calificadas como de condición regular en tipo de suelo del grupo B, que en términos numéricos alcanzaron valores de 72, 68 y 61 respectivamente.

Cuadro 21: Parámetros básicos requeridos por el HEC-HMS.

Modelo hidrológico de la Subcuenca	Curva Número (Ponderado)	Inicial Abstraction (MM)	Impermeable (%)	Lag Time (MIN) "Tiempo concentración"	Flujo Base (m3/S)
Tradicional	74	17.85	5	54.29	0.18
Con hoyos	72	19.76	5	54.29	0.18
Con surcos	68	23.91	5	54.29	0.18
Con revegetacion	61	32.48	5	54.29	0.18

Calculos:

Inicial Abstraction (MM) = $0.2 * (25400 / CN - 254)$

Impervious (%) = 5 Asumido

Lag Time (MIN) = 60% tiempo concentracion Ecuación de Kirpich

Caudal Base (L/S) = [(Area, km2) (L/S * km2)] Ecuación de Kirpich

Caudal Base (m3/S) = Caudal base (L/S) / 1000 Ecuación de Kirpich

Desde el punto de vista de la ecología del pastizal, sobre la hipótesis de que un pastizal bueno es aquella donde las especies vegetales cumplen una adecuada función hídrica y por lo tanto tienen mayor aptitud de retener agua que las pasturas degradadas; en el modelo empírico curva número, esta característica, fue calificada con un menor valor en comparación a las demás estrategias estudiadas. Stehr et al. (2010) encontraron similares resultados que demuestra que la sustitución de las áreas de agricultura, arbustos y pastizales con plantaciones de especies introducidas causó reducción de la media anual de descarga hasta en un 10%.

B. Eventos de precipitación.

Después del análisis de las frecuencias de datos registrados por los pluviómetros de la estación Pocco I y la necesidad de simulación (ANEXO 23), se encontró que los eventos de lluvia confirman periodos de más baja precipitación durante los meses junio y julio, y de la más alta durante los meses diciembre, enero y febrero del periodo 2011-2012; a los cuales se denominó estación plena seca y plena lluvia respectivamente.

Fatorelli y Fernandez (2011) indicaron que la precipitación media de una cuenca es motivo de considerable interés en el diseño hidrológico y su correcta evaluación es muy importante en la modelación lluvia-escorrentía; y según las necesidades del estudio, puede usarse valores de la precipitación media: anual, mensual o diaria ocurrida sobre la superficie; en el caso de tormentas

individuales, el uso hoy generalizado son los modelos matemáticos lluvia-caudal, es frecuente usar el método de asignar un peso a cada estación; este peso se puede obtener tomando el porcentaje del área de influencia de los polígonos de Thiessen.

C. Escorrentía superficial.

De forma general, los resultados del volumen de descarga máxima estimada por el HEC-HMS para los modelos de alternativas técnicas de mejora ecohidrológica de la subcuenca con hoyos, surcos y revegetación se presenta en el Cuadro 22. El volumen de descarga para el modelo ecohidrológico actual “tradicional” fue más alto (1734 mm) que la estrategia de revegetación que obtuvo los valores más bajos (1412 mm) que las demás estrategias conservación de suelos. Los resultados encontrados soportarían cuantificadamente la hipótesis de que una mayor funcionabilidad del pastizal se traduce indefectiblemente en una menor pérdida de volumen de agua por escorrentía superficial.

Cuadro 22: Resumen general de escorrentía superficial de la subcuenca Urpay.

Parametros	Unidad	Técnicas de mejora hidrica de la subcuenca Urpay			
		Actual	Hoyos	Surcos	Revegetación
Caudal máximo	M3/S	6.70	6.70	6.70	6.70
Volumen de precipitación	MM	1414.75	1414.75	1414.75	1414.75
Volúmen de pérdida	MM	96.65	106.41	127.28	168.91
Exceso de volumen	MM	1318.10	1308.34	1287.47	1245.84
Fecha / hora de caudal máximo	Dia/Mes	10-feb-12	10-feb-12	10-feb-12	10-feb-12
Volumen de escorrentía directa	MM	1316.79	1307.04	1286.16	1244.54
Volumen de caudal base	MM	234.23	234.23	234.23	234.23
Volumen de descarga	MM	1551.03	1541.27	1520.4	1478.77

De manera contextual, estudios de Liu et al. (2011) señalaron que el uso del suelo y el cambio del clima tienen diferentes efectos sobre la escorrentía dependiendo de la región y el período. Sin embargo, la complejidad de manifestación de los indicadores puede deberse a diversos factores; así como la limitación de recursos para sistematizar integralmente la información de campo, déficit de capital humano para el análisis de la realidad perceptible y limitada información experimental dentro el ecosistema pastizal altoandino.

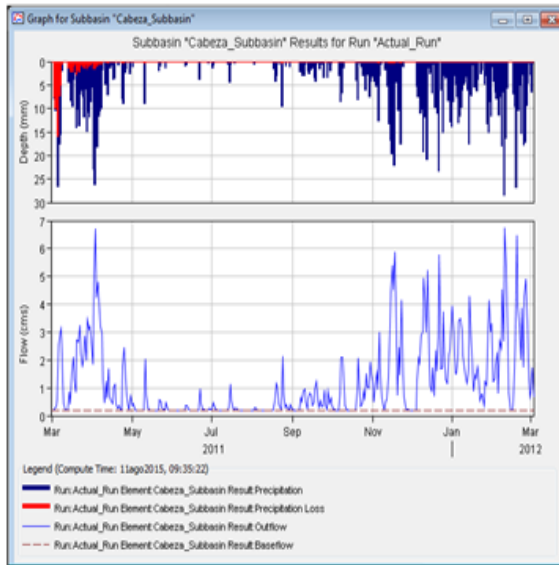
Lana-Renault (2012) demostraron que las diferencias en la escorrentía entre un espacio boscoso y tierras agrícolas se caracterizaron por una marcada estacionalidad, que a su vez fueron influenciados por el régimen de precipitación y temperatura durante el año hidrológico; de manera que durante el verano seco la escorrentía fue limitada, en cambio las condiciones de humedad incrementaron la ocurrencia de la escorrentía. Kayase (2015) encontró que el uso de la tierra, cambio la cubierta de la tierra, equilibrio ecológico de la cuenca e incrementó la escorrentía superficial.

Mutie et al. (2006) indicaron que la cubierta de uso de la tierra y sus efectos sobre el recurso hídrico está cambiando a un ritmo alarmante, y que las causas de estos cambios son atribuibles a la parcelación de los bosques por ocupantes ilegales, tala de madera, demarcación de tierras de pastoreo comunal y posterior arrendamiento para actividades agrícolas; y como consecuencia del cambio de usufructúo de la tierra ha provocado altas tasas de carga por aumento de la población en la cuenca.

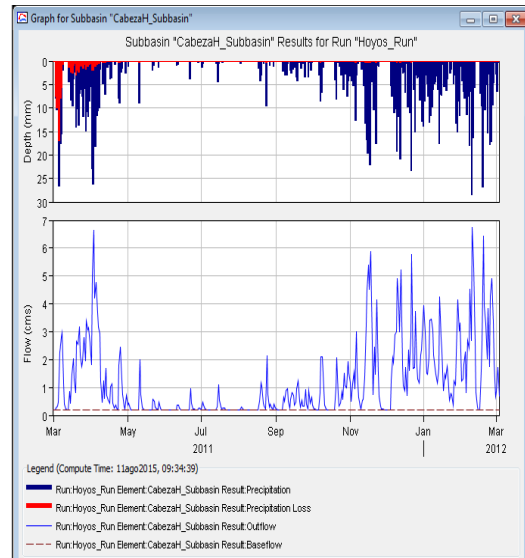
D. Hietograma e hidrograma

En la Figura 18, se presenta el hietograma y el hidrograma de la subcuenca Urpay simulados con aplicativos de tres estrategias de mejora (hoyos, surcos, revegetación), los cuales manifiestan una tendencia diferenciado en el nivel de escurrimiento; teóricamente la notación color rojo significó el nivel de infiltración del agua de lluvias, y el color azul la transformación de las precipitaciones en caudal que se tradujo en la figura del hidrograma.

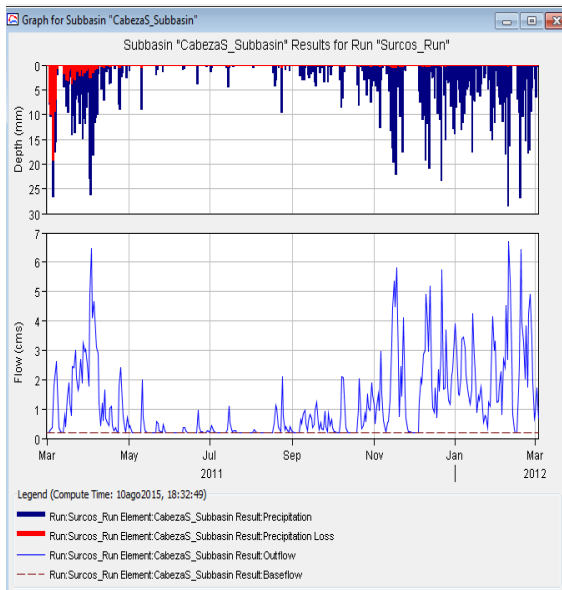
(a)



(b)



(c)



(d)

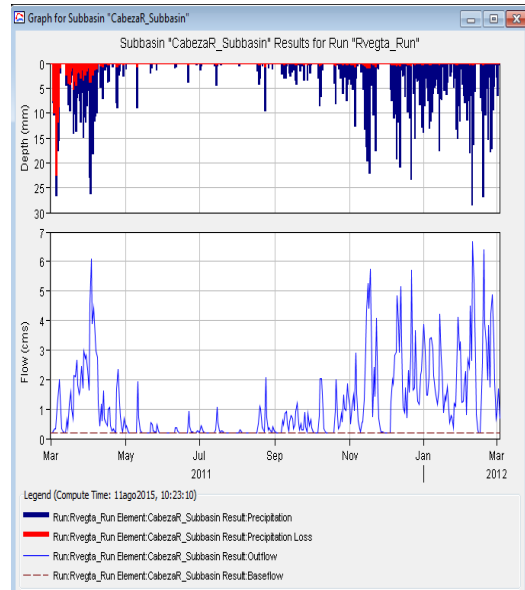


Figura 18: Hietograma/ hidrograma de la subcuenca Urpay con prácticas de mejora del suelo: (a) Actual, (b) Hoyos, (c) Surcos y (d) Revegetación.

Con el considerando anterior se encontró que a la introducción de la técnica de mejora revegetación hay más zonas de color rojo, lo que nos sugiere que con esta técnica se logro mejorar el nivel de infiltración de agua en el suelo de la subcuenca Urpay. Sobre el particular, Sikka et al. (2003) encontraron que la conversión de los pastizales naturales en plantaciones con *bluegum* se ha traducido en una disminución del volumen de flujo bajo y flujo máximo, que a su vez aumentaron las pérdidas de humedad del suelo; estos efectos fueron más pronunciados durante el periodo de crecimiento de las plantas.

E. Rendimiento de descarga hídrica mensual de la subcuenca.

En la Figura 19, se presenta el panorama de frecuencias de descarga hídrica mensual de la subcuenca Urpay. En el gráfico se aprecia la tendencia de disminución del rendimiento hídrico cuando se simula la introducción de técnicas de mejora de suelos en zonas ecohidrológicas calificadas como de condición regular, estas sugieren ser mínimas y en la práctica hay la tendencia de igualarse durante la época plena seca y plena lluvia; este comportamiento será analizada estadísticamente con prueba múltiple de medias.

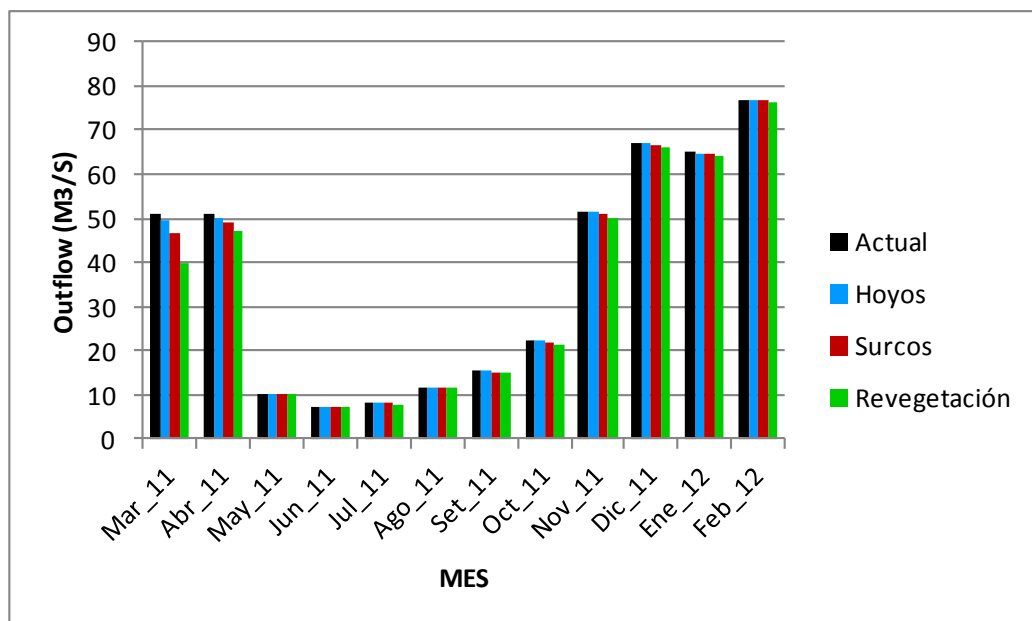


Figura 19: Descarga hídrica simulada con técnicas de mejora del suelo.

4.3.3 Efecto de mejora de suelos sobre el rendimiento hídrico.

Los efectos de los factores técnicos de mejora de suelos y la estación del año sobre el rendimiento hídrico de la subcuenca Urpay se presenta en el Cuadro 23. Los resultados del análisis descriptivo nos indican que en promedio el rendimiento hídrico de la revegetación muestra un menor nivel de descarga (1.140 M3/S) que los surcos (1.174M3/S), hoyos (1.638 M3/S) y el control (1.672 M3/S). En tanto que los resultados del análisis de variancia encontraron que solo hay diferencias estadísticas significativas para el factor mes; en esa medida la prueba de medias Duncan nos sugiere que los valores estimados del efecto mes se agrupan en cuatro subconjuntos homogéneos (ANEXO 25a). Por otro lado, el análisis de comparaciones por parejas muestran diferencias estadísticas significativas en todas las combinaciones de las épocas estudiadas (ANEXO 25 b).

Cuadro 23: Estadísticos descriptivos del rinde de descarga hídrica.

ÉPOCAS	Prácticas de conservación de suelos	Media (M3/S)	Desviación estándar	N
Seca	Actual	0.31	0.29	123
	Hoyos	0.31	0.29	123
	Surcos	0.30	0.28	123
	Revegetación	0.30	0.28	123
	Total	0.30	0.28	492
Inicio de lluvias	Actual	0.98	1.16	91
	Hoyos	0.98	1.16	91
	Surcos	0.97	1.16	91
	Revegetación	0.95	1.13	91
	Total	0.97	1.15	364
Lluvias	Actual	2.29	1.47	91
	Hoyos	2.29	1.47	91
	Surcos	2.28	1.47	91
	Revegetación	2.27	1.46	91
	Total	2.28	1.46	364
Fin de lluvias	Actual	1.67	1.45	61
	Hoyos	1.64	1.42	61
	Surcos	1.57	1.37	61
	Revegetación	1.43	1.28	61
	Total	1.58	1.38	244
Total	Actual	1.20	1.36	366
	Hoyos	1.19	1.36	366
	Surcos	1.17	1.34	366
	Revegetación	1.14	1.31	366
	Total	1.17	1.34	1464

La curva de las medias marginales estimadas de la descarga hídrica de la subcuenca Urpay se muestran en la Figura 20. En esta se puede observar que aunque estadísticamente las técnicas de mejora de suelos no manifiestan diferencias significativas, claramente las curvas expresan que la técnica revegetación y surco descargan menos volumen de agua al final de la época de lluvias, lo que implicaría que estas van reteniendo mayor cantidad de agua durante esta estación; en términos de manejo esto es muy importante a considerar, ya que esta situación afecta críticamente el balance hídrico, el crecimiento de las plantas, productividad de la biomasa, grado de fertilidad de las semillas y la capacidad funcional de retención de aguas por el ecosistema pastizal.

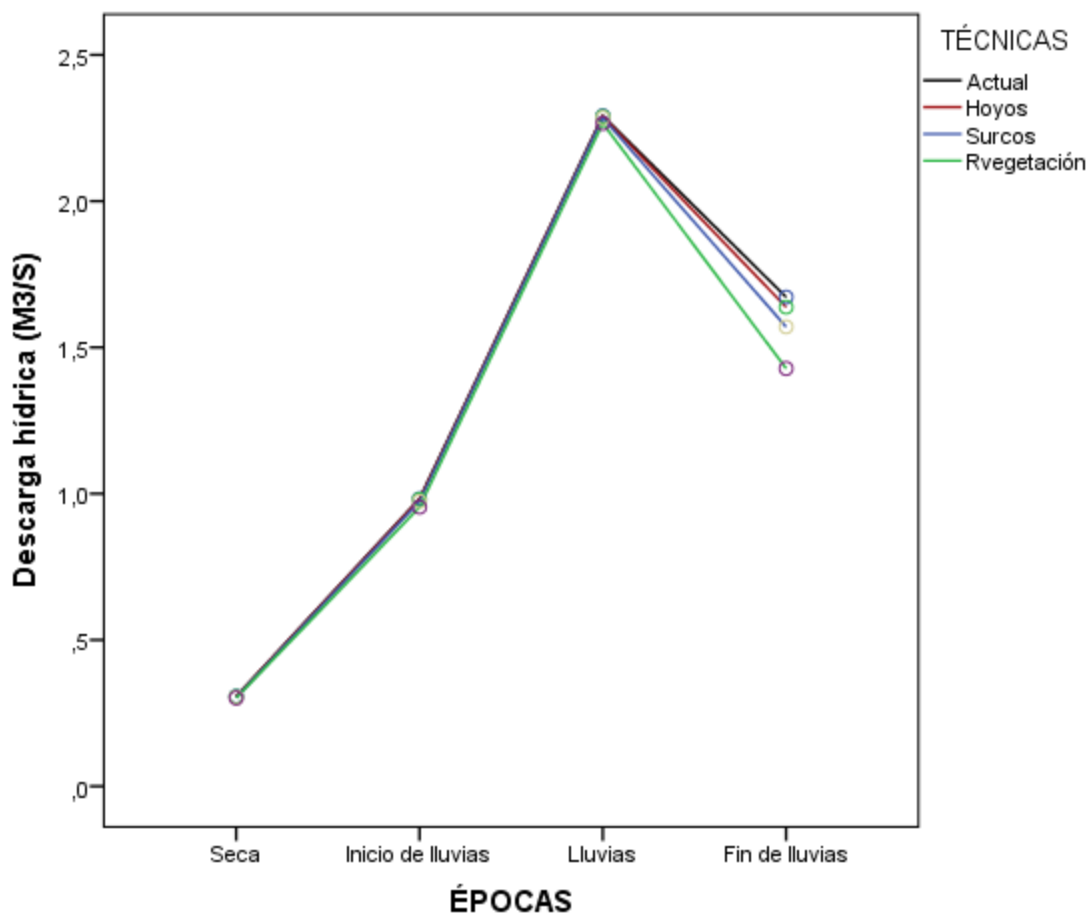


Figura 20. Medias marginales de descarga hídrica de la subcuenca Urpay.

Investigaciones de Yan et al. (2013) encontraron semejantes resultados al presente ensayo y señalaron que los principales cambios que afectan el caudal son los cambios en las tierras de cultivo, bosques y áreas urbanas, y los cambios en los pastizales no ejercen influencia significativa en el caudal y la producción de sedimentos. En contraposición a estos resultados, Stehr et al. (2010) manifestaron que la sustitución de los pastizales con plantaciones de especies introducidas causa una reducción de la media anual de descarga en un 10%. Dentro la variabilidad de resultados, Nearing et al. (2011) indicaron la necesidad imperiosa de contar con un modelo para predecir la erosión del suelo porque la que existen se desarrollaron para estudiar tierras de cultivo con características de procesos hidrológicos diferentes debido a la heterogeneidad de las propiedades y uso del suelo.

V. CONCLUSIONES.

- 1) Los sitios de pastizal se encuentran, en su mayoría, en un estado pobre debido al pastoreo continuado con animales domésticos ovinos, vacunos y caballares; así como con animales silvestres como la vicuña y venados que se ven acentuados por la ausencia de programas de manejo técnico basados en la ciencia ecohidrológica del pastizal, uso común de las tierras de pastoreo y ausencia de sistemas de acuerdos de monitoreo y evaluación del pastizal.
- 2) Los parámetros del pastizal (biomasa, mantillo, infiltración, humedad y temperatura) mejoran su comportamiento con la introducción de técnicas de surcos y hoyos, y están significativamente influenciados por el factor época. Solo la humedad del suelo manifiesta diferencias estadísticas significativas en la interacción factor técnica por época; por lo que este parámetro debe ser incorporado en estudios edafoagrostológicos del pastizal.
- 3) La pérdida de suelo del área control (57.4 ton/ha), fue mayor al de los hoyos (45.5 ton/ha) y los surcos (35.3 ton/ha) en dos años de investigación; estos resultados confirman que el ecosistema pastizal se encuentra en un franco proceso de deterioro.
- 4) El modelamiento ecohidrológico de la subcuenca nos sugiere que las áreas calificadas como muy bajo (117 has), cinco por ciento del área, requieren ser orientarlos a protección; en tanto que las zonas de nivel alto (700 has), veinte y nueve por ciento del área, se encuentran aptas a ser practicada su mejora con técnicas de hoyos, surcos y revegetación.
- 5) La simulación del rendimiento hídrico de la subcuenca encontró que la revegetación fue el de más baja descarga (1.140m³/s) en comparación a los surcos (1.174m³/s), hoyos (1.189m³/s) y control (1.196m³/s). Estadísticamente solo el factor época muestra diferencias significativas, no así la interacción época por técnica. La tendencia menor de descarga hídrica permite argüir que la

revegetación es la que tiene mejor capacidad de retención de agua de las tormentas de precipitación.

VI. RECOMENDACIONES

- 1) Consolidar la tabla de orden de deseabilidad de las principales especies vegetales claves para animales al pastoreo con el fin de estandarizar la calificación de la condición del pastizal altoandino, manejo tabular y geoespacial de la información de campo.
- 2) Investigar la interrelación biomasa aérea, humedad del suelo y erosión del suelo parámetros de alta sensibilidad detectados por la presente investigación doctoral.
- 3) Estudiar aplicativos de la tabla curva número para diferentes tipos de pastizal y técnicas de mejora del pastizal altoandino para precisar adecuadamente la simulación con modelos lluvia-escorrentia.
- 4) Continuar el desarrollo de sistemas de monitoreo participativo con la aplicación del SIG, análisis de percepción remota, conocimiento local y modelos de simulación a mínimo costo económico, tiempo y capital social innovador para la conservación de zonas ecohidrológicas del ecosistema pastizal.
- 5) Estudiar la correlación entre la condición del pastizal y el estado hídrico del pastizal para la elaboración de sistemas de monitoreo y evaluación ecohidrológica de cuencas hidrográficas.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL-SEEKH, SH; MOHAMMAD, AG; AMRO, YA. 2009. Effect of Grazing on Soil Properties at Southern Part of West Bank Rangeland. Hebron University Research Journal. Vol.(4), No.(1), pp.(35 – 53).

AMADOR, GA; GRANADOS, LE; MENDOZA, E.M. 2011. Tree approaches to the assessment of spatio-temporal distribution of the water balance: the case of the Cuitzeo basin, Michoacán, Mexico. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, Núm. 76, 2011, pp. 34-55.

AMAYA, G; RESTREPO-TAMAYO, C; VICTORIA, VM; VÉLEZ, J; ÁLVAREZ, O. 2009. Modeling the hidrological behavior of three catchments in the Uraba Region – Colombia. Avances en Recursos Hidráulicos - Número 19, Medellín – Colombia. pp 21-38.

ALBHAISI, M; BRENDONCK, L; BATELAAN O. 2013. Predicted impacts of land use change on groundwater recharge of the upper Berg catchment, South Africa. Water SA Vol. 39 No. 2. Available on website <http://www.wrc.org.za>.

ÁLVARES, D; SAMPER, J. 2009. Evaluación de los recursos hídricos de la cuenca hidrográfica del Ebro mediante modelización semidistribuída con gis-balan. Estudios en la Zona no Saturada del Suelo. Vol IX, Barcelona.

ANDREW, CD; ALLEN, KB. 2013. Modeling Urban Hydrology: A Comparison of New Urbanist and Traditional Neighborhood Design Surface Runoff. International Journal of Geosciences, 891-897.

ASRM (AMERICAN SOCIETY OF RANGE MANAGEMENT). 1962. Basic problems and techniques in range research. A report of a joint committee of the ASRM and Agriculture board. Publication N° 890 . Washington D.C. p 45-81..

ASQUIT, HW; THOMPSON, BD; CLEVELAND, GT. 2006. Unit hydrograph estimation for applicable Texas Watersheds. U.S. Geological Survey; Texas Tech University, Center for Multidisciplinary Research in Transportation, University of Houston; Lama University. Research Report 0-4193-4.

AOAC (ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMIST). 1980. OFFICIAL methods of analysis (13th ed). Washington D.C. 125 p.

BALVANSHI, A; TIWARI, HL. 2014. A Comprehensive review of runoff estimation by the curve number method. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, Vol. 3, Issue 11.

BHATT, A; YADAT, HL; KUMAR, D. 2013. Estimation of Infiltration Parameter for Tehri Garhwal Catchment. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) ISSN: 2278-0181 Vol. 1 Issue 7: Septemder – 2912.

BEDFORD, RD; SMALL, EE. 2008. Spatial patterns of ecohydrologic properties on a hillslope-alluvial fan transect, central New Mexico. *Catena* 73: 34–48.

BERHANE, S; ZEMADIM, B; HAILE, D; MELESSE, A. 2013. Understanding runoff generation processes and rainfall runoff modelling in the Meja watershed of Ethiopia. In: Wolde Mekuria. (ed). 2013. Rainwater management for resilient livelihoods in Ethiopia: Proceedings of the Nile Basin Development Challenge science meeting. NBDC Technical Report 5. Nairobi, Kenya: International Livestock Research Institute.

BRADFORD, JB; SCHLAEPFER, DR; LAUENROTH, WK; BURKE, CI. 2014. Shifts in plant functional types have time-dependent and regionally variable impacts on dryland ecosystem water balance. *Journal of Ecology* 2014, 102: 1408–1418.

BLAKE, GR. 1965. Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Properties, Including statistics of Measurement and Sampling. ASA-SSSA, Agronomy Monograph 9: 374-390.

BLUME, T; ZEHE, E; BRONSTERT, A. 2007. Rainfall–runoff response, event-based runoff coefficients and hydrograph separation. *Hydrological Sciences–Journal–des Sciences Hydrologiques*, 52(5).

BORK, WE; TAMIKO, T; MCDUGALL, B. 2001. Herbage response to precipitation in central Alberta boreal grasslands. *J. Range Manage.* 54: 243-248.

BOUWER, H. 1986. Intake rate: cylinder infiltrometer, *Methods of Soil Analysis, Part 1: Physical and Mineralogical Methods*, 2nd Ed. Madison: American Society of Agronomy and Soil Science Society of America. Pp. 825-844.

BREÑA, PA; JABO, VM. 2006. Principios y fundamentos de la hidrología superficial. Universidad Autonoma Metropolitana. Pág.289. www.uamenlinea.uam.mx.

BRESHEARS, DD; BARNES, FJ. 1999. Interrelationships between plant functional types and soil moisture heterogeneity for semiarid landscapes within the grassland/forest continuum: a unified conceptual model. *Landscape Ecology* 14: 465–478, 1999.

BRYANT, DM; HOLLAND, EH; SEASTEDT, TR; WALKER, M.D. 1998. Analysis of litter decomposition in an alpine tundra. *Can. J. Bot.* 76: 1295-1304.

CALZADA, BJ. 1982. Métodos estadísticos para la investigación. 5^{ta} Edición UNA la Molina, Lima - Perú.

CHAICHI, MR; SARAVI, MM; MALEKIAN, A. 2005. Effects of Livestock Trampling on Soil Physical Properties and Vegetation Cover (Case Study: Lar Rangeland, Iran). *Int. J. Agri. Biol.*, Vol. 7, No. 6.

CHARTIER, MP; ROSTAGNO, CM; PAZOS. 2011. Effects of soil degradation on infiltration rates in grazed semiarid rangelands of northeastern Patagonia, Argentina. *Journal of Arid Environments* 75: 656 – 661.

- CHAVARRI, VE; PORTUGUEZ, M. 2014. Modelación hidrológica con HEC-HMS y SIG. Facultad de Ingeniería Agrícola, Dpto. Recursos Hídricos. Pag. 71.
- CORDERO, FA. 2008. Estadística experimental: soluciones con los aplicativos SAS, SPSS y Excel en experimentos zootécnicos y agronómicos. Primera Edición, Lima - Perú. Pag. 324.
- CRONSHEY, R; MILLER, N; ROBBINS, S. 1986. Urban Hydrology for Small Watersheds TR-55. USDA, United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, Conservation Engineering Division. Pág. 164.
- DA SILVA, VR; YAMASHIK, Y; TATSUMI, K; TAKARA, K. 2010. Distributed TOPMODEL Approach for Rainfall -Runoff Routing Modeling in Large-Scale Basins. *Annals of Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ.*, No. 53 B.
- DI LUZIO, M; SRINIVASAN, R; ARNOLD, JG. 2002. Integration of watershed tools and SWAT model into BASINS. *J. American Water Res. Assoc.* 38(4): 1127-1141.
- DEUTSCH, ES; BORK, EW; WILLMS, WD. 2010. Soil moisture and plant growth responses to litter and defoliation impacts in Parkland grasslands. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 135: 1–9.
- EEKEREN, NV; BOER, H; HANEGRAAF, M; BOKHORST, J; NIEROP, D; BLOEM, J; SCHOUTEN, T; GOEDE, R; BRUSSAARD, L. 2010. Ecosystem services in grassland associated with biotic and abiotic soil parameters. *Soil Biology & Biochemistry* 42: 1491 – 1504.
- ELSADIG, A; SAIDI, S; ADEEB, A; ICKOWICZ, A. 2013. Water Harvesting Model for Improved Rangeland Productivity. *International Journal of Water Resources and Arid Environments* 2(2): 64-77.
- EVINER, V. 2004. Plant traits that influence ecosystem processes vary independently among species. *Ecology*, 85(8), pp. 2215–2229.
- FATORELLI, S; FERNANDEZ, P. 2011. Diseño hidrológico. 2da edición en español. Edición digital: http://www.ina.gov.ar/pdf/Libro_diseno_hidrologico_edicion_digital.pdf
- FIEDLER, FR; FRASIER, GW; RAMIREZ, JA; AHUJA, L.R. (2002). Hydrologic Response of Grasslands: Effects of Grazing, Interactive Infiltration, and Scale. *Journal of Hydrologic Engineering*, July-August.
- FLINT, EL; FLINT, LA; THORNE, HJ; BOYNTON, R. 2013. Fine-scale hydrologic modeling for regional landscape applications: the California Basin Characterization Model development and performance. *Ecological Processes* 2013.
- FLOREZ, A; BRYANT, E. 1989. Manual de Pastos y Forrajes. Programa colaborativo de apoyo a la investigación en rumiantes menores. INIIA, Universidad de California. Lima – Perú.

FLOREZ, A; MALPARTIDA, E. 1987. Manejo de praderas nativas y pasturas en la región altoandina del Perú. Banco Agrario, Tomo I. Lima Perú.

FLOREZ, MA; MALPARTIDA, IE; SAN MARTIN, F. 1991. Manual de forrajes para zonas áridas y semiáridas andinas. 308 p.

GARCÍA, RL; CONESA, CG. 2011. Estimación de caudales de avenidas y delimitación de áreas inundables mediante métodos hidrometeorológicos e hidráulicos y técnicas S.I.G. Estudio aplicado al litoral sur de la región de Murcia. Papeles de Geografía, 53-54, pp. 107-123, Universidad de Murcia.

GETAHUN, SY; TOBIAS, P; SCHWEITZER, C; LIERSCHB, S; VAN DER, J K; MARLOES, LM; VAN, AG; VANDER, PZ. 2014. Dynamic Feedback between Land Use and Hydrology for Ecosystem Services Assessment. International Environmental Modelling and Software Society (iEMSs) 7th Intl. Congress on Env. Modelling and Software, San Diego: CA: USA, Daniel P. Ames, Nigel W.T. Quinn and Andrea E. Rizzalli (Eds).

GI-CHOUL, A; GORDON, SI; CAROLYN, JM. 2014. Impacts of remotely sensed land use data on watershed hydrologic change assessment. International Journal of Geospatial and Environmental Research: Vol. 1: Iss. 1, Article 9. Available at: <http://dc.uwm.edu/ijger/vol1/iss1/9>.

GIL, RJ. 2014. Monitoreo Hidrológico en ecosistemas de la puna húmeda bajo el método de Cuencas Pareadas: C.C. Cordillera Blanca, Canrey Chico, Recuay, Ancash, Perú. Proyecto Puna-agua. Conv. Instituto de Montaña/ The MckNight Foundation. Documento en prensa. 49 p.

HAYATU, M; MUKHTAR, FB. 2010. Physiological responses of some drought resistant cowpea genotypes (*vigna unguiculata walp*) to water stress. Bayero Journal of Pure and Applied Sciences, 3(2): 69 – 75.

HAGYÓ, A; RAJKAI, K; NAGY, Z. 2006. Effect of forest and grassland vegetation on soil hydrology in Mátra Mountains (Hungary). Biologia, Bratislava, 61/Suppl. 19: S261—S265.

HAMMOUR, N; EL-NAQ, A. 2007. Hydrological modeling of ungauged wadis in arid environments using GIS: a case study of Wadi Madoneh in Jordan. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v 24, núm. 2, p. 185-196.

HOLDRIDGE, LR. 1987. Ecología basada en las zonas de vida. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José de Costa Rica.

JOBAGY, EG; ACOSTA, AM; NOSETTO, MD. 2013. Rendimiento hídrico en cuencas primarias bajo pastizales y plantaciones de pino de las sierras de Córdoba (Argentina). Ecología Austral 23:87-96.

KAYASE, TA. 2015. Land use land cover change its implication on surface runoff: A case study of baro river basin in south western Ethiopia. Journal of Environments and earth sciencie. Vol. 5, N°8.

- LANA-RENAULT, N; LATRON, J; KARSSENBERG, D; SERRANO, P; REGUES, D; BIERKENS, MFP. 2012. Seasonal differences in runoff between forested and non-forested catchments: a case study in the Spanish Pyrenees. Revisiting Experimental Catchment Studies in Forest Hydrology (Proceedings of a Workshop held during the XXV IUGG General Assembly in Melbourne, June-July 2011) (IAHS Publ. 353, 2012).
- LAWRENCE, BF; BRUCE, J. 2005. Interacting effects of temperature, soil moisture and plant biomass production on ecosystem respiration in a northern temperate grassland. *Agricultural and Forest Meteorology* 130: 237–253.
- LIU, Z; YAO, Z; HUANG, H; WU, S; LIU, G. 2011. Land use and climate changes and their impacts on runoff in the yarlung zangbo river basin, China. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, 100101 Beijing, PR China.
- MA, W; LIU, Z; WANG, Z; WANG, W; LIANG, C; TANG, Y; HE, JS; FANG, J. 2010. Climate change alters interannual variation of grassland aboveground productivity: evidence from a 22-year measurement series in the Inner Mongolian grassland. *J Plant Res.* 123:509–517.
- MAHER, R; ASBJORNSENA, H; KOLKA, R; CAMBARDELLAC, A; RAICHD, J. 2010. Changes in soil respiration across a chronosequence of tallgrass prairie reconstructions. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 139 : 749–753.
- MAMANI, GM. 2002. Zonificación ecológica para la aplicación de estrategias de mejoramiento de praderas naturales de la microcuenca rio negro, Ancash. Tesis Magister Scientiae en Producción Animal. Universidad Nacional Agraria “La Molina”. Lima, Perú.
- MARKSTROM, SL; REGAN, RS; HAY, LE; VIGER, RJ; WEBB, RMT; PAYN, RA; LA FONTAINE, JH. 2015. PRMS-IV, the precipitation-runoff modeling system, version 4: U.S. Geological Survey Techniques and Methods, book 6, chap. B7, 158 p., <http://dx.doi.org/10.3133/tm6B7>.
- MARSHALL, RH. 1988. Environmental Factors Affecting Plant Productivity. Fort Keogh Research Symposium, September 1987, Miles City, MT.
- MINAM (MINISTERIO DEL AMBIENTE). 2011. Memoria descriptiva del mapa de vulnerabilidad física del Perú. Primera Edición.
- MUTIE, SM; MATI, B; HOME, P; GADAIN, H; GATHENYA, J. 2006. Evaluating land use change effects on river flow using usgs geospatial stream flow model in mara river basin, Kenya. Center for Remote Sensing of Land Surfaces, Bonn, p: 141-148.
- MOLINAR, F; DEE, G; HOLECHEK, J. 1998. Managing For Mulch: Grazing management practices can be key to accumulating mulch – vegetation residue – which is beneficial for decreasing soil erosion, improving water infiltration and increasing forage production on rangelands. *Rangelands* 23(4).

MONTGOMERY, DC. 1991. Diseño y análisis de experimentos. Arizona State University , Estados Unidos de América. Grupo Editorial Iberoamérica. Pag: 589.

NRCS (NATIONAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE). 2004. National Engineering Handbook. Part 630: Hydrology, Chapter 10. Pag. 79.

NANIA, SL. 2007. Manual básico HEC-HMS 3.0 y HEC-GeoHMS 1.1. Curso de especialización: Cálculo de caudales de avenida con HEC-HMS y SIG. Universidad de Granada, España.

NAGAYA, M; LAL, R. 2008. Mulching effects on selected soil physical properties. Soil & Tillage Research 98: 106–111.

NEARING, MA; WEI, H; STONE, JJ; PIERSON, FB; SPAETH, KE; WELTZ, MA; FLANAGAN, DC; HERNANDEZ, M. 2011. A rangeland hydrology and erosion model. Vol. 54(3): 2011 American Society of Agricultural and Biological Engineers Vol. 54(3), Pag. 1-10.

NOURANI, V; ROUGHANI, A; GEBREMICHAEL, M. 2011. TOPMODEL capability for rainfall-runoff modeling of the Ammameh watershed at different time scales using different terrain algorithms. Journal of Urban and Environmental Engineering, v.5, n.1, p.1-14.

OWEN, L; HITCHCOCK, RD; WHITE, LD; EIDSON, WG. 2014. Using GIS to Prioritize Green Infrastructure Installation Strategies in an Urbanized Watershed. Proceedings of the 2014 South Carolina Water Resources Conference, held October 15-16, 2014 at the Columbia Metropolitan Convention Center.

PARAJKA, J; VIGLIONE, A; ROGGER, M; SALINAS, JL; SIVAPALAN, M; BLOSCHL, G. 2013. Comparative assessment of predictions in ungauged basins – Part 1: Runoff-hydrograph studies. Hydrol. Earth Syst. Sci.,17, 1783–1795.

PARKER, KW. 1951. A method for measuring trend and range condition on National Forest Ranges. USDA. Forest Service.

PIERI, L; BITTELLI, M; WU, QJ; DUN, S; FLANAGAN, CD; ROSSI, PP ; VENTURA, F; SALVATORELLI, F. 2007. Using the Water Erosion Prediction Project (WEPP) model to simulate field-observed runoff and erosion in the Apennines mountain range, Italy. Journal of Hydrology (2007) 336, 84–97.

PRASAD, GN. 2015. Hydrological Modeling with HEC-HMS in Different Channel Sections in Case of Gandaki River Basin. Global Journal of Researches in Engineering: E Civil And Structural Engineering. Volume 15 Issue 2 Version 1.0.

PYKE, DA; JEFFREY, E; HERRICK, SP; PELLANT, M. 2002. Rangeland health attributes and indicators for qualitative. J. Range Manage. 55:584-597.

RAICH, WJ; TUFEEKCIOGLU, A. 2000. Vegetation and soil respiration: Correlations and controls. Biogeochemistry 48: 71–90.

REYNOLDS, JF; MAESTRE, FT; HUBER-SANNWALD, E; HERRICK, J; KEMP, PR. 2005. Aspectos socioeconómicos y biofísicos de la desertificación. Ecosistemas, Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente 3.

RIOS, VC. 2015. Combinación del modelo log-lineal y el análisis de correspondencia para analizar variables cualitativas. Tesis Magister Scientiae en Estadística. Facultad de Ciencias Matemáticas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.

ROUHOLLAH, A; MORTEZA, A. 2013. Effect of mulching on soil, canopy and leaf temperature of lentil (*Lens culinaris* Medick.). International Journal of Farming and Allied Sciences. Vol., 2 (20): 797-802.

SALVE, R; ALLEN-DIAZ, B. 2001. Variations in soil moisture content in a rangeland catchment. J. Range Manage. 54: 44–51.

SAS (SAS Institute Inc, US). 1986. SAS user's guide. Statistical Analysis System Institute Inc., Cary, NC. USA. 585 p.

SANTILLAN, JR; MAKINANOB, MM; PARINGIT, EC. 2010. Integrating remote sensing, gis and hydrologic models for predicting land cover change impacts on surface runoff and sediment yield in a critical watershed in mindanao, philippines. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, Volume XXXVIII, Part 8, Kyoto Japan.

SCHARFFENBERG, W; ELY, P; DALY, S; FLEMING, M; PAK, J. 2010. Hydrologic modeling system (hec-hms): physically-based simulation components. 2nd Joint Federal Interagency Conference, Las Vegas, NV, June 27 - July 1, 2010.

SIKKA, AK; SAMRA, JS; SHARDA, VN; SAMRAJ, AP; LAKSHMANANA, V. 2003. Low flow and high flow responses to converting natural grassland into bluegum (*Eucalyptus globulus*) in Nilgiris watersheds of South India. Journal of Hydrology, 270 (2003) 12–26.

SINGH, KS. 2006. Optimal Instantaneous Unit Hydrograph from Multistorm Data. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. P. 298-302.

SNYMANA, H; PREEZ, D. 2005. Rangeland degradation in a semi-arid South Africa—II: influence on soil quality. Journal of Arid Environments 60: 483–507.

STEHR, A; AGUAYO, M; LINK, O; PARRA, O; ROMERO, F; ALCAYAGA, H. 2010. Modelling the hydrologic response of a mesoscale Andean watershed to changes in land use patterns for environmental planning. Hydrol. Earth Syst. Sci., 14, 1963–1977.

TAFFESE, T; ZEMADIM, B. 2013. Hydrological modelling of a catchment using the SWAT model in the upper Blue Nile basin of Ethiopia. In: Wolde Mekuria. (ed). 2013. Rainwater management for resilient livelihoods in Ethiopia: Proceedings of the Nile Basin Development Challenge science meeting, Addis Ababa, 9–10 July 2013. NBDC Technical Report 5. Nairobi, Kenya: International Livestock Research Institute.

TOVAR, O; OSCANOVA, L. 2002. Guía para la identificación de pastos naturales alto andinos de mayor importancia ganadera. Instituto de Montaña. Proyecto FOCAL Obc. Primera edición, 1000 ejemplares. Huaraz, Perú.

USDA (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE). 1986. Urban Hydrology for Small Watersheds TR-55. Natural Resources Conservation Service. (210-VI-TR-55, Second Ed., June 1986).

VARGAS-CASTAÑEDA, G; IBÁÑEZ-CASTILLO, LA; ARTEAGA-RAMÍREZ, R. 2015. Development, classification and trends in rainfall-runoff modeling. Ingeniería Agrícola y Biosistemas, 7(1), 5-21.

VÁSQUEZ, A; TAPIA, M. 2011. Cuantificación de la erosión hídrica superficial en las laderas semiáridas de la sierra peruana. Rev. Ingeniería UC, Vol.18, N° 3.

VIRAMONTES-OLIVAS, OA; REYES-GÓMEZ, VM; RANGEL-RODRÍGUEZ, A; ORTEGA-OCHOA, C; SOTO-CRUZ, RA; CAMARILLO, JA; LEBGUE-KELENG, T. 2012. Papel hidrológico-ambiental de pastizales nativos e introducidos en la cuenca alta del río Chuvíscar, Chihuahua, México. TECNOCENCIA Chihuahua 6(3): 181-193.

WALTER, P; PETERSON, J. 1990. The role of litter in an old-field community: impact of litter quantity in different seasons on plant species richness and abundance. *ecologia*, 85: 8-13 .

WILLMS, DW; MCGINN, MS; DORMAAR, F. 1993. Influence of litter on herbage production in the mixed prairie. *J. Range Manage.* 46:320-324.

WILLMST, WD; JEFFERSON, PG. 1993. Production characteristics of the mixed prairie: constraints and potencial. *Can. J. Anim. Sci.* 73t 765-778.

YAN, B; FANG, NF; ZHANG, PC; SHI, ZH. 2013. Impacts of land use change on watershed streamflow and sediment yield: An assessment using hydrologic modelling and partial least squares regression. *Journal of Hydrology* 484 (2013) 26–37.

YUE, L; YINGHUI, L; YALIN, W; LEI, N; XIA, X; YUQIANG, T. 2014. Interactive effects of soil temperature and moisture on soil N mineralization in a *Stipa krylovii* grassland in Inner Mongolia, China. *Journal of Arid Land* 6(5): 571–580.

ZHANG, HL; WANG, YJ; WANG, YQ; LI, DX; WANG, XK. 2013. The effect of watershed scale on HEC-HMS calibrated parameters: a case study in the Clear Creek watershed in Iowa, US. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 17, 2735–2745.

ZEGARRA, MR. 1999. Inventario de recursos naturales y optimización de estrategias para el mejoramiento de praderas nativas en el fundo “San Lorenzo” – Ancash. Tesis Magister Scientiae en Producción Animal. Universidad Nacional Agraria “La Molina”. Lima, Perú.

ZHANG, LH; CHEN, YN; ZHAO, RF; LI, WH. 2010. Significance of temperature and soil water content on soil respiration in three desert ecosystems in Northwest China. *Journal of Arid Environments* 74: 1200 - 1211.

ZHANG, Y; HERNANDEZ, M; ANSON, E; NEARING, MA; WEI, MA; STONE, JJ; HEILMAN, P. 2012. Modeling climate change effects on runoff and soil erosion in southeastern Arizona rangelands and implications for mitigation with conservation practices. *Journal of Soil and Water Conservation*. 67 (5): 390 - 405.

ZHOU, ZC; GAN, ZT; SHANGGUAN, ZP; DONG, ZB. 2010. Effects of grazing on soil physical properties and soil erodibility in semiarid grassland of the Northern Loess Plateau (China). *Catena* 82: 87–91.

VIII. ANEXOS

**ANEXO 1:
DESEABILIDAD DE ESPECIES VEGETALES CLAVES DE ANIMALES AL PASTOREO.**

Familia	Especie vegetal	Nombre vulgar	Especie animal				Fuente
			Alpaca	Ovino	Vacuno	Vicuña	
Cyperaceae	<i>Carex hypsipodos</i>		D	D	-	D	Florez et al (1992)
Cyperaceae	<i>Eleocharis albibracteata</i>	k'emillo	D	D	-	D	Florez et al (1992)
Cyperaceae	<i>Scirpus rigidus</i>	matara	D	D	D	-	Florez et al (1992)
Compositae	<i>Hypochoeris stenocephala</i>	occo sik'e	D	I	I	I	Tapia y Flores (1984)
Compositae	<i>Hypochoeris taraxacoides</i>	miski pilli	D	D	-	D	Florez et al (1992)
Compositae	<i>Liabum bullatum</i>	mula sik'e	D	I	I	I	Tapia y Flores (1984)
Geraniaceae	<i>Geranium sessiliflorum</i>	wila layo	D	D	-	-	Tapia y Flores (1984)
Gramineae	<i>Agrostis breviculmes</i>	chiji	D	D	-	D	Florez et al (1992)
Gramineae	<i>Agrostis toluensis</i>	crepillo grande	-	-	-	D	Florez et al (1992)
Gramineae	<i>Bromus unioides</i>	cebadilla	D	D	-	-	Tapia y Flores (1984)
Gramineae	<i>Calamagrostis heterophylla</i>	mula pasto	-	-	-	D	Zegarra (1999)
Gramineae	<i>Calamagrostis rigescens</i>	tullupasto	-	-	-	-	Florez et al (1992)
Gramineae	<i>Calamagrostis vicunarum</i>	crepillo	-	-	-	D	Florez et al (1992)
Gramineae	<i>Dissanthelium macusaniense</i>		-	-	-	D	Florez et al (1992)
Gramineae	<i>Dissanthelium mimimun</i>	feito	D	D	-	D	Florez et al (1992)
Gramineae	<i>Dissanthelium peruvianum</i>		D	D	-	D	Florez et al (1992)
Gramineae	<i>Eragrostis pilgeri</i>		-	-	I	I	Zegarra (1999)
Gramineae	<i>Festuca dolichophylla</i>	chilliwua	-	-	D	D	Florez et al (1992)
Gramineae	<i>Festuca orthophylla</i>	iru ichu	-	I	I	I	Oscanoa y Flores (1992)
Gramineae	<i>Hordeum muticum</i>	Jucucha chupa	D	D	D	D	Florez et al (1992)
Gramineae	<i>Mulenbergia angustata</i>	icha pichana	D	D	D	D	Zegarra (1999)
Gramineae	<i>Mulenbergia ligularis</i>	hatun grama	D	D	-	D	Florez et al (1992)
Gramineae	<i>Mulenbergia fastigiata</i>	chili	D	D	-	D	Florez et al (1992)
Gramineae	<i>Nasella pubiflora</i>	llama pasto	-	-	D	-	Florez et al (1992)
Gramineae	<i>Poa annua</i>	kastilla kachu	-	-	-	D	Florez et al (1992)
Gramineae	<i>Poa candamoana</i>		D	D	-	D	Florez et al (1992)
Gramineae	<i>Poa chamaoclinoe</i>		-	-	-	D	Florez et al (1992)
Gramineae	<i>Poa gymnantha</i>	chumpicura	D	D	D	D	Florez et al (1992)
Gramineae	<i>Stipa brachyphylla</i>	granu ichu	D	D	-	D	Florez et al (1992)
Gramineae	<i>Stipa mexicana</i>	ajsha pasto	D	D	-	D	Florez et al (1992)
Gramineae	<i>Stipa mucronata</i>	gransa ichu	I	I	-	I	Zegarra (1999)
Gramineae	<i>Stipa obtusa</i>	tisña ichu	I	I	-	I	Zegarra (1999)
Gramineae	<i>Trisetum spicatum</i>		D	D	-	D	Florez et al (1992)
Juncaceae	<i>Distichia muscoides</i>	kunkuna	D	-	-	D	Florez et al (1992)
Juncaceae	<i>Luzula peruviana</i>	uma sutu	D	D	-	D	Florez et al (1992)
Juncaceae	<i>Luzula racemosa</i>		D	I	I	I	Tapia y Flores (1984)
Leguminosae	<i>Trifolium amabile</i>	layo	D	D	-	D	Florez et al (1992)
Leguminosae	<i>Vicia graminea</i>	habichuela	D	I	I	I	Tapia y Flores (1984)
Malvaceae	<i>Nototriche longirostris</i>	thurpa	D	I	I	I	Tapia y Flores (1984)
Malvaceae	<i>Nototriche pinnata</i>		D	D	-	D	Florez et al (1992)
Rosaceae	<i>Alchemilla pinnata</i>	sillu sillu	D	D		D	Florez et al (1992)

Nota: D: especie decreciente o pocodeseable
 -: especie acrecentante o poco deseable
 I: especie indeseable

ANEXO 2:

VIGOR DE ESPECIES VEGETALES CLAVES PARA ANIMALES AL PASTOREO.

Especie vegetal clave	Unidad de medida	Especie animal		
		Alpacas	Ovinos	Vacunos
Agrostis breviculmis	cm	10	10	-
Alchemilla pinnata	cm	6	6	-
Disanthelium minimun	cm	8	8	-
Distichia muscoides	cm	6	-	-
Muhlenbergia fastigiata	cm	10	10	-
Poa candamoana	cm	15	15	-
Stipa brachyphylla	cm	15	15	-
Stipa mexicana	cm	15	15	-
Festuca dolichophylla	cm	-	-	100

FUENTE: Florez y Malpartida (1992)

ANEXO 3:

CARGA ÓPTIMA POR ESPECIE ANIMAL EN PASTOREO EXCLUYENTE.

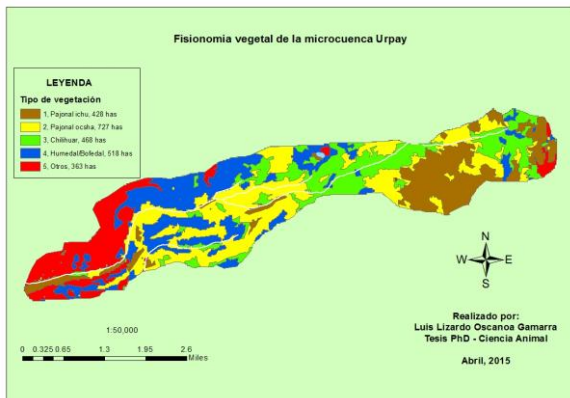
Condicion del pastizal	Puntaje (%)	Carga animal (Ha/año)				
		Ovinos	Alpacas	Llamas	Vacunos	Vicuñas
Excelente	81 - 100	4.00	2.70	1.80	1.00	4.44
Bueno	61 - 80	3.00	2.00	1.30	0.75	3.33
Regular	41 - 60	1.50	1.00	0.70	0.38	1.65
Pobre	21 - 40	0.50	0.33	0.20	0.13	0.55
Muy pobre	1 - 20	0.25	0.10	0.10	0.07	0.28

FUENTE: Programa de Forrajes de la UNALM (1980)

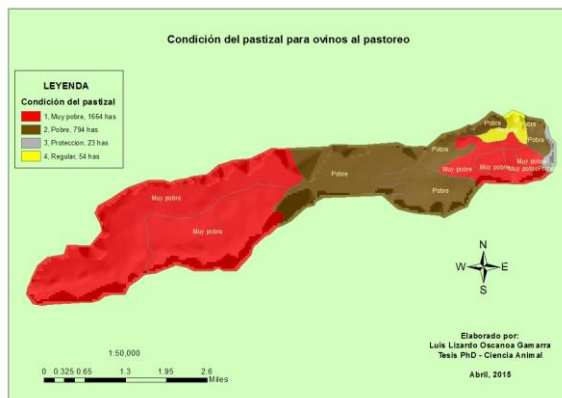
ANEXO 4:
MARCO CONCEPTUAL DEL MODELAMIENTO ECOHIDROLOGICO DE CUENCAS.

Modelo	Estado ecohidrológica de cuencas.
Objetivo	Caracterización ecohidrológica de la subcuenca Urpay.
Atributos	Arreglo de indicadores (Información primaria)
Vulnerabilidad cuenca	Precipitación, Pendiente, Fisionomía
Estado conservación	Condición, Tenencia, Tecnología
Función hidrológica	Biomasa, Mantillo, Humedad, temperatura
Sensibilidad suelo	Textura, Infiltración, Erosión
Submodelos	Peso de influencia de indicadores (multicriterio).
<i>Vulnerabilidad microcuenca</i>	Grado de pendiente (40%)
	Nivel de precipitación (25%)
	Fisionomía (35%)
<i>Estado conservación</i>	Condición del pastizal (50%)
	Modalidad de tenencia de tierras (30%)
	Práctica local de conservación (20%)
<i>Función hidrológica</i>	Producción de biomasa (30%)
	Grado de humedad del suelo (40%)
	Producción de mantillo (20%)
	Temperatura del suelo (10%)
<i>Capacidad retención agua</i>	Análisis textura del suelo (40%)
	Grado de infiltración del suelo (30%)
	Grado de erosión del suelo (30%)
Valor de Ponderación (MINAM, 2011)	Bajo = 1 Medio = 2 Alto = 3 Muy Alto = 4
Procesamiento (ArcGis 10)	<i>ArcToolBox</i> : Clasificación no supervisada y supervisada (Multivariate), Conversión datos vector-raster (Conversion tools), Integración temática (Overlay), Evaluación multicriterio (Model builder) y Geoprocesamiento (Data management tools).
Peso de influencia de submodelos (porcentaje).	Vulnerabilidad cuenca (35%) Estado conservación (15%) Función hidrológica (30%) Capacidad retención agua (20%)
Clases Condición Pastizal (Florez y Malpatida, 1992)	Muy Pobre = 1 Pobre = 2 Regular = 3 Bueno = 4 Excelente = 5

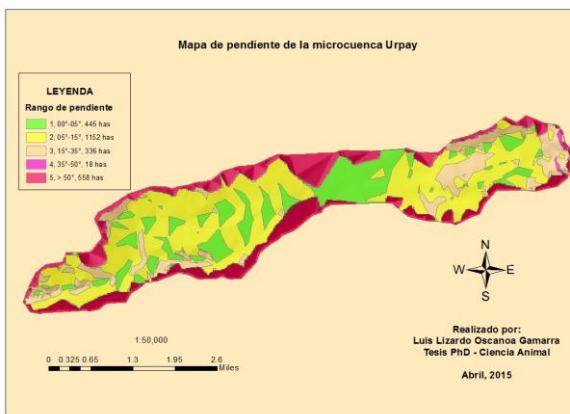
ANEXO 5: MAPAS TEMÁTICOS DE LA SUBCUENCA URPAY.



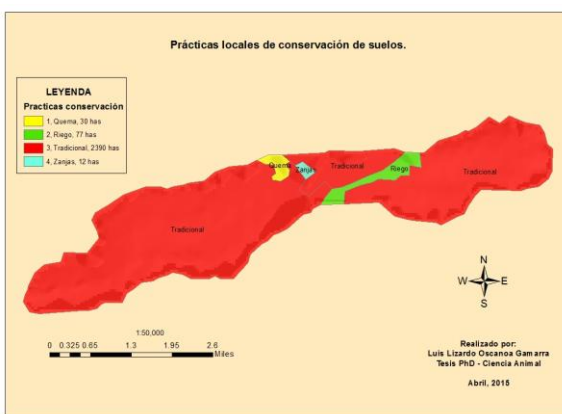
(a) FISIONOMIA VEGETAL



(d) CONDICION DEL PASTIZAL



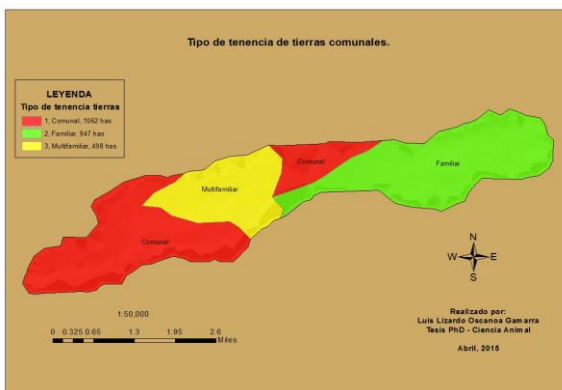
(b) PENDIENTE



(e) PRACTICAS DE CONSERVACION

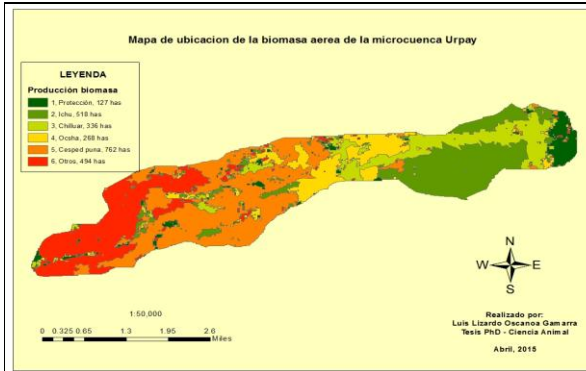


(c) PRECIPITACION

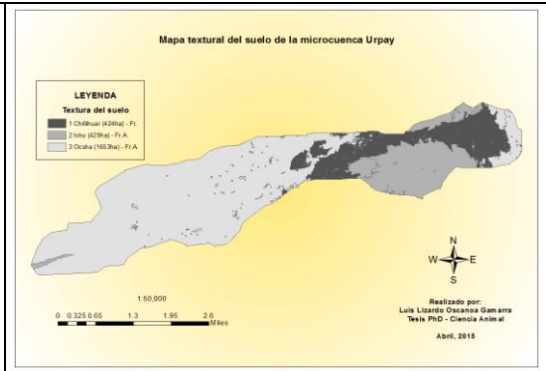


(f) MODALIDAD DE USO

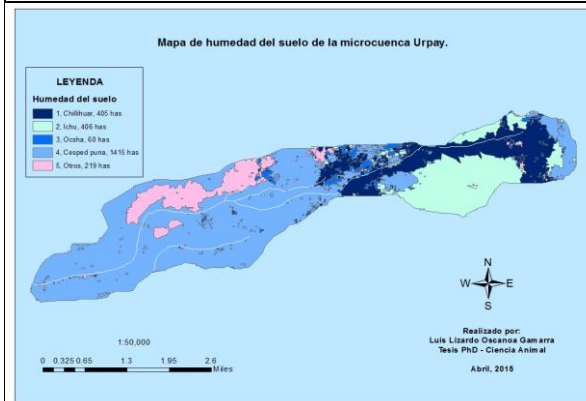
Continuación ANEXO 5.



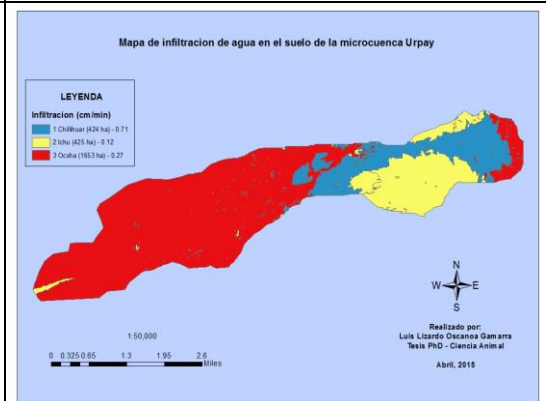
(g) BIOMASA



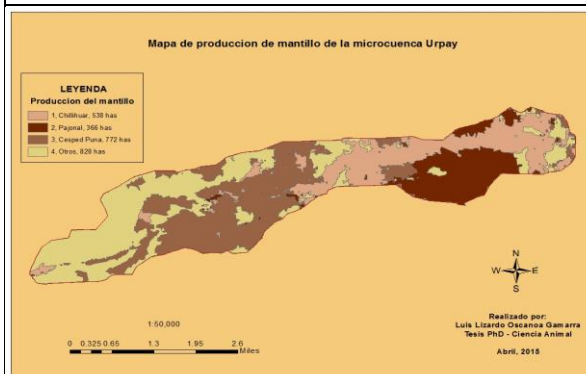
(k) TEXTURA SUELO



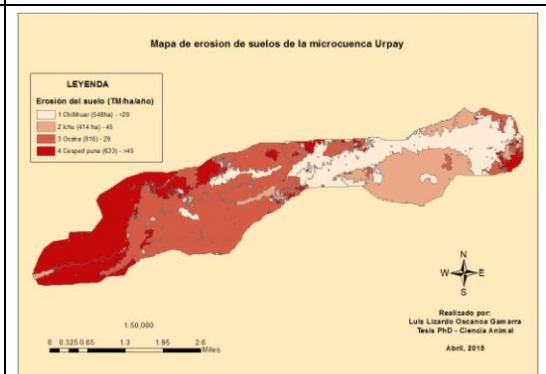
(h) HUMEDAD DEL SUELO



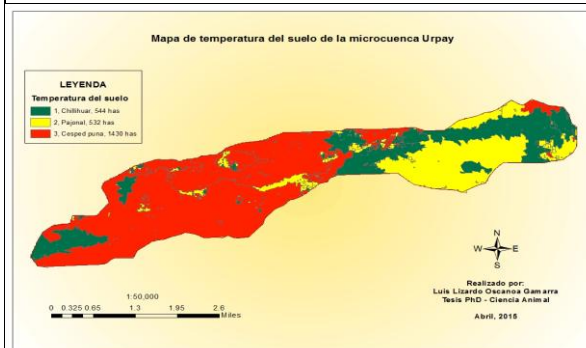
(l) INFILTRACION



(i) MANTILLO



(m) EROSION SUELO



(j) TEMPERATURA DEL SUELO

ANEXO 6: DESCARGA PROMEDIO DIA (lt/s) DEL VERTEDERO POCO.

Dia	2011 (Vertedero antiguo)			2012 (vertedero nuevo)			2013 (vertedero nuevo)			
	Abr	May	Jun	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
	4	5	6	10	11	12	1	2	3	4
1		33.11	4.16		5.70	96.12	146.98	75.69	117.84	135.98
2		26.71	3.74		12.81	93.82	133.14	75.80	148.21	123.13
3		22.15	3.77		13.21	105.66	113.93	65.75	156.00	114.02
4		18.72	1.64		24.42	130.16	97.58	75.17	170.78	135.51
5		16.19	1.41		80.13	141.67	101.19	99.68	205.76	142.26
6		13.93	1.57		95.32	113.42	115.39	109.48	276.25	126.57
7		13.28	1.56		107.49	97.73	99.52	137.38	300.53	117.93
8		12.23	7.94		120.22	100.26	96.64	161.92	260.93	143.28
9		11.99	3.27	6.63	114.77	95.72	72.08	187.78	204.99	203.42
10		11.69	2.21	6.86	91.03	78.36	69.96	294.05	209.42	236.28
11		18.97	1.12	7.15	90.62	98.24	78.70	333.84	208.50	221.31
12		21.02	1.00	7.11	58.03	100.28	79.88	277.53	200.51	
13		16.83	2.64	6.45	45.34	95.98	73.85	189.53	255.24	
14		13.29	2.36	5.45	53.39	84.13	65.32	200.50	257.01	
15		10.90	1.77	5.48	114.20	66.20	56.99	187.26	213.04	
16		9.73	0.80	5.23	153.47	52.47	54.24	157.14	257.43	
17		8.48	0.94	4.66	132.30	46.58	88.49	141.29	276.79	
18	58.65	7.71	0.94	8.06	100.49	65.61	85.94	133.81	263.69	
19	50.74	7.17	1.13	8.44	123.94	158.00	70.05	139.82	265.72	
20	41.46	6.50	1.29	8.16	129.62	199.67	61.37	116.61	212.16	
21	36.83	5.95	1.12	8.89	109.30	189.08	67.30	107.36	171.73	
22	32.91	6.66	1.06	8.35	88.40	188.99	103.45	122.13	167.98	
23	27.39	7.93	1.46	7.17	74.27	170.94	151.59	138.06	243.09	
24	28.36	6.28	3.33	7.57	87.83	151.23	145.79	120.20	370.96	
25	70.67	6.26	1.84	9.74	114.16	158.57	115.01	104.02	267.30	
26	61.52	5.71	1.62	12.14	106.08	191.30	101.43	115.91	213.44	
27	53.23	7.52	1.57	8.54	95.39	202.01	99.46	134.40	251.98	
28	44.03	11.74	1.41	6.32	119.64	172.83	99.20	109.46	242.73	
29	36.37	6.85	1.12	4.20	127.03	214.60	80.97		204.06	
30	34.54	5.50		4.94	112.50	218.52	83.54		175.63	
31		4.56		5.06		195.09	78.45		153.10	
PROMEDIO	44.36	12.11	2.06	7.07	90.04	131.39	93.14	146.84	223.32	154.52

Fuente: Gil (2014)

ANEXO 7: TABLA CURVA NUMERO PARA TIERRAS DE CULTIVO Y PASTOS NATURALES (USDA 1986).

Tabla 2-2b Números de curva de escurrimiento de tierras agrícolas cultivadas 1/

Descripción de cubierta			Número de curva para grupo de suelo hidrológico			
Tipo de cubierta	Tratamiento 2/	Condición hidrológica 3/	A	B	C	D
Barbecho	Suelo desnudo	-	77	86	91	94
	Cobertura de residuos de cosecha (CR)	Pobre	76	85	90	93
		Bueno	74	83	88	90
Cultivos en fila	Fila recta (SR)	Pobre	72	81	88	91
		Bueno	67	78	85	89
	SR + CR	Pobre	71	80	87	90
		Bueno	64	75	82	85
	Contorneada (C)	Pobre	70	79	84	88
		Bueno	65	75	82	86
	C + CR	Pobre	79	78	83	87
		Bueno	64	74	81	85
	Contorneado y Adosado (C + T)	Pobre	66	74	80	82
		Bueno	62	71	78	81
	C y T + CR	Pobre	65	73	79	81
		Bueno	61	70	77	80
Cereales pequeños	SR	Pobre	65	76	84	88
		Bueno	63	75	83	87
	SR + CR	Pobre	64	75	83	86
		Bueno	60	72	80	84
	C	Pobre	63	74	82	85
		Bueno	61	73	81	84
	C + CR	Pobre	62	73	81	84
		Bueno	60	72	80	83
	C y T	Pobre	61	72	79	82
		Bueno	59	70	78	81
	C y T + CR	Pobre	60	71	78	81
		Bueno	58	69	77	80
Cerrado-sin cultivo o siembra al voleo o legumbres al voleo o rotacion de prados.	SR	Pobre	66	77	85	89
		Bueno	58	72	81	85
	C	Pobre	64	75	83	85
		Bueno	55	69	78	83
	CyT	Pobre	63	73	80	83
		Bueno	51	67	76	80

1/ Promedio del estado de escorrentía, I = 0.2S

2/ Cobertura de residuos de cultivos se aplica sólo cuando está en al menos un 5% de la superficie a través del año.

3/ Condición hidráulica se basa en factores combinados que afectan la infiltración y el escurrimiento, incluyendo

(a) densidad y dosel de zonas vegetativas, (b) cantidad de cobertura durante todo el año, (C) cantidad de gramíneas o leguminosas sembrados,

(d) porcentaje de residuos de cobertura sobre las tierras de cultivo (bueno \geq 20%) y (e) grado de rugosidad de la superficie

Pobre: Factores deterioran la infiltración y tienden a aumentar la escorrentía.

Bueno: Factores que estimulan el promedio y mejor que la infiltración promedio y tienden a disminuir la escorrentía.

Tabla 2-2c : Números de curva de escurrimiento para otras tierras agrícolas 1/

Descripción de cubierta		Número de curva para grupo de suelo hidrológico			
Tipo de cubierta	Condición hidrológica 3/	A	B	C	D
Pastura, pastizales o praderas - forraje continuo para el pastoreo 2/	Pobre	68	79	86	89
	Regular	49	69	79	84
	Bueno	39	61	74	80
Pradera - hierba continuo, protegido de pastoreo y generalmente cortado para el heno.		30	58	71	78
Arbustos - malas hierbas - hierbas mezcla con arbusto como elemento principal 3/	Pobre	48	67	77	83
	Regular	35	56	70	77
	Bueno	30 4/	48	65	73
Maderas - mezcla de hierbas (huerto o árboles de rancho) 5/	Pobre	57	73	82	86
	Regular	43	65	76	82
	Bueno	32	58	72	79
Bosque 6/	Pobre	45	66	77	83
	Regular	36	60	73	79
	Bueno	30	55	70	77
Granjas - edificios - carriles, caminos de entrada, y terrenos de alrededores.		59	74	82	86

1/ Promedio del estado de escorrentía, $I = 0.2S$

2/ Cobertura de residuos de cultivos se aplica sólo cuando está en al menos un 5% de la superficie a través del año.

Pobre: < 50% de cobertura de la tierra, o carga pesada de pastoreo sin mantillo.

Regular: 50 - 75% cobertura del suelo y no carga pesada.

Bueno: > 75% cobertura del suelo.

4/ Curva número actual menos del 30% usar $CN = 30$ para computo de escorrentia.

5/ CN mostrado para computo de áreas con 50% de maderas y 50% cubierto de pastos. Otras combinaciones de condiciones pueden ser computado de las CN de bosques y pasturas.

6/ Pobre: Mantillo de árboles, pequeños árboles, y arbustos destruidos por pastoreo o quema regular.

Regular: Bosque y pastoreo sin quema y algunos suelos cubierto por mantillo.

Bueno: Bosque protegido de pastoreo, mantillo y arbustos cubren adecuadamente el suelo.

Tabla 2-2d : Números de curva de escurrimiento para pastizales áridas y semiáridas 1/

Descripción de cubierta		Número de curva para grupo de suelo hidrológico			
Tipo de cubierta	Condición hidrológica 3/	A	B	C	D
Hebaceas-mezcla de gramíneas, malezas, bajo crecimiento de arbustos, y leñas como elemnto menor.	Pobre		80	87	93
	Regular		71	81	89
	Bueno		62	74	85
Roble-alamo-mezcla de arbustos de montaña de roble, álamo, caoba de montaña, mantillo de arena, madera, y otros arbustos.	Pobre		66	74	79
	Regular		48	57	63
	Bueno		30	41	48
Playón-juniper-Playón, playon o ambos; sotobosque de hierba.	Pobre		75	85	89
	Regular		58	73	80
	Bueno		41	61	71
Artemisa con hierba del sotobosque	Pobre		67	80	85
	Regular		51	63	70
	Bueno		35	47	55
Arbusto del desierto - plantas principales incluye madera salina, madera de grasa, palo negro, palo verde, mezquite y cactus.	Pobre	63	77	85	88
	Regular	55	72	81	86
	Bueno	49	68	79	84

1/ Estado del promedio de escurrimiento, $I = 0.2S$. Para pastizales de regiones húmedas, usar Tabla 2-2c.

Pobre: < 30% de cobertura del suelo (mantillo, pastos, y arbustos).

3/ Regular: 30 - 70% de cobertura del suelo.

Bueno: > 75% cobertura del suelo.

3/ Curva número para grupo A ha sido desarrollado solo para arbustos del desierto.

ANEXO 8: PRECIPITACION MENSUAL DE LA MICROCUENCA MATOC Y POCCO.

Sitio	Pluvio metro	Periodo	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	TOTAL (mm/año)
Matoc	PI	2011-2012	202.3	159.2	11.0	3.4	12.2	24.2	39.0	59.3	151.7	215.5	198.0	202.8	1278.6
Matoc	PI	2012-2013	123.6	108.4	43.4	6.2	1.0	5.6	68.0	82.6	213.8	214.8	152.0	174.0	1193.4
Matoc	PII	2011-2012	205.4	166.4	9.8	4.2	9.4	23.7	36.0	53.2	144.2	210.1	189.6	232.0	1284.0
Matoc	PII	2012-2013	126.8	101.8	41.4	4.2	1.6	3.8	48.6	70.0	174.8	175.6	121.2	156.6	1026.4
PROMEDIO			164.5	134.0	26.4	4.5	6.1	14.3	47.9	66.3	171.1	204.0	165.2	191.4	1195.6
Pocco	PI	2011-2012	241.5	166.3	15.7	6.6	8.4	22.5	37.1	60.7	164.5	222.5	209.4	250.0	1405.2
Pocco	PI	2012-2013	130.8	132.8	15.7	6.6	0.6	3.8	14.4	68.0	201.8	208.6	113.8	333.8	1230.7
Pocco	PII	2011-2012	233.0	161.4	24.6	5.3	8.4	22.4	37.0	60.5	156.5	193.9	169.6	218.0	1290.6
Pocco	PII	2012-2013	110.0	93.6	26.6	6.0	2.8	2.2	36.2	50.0	153.6	144.8	95.8	12.8	734.4
PROMEDIO			178.8	138.5	20.7	6.1	5.1	12.7	31.2	59.8	169.1	192.5	147.2	203.7	1165.2

Fuente: The Mountain Institute (2011 - 2013)

ANEXO 9: CONDICION DEL PASTIZAL DE LAS PARCELAS EXPERIMENTALES.

Especie Animal	Sitio de Pastizal	Surcos		Hoyos		Testigo	
		oct-11	sep-13	oct-11	sep-13	oct-11	sep-13
	Especie vegetal dominante	Cama	Cama	Cama	Cama	Cama	Cama
	Especie vegetal sub-dominante	Sciri	Sti sp	Sti sp	Acpu	Sciri	Sciri
	Especie vegetal sub-sub-dominante	Mupe	Sciri	Mupe	Cavi	Plan sp	Mupe
Ovinos	Indices (%)						
	Indice deseables (D)	5	5	6	6	4	7
	Poco deseables (-)	0	0	7	6	0	0
	Indice forrajero (IF)	5	5	13	12	4	7
	BRP	55	55	46	44	54	62
	Indice COB	45	45	54	56	46	38
	Indice de vigor (V)	0	0	0	0	0	0
	Coefficientes*Indices						
	0.5 (%D)	2.5	2.5	3	3	2	3.5
	0.2 (%IF)	1	1	2.6	2.4	0.8	1.4
	0.2 (%COB)	9	9	10.8	11.2	9.2	7.6
	0.1 (%V)	0	0	0	0	0	0
	Puntaje	12.5	12.5	16.4	16.6	12	12.5
Condicion Sitio Pastizal	Mp	Mp	Mp	Mp	Mp	Mp	
Vacunos	Indices (%)						
	Indice deseables (D)	5	5	3	5	4	7
	Poco deseables (-)	0	0	10	7	0	0
	Indice forrajero (IF)	5	5	13	12	4	7
	BRP	55	55	46	44	54	62
	Indice COB	45	45	54	56	46	38
	Indice de vigor (V)	0	0	0	0	0	0
	Coefficientes*Indices						
	0.5 (%D)	2.5	2.5	1.5	2.5	2	3.5
	0.2 (%IF)	1	1	2.6	2.4	0.8	1.4
	0.2 (%COB)	9	9	10.8	11.2	9.2	7.6
	0.1 (%V)	0	0	0	0	0	0
	Puntaje	12.5	12.5	14.9	16.1	12	12.5
Condicion Sitio Pastizal	Mp	Mp	Mp	Mp	Mp	Mp	
Vicuiñas	Indices (%)						
	Indice deseables (D)	5	0	10	7	0	0
	Poco deseables (-)	0	5	3	5	4	7
	Indice forrajero (IF)	5	5	13	12	4	7
	BRP	55	55	46	44	54	62
	Indice COB	45	45	54	56	46	38
	Indice de vigor (V)	0	0	0	0	0	0
	Coefficientes*Indices						
	0.5 (%D)	2.5	0	5	3.5	0	0
	0.2 (%IF)	1	1	2.6	2.4	0.8	1.4
	0.2 (%COB)	9	9	10.8	11.2	9.2	7.6
	0.1 (%V)	0	0	0	0	0	0
	Puntaje	12.5	10	18.4	17.1	10	9
Condicion Sitio Pastizal	Mp	Mp	Mp	Mp	Mp	Mp	

BRP: Suelo desnudo, Pavimento de erosion y Roca.

Indice COB = 100 - %BRP

R: Regular

P: Pobre

MP: Muy Pobre

Cama: Calamagrostis macrophylla

Sciri: Scirpus rigidus

Stipa: Stipa sp.

Acpu: Aciachne pulvinata

Cavi: Calamagrostis vicumarum

Plan sp: Plantagon sp.

ANEXO 10: PARÁMETROS HIDRICOS DE LA PARCELA CON SURCOS.

Tratamiento	Meses	Muestras	Biomasa Kg/Ha	Mantillo Kg/Ha	Humedad Suelo %	Temperatura Suelo °C
Surcos	may-11	1	1032.0	230.0		10.0
Surcos	may-11	2	1374.0	240.0		11.0
Surcos	may-11	3	1214.0	316.0		11.5
Surcos	may-11	4	488.0	233.0		10.0
Surcos	may-11	5	906.0	256.0		11.0
Surcos	may-11	6	870.0	172.0		12.0
Surcos	may-11	7	356.0	182.0		
Surcos	may-11	8	910.0	237.0		
Surcos	may-11	9	908.0	220.0		
Surcos	may-11	10	1028.0	250.0		
Surcos	may-11	11	798.0	216.0		
Surcos	may-11	12	1008.0	266.0		
PROMEDIO			907.7	234.8		10.9
Surcos	ago-11	1	248.0	2.0	7.6	11.0
Surcos	ago-11	2	228.0	18.0	6.0	11.0
Surcos	ago-11	3	774.0	58.0	5.9	10.5
Surcos	ago-11	4	634.0	72.0	5.7	11.3
Surcos	ago-11	5	482.0	80.0	6.1	10.6
Surcos	ago-11	6	394.0	96.0	5.8	11.3
Surcos	ago-11	7	34.0	254.0		
Surcos	ago-11	8	1054.0	70.0		
Surcos	ago-11	9	80.0	8.0		
Surcos	ago-11	10	542.0	32.0		
Surcos	ago-11	11	394.0	30.0		
Surcos	ago-11	12	406.0	38.0		
PROMEDIO			439.2	63.2	6.2	11.0
Surcos	oct-11	1	324.0	64.0	17.1	12.0
Surcos	oct-11	2	462.0	42.0	18.5	11.5
Surcos	oct-11	3	444.0	120.0	10.4	11.0
Surcos	oct-11	4	456.0	96.0	7.6	12.0
Surcos	oct-11	5	444.0	118.0	13.0	11.4
Surcos	oct-11	6	478.0	202.0	13.7	11.8
Surcos	oct-11	7	428.0	324.0		
Surcos	oct-11	8	114.0	134.0		
Surcos	oct-11	9	668.0	48.0		
Surcos	oct-11	10	450.0	42.0		
Surcos	oct-11	11	300.0	34.0		
Surcos	oct-11	12	468.0	38.0		
PROMEDIO			419.7	105.2	13.4	11.6
Surcos	nov-12	1	1330.0	336.0	18.2	11.1
Surcos	nov-12	2	1256.0	378.0	17.6	11.0
Surcos	nov-12	3	966.0	485.0	14.2	10.7
Surcos	nov-12	4	1148.0	298.0	18.8	10.8
Surcos	nov-12	5	756.0	103.0	21.5	11.2
Surcos	nov-12	6	1090.0	317.0	18.0	10.5
PROMEDIO			1091.0	319.5	18.1	10.9
Surcos	feb-13	1	1630.0	529.0	22.4	10.0
Surcos	feb-13	2	1950.0	345.0	24.3	12.0
Surcos	feb-13	3	1760.0	168.0	21.6	11.0
Surcos	feb-13	4	1465.0	502.0	18.5	10.5
Surcos	feb-13	5	1972.0	465.0	17.3	11.3
PROMEDIO			1755.4	401.8	20.8	11.0
Surcos	set-13	1	851.4	59.4	13.8	10.0
Surcos	set-13	2	731.4	203.4	14.4	14.0
Surcos	set-13	3	649.4	53.4	68.0	11.0
Surcos	set-13	4	1465.4	81.4	12.6	20.0
Surcos	set-13	5	611.4	95.4	11.1	15.0
Surcos	set-13	6	927.4	271.4	12.3	13.0
Surcos	set-13	7	951.4	155.4		
Surcos	set-13	8	1213.4	49.4		
Surcos	set-13	9	2963.4	335.4		
Surcos	set-13	10	1661.4	153.4		
Surcos	set-13	11	1059.4	115.4		
Surcos	set-13	12	1627.4	359.4		
PROMEDIO			1226.1	161.1	22.0	13.8

ANEXO 11: PARÁMETROS HIDRICOS DE LA PARCELA CON HOYOS.

Tratamiento	Meses	Muestras	Biomasa Kg/Ha	Mantillo Kg/Ha	Humedad Suelo %	Temperatura Suelo °C
Hoyos	may-11	1	954.0	230.0		11.0
Hoyos	may-11	2	1152.0	198.0		11.0
Hoyos	may-11	3	422.0	220.0		12.0
Hoyos	may-11	4	1136.0	170.0		11.0
Hoyos	may-11	5	895.0	250.0		11.0
Hoyos	may-11	6	1104.0	282.0		14.0
Hoyos	may-11	7	766.0	274.0		
Hoyos	may-11	8	908.0	250.0		
Hoyos	may-11	9	1146.0	254.0		
Hoyos	may-11	10	456.0	328.0		
Hoyos	may-11	11	899.0	260.0		
Hoyos	may-11	12	954.0	312.0		
PROMEDIO			899.3	252.3		11.7
Hoyos	ago-11	1	66.0	58.0	5.4	11.0
Hoyos	ago-11	2	1298.0	100.0	6.1	12.0
Hoyos	ago-11	3	1002.0	74.0	12.3	11.2
Hoyos	ago-11	4	162.0	16.0	14.0	11.7
Hoyos	ago-11	5	598.0	68.0	9.0	11.6
Hoyos	ago-11	6	616.0	34.0	10.0	11.7
Hoyos	ago-11	7	1152.0	86.0		
Hoyos	ago-11	8	336.0	64.0		
Hoyos	ago-11	9	574.0	30.0		
Hoyos	ago-11	10	430.0	28.0		
Hoyos	ago-11	11	372.0	24.0		
Hoyos	ago-11	12	440.0	72.0		
PROMEDIO			587.2	54.5	9.5	11.5
Hoyos	oct-11	1	642.0	134.0	10.4	11.0
Hoyos	oct-11	2	440.0	92.0	9.2	12.0
Hoyos	oct-11	3	680.0	490.0	5.3	11.0
Hoyos	oct-11	4	102.0	142.0	6.1	13.0
Hoyos	oct-11	5	572.0	122.0	7.5	11.5
Hoyos	oct-11	6	210.0	786.0	7.6	12.0
Hoyos	oct-11	7	574.0	202.0		
Hoyos	oct-11	8	70.0	46.0		
Hoyos	oct-11	9	518.0	26.0		
Hoyos	oct-11	10	612.0	260.0		
Hoyos	oct-11	11	250.0	80.0		
Hoyos	oct-11	12	568.0	58.0		
PROMEDIO			436.5	203.2	7.7	11.8
Hoyos	nov-12	1	966.0	236.0	16.4	11.7
Hoyos	nov-12	2	896.0	378.0	18.2	12.1
Hoyos	nov-12	3	806.0	320.8	12.5	11.2
Hoyos	nov-12	4	795.0	98.0	14.7	11.5
Hoyos	nov-12	5	971.0	398.0	17.3	11.8
PROMEDIO			886.8	286.2	15.8	11.7
Hoyos	feb-13	1	1730.0	498.0	20.9	11.0
Hoyos	feb-13	2	1430.0	217.4	22.3	10.0
Hoyos	feb-13	3	1148.0	268.4	21.3	11.0
Hoyos	feb-13	4	1650.0	524.4	16.8	10.7
Hoyos	feb-13	5	1850.0	434.0	20.8	11.0
PROMEDIO			1561.6	388.4	20.4	10.7
Hoyos	set-13	1	959.4	107.4	5.2	15.0
Hoyos	set-13	2	1031.4	271.4	5.0	16.0
Hoyos	set-13	3	661.4	91.4	4.2	14.0
Hoyos	set-13	4	673.4	25.4	4.4	14.5
Hoyos	set-13	5	1765.4	333.4	5.1	15.3
Hoyos	set-13	6	443.4	41.4	4.9	14.9
Hoyos	set-13	7	2819.4	127.4		
Hoyos	set-13	8	1443.4	357.4		
Hoyos	set-13	9	723.4	75.4		
Hoyos	set-13	10	253.4	19.4		
Hoyos	set-13	11	679.4	107.4		
Hoyos	set-13	12	853.4	141.6		
PROMEDIO			1025.6	141.6	4.8	15.0

ANEXO 12: PARÁMETROS HIDRICOS DE LA PARCELA CONTROL.

Tratamiento	Meses	Muestras	Biomasa Kg/Ha	Mantillo Kg/Ha	Humedad Suelo %	Temperatura Suelo °C
Control	may-11	1	1078.0	466.0		13.0
Control	may-11	2	1556.0	474.0		14.0
Control	may-11	3	1956.0	866.0		13.0
Control	may-11	4		278.0		12.0
Control	may-11	5	1236.0	264.0		13.0
Control	may-11	6	558.0	238.0		13.0
Control	may-11	7	770.0	274.0		
Control	may-11	8	732.0	212.0		
Control	may-11	9	962.0	336.0		
Control	may-11	10	778.0	310.0		
Control	may-11	11	332.0	196.0		
Control	may-11	12	470.0	238.0		
PROMEDIO			948.0	346.0		13.0
Control	ago-11	1	706.0	28.0	3.5	13.0
Control	ago-11	2	304.0	46.0	4.1	11.0
Control	ago-11	3	842.0	50.0	11.4	10.0
Control	ago-11	4	428.0	12.0	11.8	10.0
Control	ago-11	5	1390.0	86.0	7.5	11.0
Control	ago-11	6	974.0	30.0	8.2	11.2
Control	ago-11	7	568.0	32.0		
Control	ago-11	8	741.0	278.0		
Control	ago-11	9	856.0	52.0		
Control	ago-11	10	696.0	92.0		
Control	ago-11	11	824.0	150.0		
Control	ago-11	12	560.0	18.0		
PROMEDIO			740.8	72.8	7.7	11.0
Control	oct-11	1	348.0	66.0	4.7	13.0
Control	oct-11	2	586.0	276.0	5.1	11.0
Control	oct-11	3	888.0	86.0	6.5	11.0
Control	oct-11	4	368.0	48.0	7.7	11.0
Control	oct-11	5	1148.0	138.0	5.5	10.8
Control	oct-11	6	1794.0	380.0	6.4	12.0
Control	oct-11	7	1222.0	336.0		
Control	oct-11	8	748.0	86.0		
Control	oct-11	9	552.0	66.0		
Control	oct-11	10	382.0	22.0		
Control	oct-11	11	444.0	50.0		
Control	oct-11	12	414.0	72.0		
PROMEDIO			741.2	135.5	6.0	11.5
Control	nov-12	1	800.0	216.0	12.4	11.0
Control	nov-12	2	923.0	276.0	13.2	10.7
Control	nov-12	3	714.0	256.0	10.3	10.0
Control	nov-12	4	783.0	91.0	12.1	11.0
Control	nov-12	5	705.0	218.0	11.3	10.5
PROMEDIO			785.0	211.4	11.9	10.6
Control	feb-13	1	1100.0	365.0	13.5	9.0
Control	feb-13	2	1245.0	237.0	17.7	10.0
Control	feb-13	3	987.0	168.0	21.8	11.0
Control	feb-13	4	981.0	423.0	13.2	9.5
Control	feb-13	5	1023.0	334.0	16.7	10.5
PROMEDIO			1067.2	305.4	16.6	10.0
Control	set-13	1	1145.4	235.4	10.6	15.0
Control	set-13	2	655.4	11.4	12.4	14.0
Control	set-13	3	135.4	3.4	9.8	14.0
Control	set-13	4	477.4	73.4	10.5	13.8
Control	set-13	5	599.4	31.4	10.8	14.3
Control	set-13	6	319.4	21.4	11.6	14.5
Control	set-13	7	853.4	129.4		
Control	set-13	8	783.4	233.4		
Control	set-13	9	363.4	61.4		
Control	set-13	10	211.4	81.4		
Control	set-13	11	445.4	19.4		
Control	set-13	12	1159.4	447.4		
PROMEDIO			595.7	112.4	11.0	14.3

ANEXO 13: PARÁMETRO INFILTRACIÓN DE AGUA EN EL SUELO.

Tratamiento (TRT)	Prácticas conservación (PC\$)	Mes (M\$)	Variable respuesta (VR)
1	Surcos	ene-11	0.16
1	Surcos	ene-11	0.09
2	Surcos	ago-11	0.13
2	Surcos	ago-11	0.14
3	Surcos	oct-11	0.04
3	Surcos	oct-11	0.14
4	Surcos	nov-12	0.16
4	Surcos	nov-12	0.16
5	Surcos	feb-13	0.12
5	Surcos	feb-13	0.12
6	Surcos	set-13	0.12
6	Surcos	set-13	0.12
7	Hoyos	ene-11	0.1
7	Hoyos	ene-11	0.07
8	Hoyos	ago-11	0.08
8	Hoyos	ago-11	0.02
9	Hoyos	oct-11	0.17
9	Hoyos	oct-11	0.12
10	Hoyos	nov-12	0.15
10	Hoyos	nov-12	0.15
11	Hoyos	feb-13	0.11
11	Hoyos	feb-13	0.11
12	Hoyos	set-13	0.14
12	Hoyos	set-13	0.14
13	Testigo	ene-11	0.3
13	Testigo	ene-11	0.24
14	Testigo	ago-11	0.11
14	Testigo	ago-11	0.13
15	Testigo	oct-11	0.13
15	Testigo	oct-11	0.12
16	Testigo	nov-12	0.11
16	Testigo	nov-12	0.11
17	Testigo	feb-13	0.07
17	Testigo	feb-13	0.06
18	Testigo	set-13	0.12
18	Testigo	set-13	0.12
VR: cm/min			

ANEXO 14: PARÁMETRO EROSION DEL SUELO.

Tratamiento	Meses	Muestras	Erosion (TM/ha)
Surcos	Oct - Dic 11	1	28
Surcos	Oct - Dic 11	2	3
Surcos	Oct - Dic 11	3	23
Surcos	Oct - Dic 11	4	6
Surcos	Oct - Dic 11	5	15
Surcos	Oct - Dic 11	6	8
Surcos	Oct - Dic 11	7	0
Surcos	Oct - Dic 11	8	17
Surcos	Ene - Abril 12	1	-1
Surcos	Ene - Abril 12	2	18
Surcos	Ene - Abril 12	3	-13
Surcos	Ene - Abril 12	4	-9
Surcos	Ene - Abril 12	5	8
Surcos	Ene - Abril 12	6	-1
Surcos	Ene - Abril 12	7	27
Surcos	Ene - Abril 12	8	4
Surcos	May - Jun 12	1	2
Surcos	May - Jun 12	2	-6
Surcos	May - Jun 12	3	11
Surcos	May - Jun 12	4	-1
Surcos	May - Jun 12	5	-22
Surcos	May - Jun 12	6	1
Surcos	May - Jun 12	7	-12
Surcos	May - Jun 12	8	0
Surcos	jul-12	1	6
Surcos	jul-12	2	5
Surcos	jul-12	3	1
Surcos	jul-12	4	-2
Surcos	jul-12	5	28
Surcos	jul-12	6	7
Surcos	jul-12	7	23
Surcos	jul-12	8	3
Surcos	ago-12	1	6
Surcos	ago-12	2	11
Surcos	ago-12	3	16
Surcos	ago-12	4	20
Surcos	ago-12	5	9
Surcos	ago-12	6	10
Surcos	ago-12	7	7
Surcos	ago-12	8	9
Surcos	Set 12 - Set - 12	1	28
Surcos	Set 12 - Set - 12	2	22
Surcos	Set 12 - Set - 12	3	3
Surcos	Set 12 - Set - 12	4	-25
Surcos	Set 12 - Set - 12	5	-5
Surcos	Set 12 - Set - 12	6	14
Surcos	Set 12 - Set - 12	7	
Surcos	Set 12 - Set - 12	8	-22
Hoyos	Oct - Dic 11	1	10
Hoyos	Oct - Dic 11	2	-19
Hoyos	Oct - Dic 11	3	1
Hoyos	Oct - Dic 11	4	14
Hoyos	Oct - Dic 11	5	27
Hoyos	Oct - Dic 11	6	2
Hoyos	Oct - Dic 11	7	3
Hoyos	Oct - Dic 11	8	15
Hoyos	Ene - Abril 12	1	-44
Hoyos	Ene - Abril 12	2	-28
Hoyos	Ene - Abril 12	3	2
Hoyos	Ene - Abril 12	4	-1
Hoyos	Ene - Abril 12	5	27
Hoyos	Ene - Abril 12	6	21
Hoyos	Ene - Abril 12	7	-12
Hoyos	Ene - Abril 12	8	21
Hoyos	May - Jun 12	1	34
Hoyos	May - Jun 12	2	0
Hoyos	May - Jun 12	3	-14
Hoyos	May - Jun 12	4	1
Hoyos	May - Jun 12	5	4
Hoyos	May - Jun 12	6	-11
Hoyos	May - Jun 12	7	7
Hoyos	May - Jun 12	8	-9

(-): Acumulación de suelos.

Tratamiento	Meses	Muestras	Erosion (TM/ha)
Hoyos	jul-12	1	-4
Hoyos	jul-12	2	3
Hoyos	jul-12	3	26
Hoyos	jul-12	4	10
Hoyos	jul-12	5	11
Hoyos	jul-12	6	22
Hoyos	jul-12	7	11
Hoyos	jul-12	8	30
Hoyos	ago-12	1	-13
Hoyos	ago-12	2	52
Hoyos	ago-12	3	4
Hoyos	ago-12	4	
Hoyos	ago-12	5	1
Hoyos	ago-12	6	12
Hoyos	ago-12	7	9
Hoyos	ago-12	8	12
Hoyos	Set 12 - Set - 12	1	18
Hoyos	Set 12 - Set - 12	2	-42
Hoyos	Set 12 - Set - 12	3	59
Hoyos	Set 12 - Set - 12	4	0
Hoyos	Set 12 - Set - 12	5	63
Hoyos	Set 12 - Set - 12	6	-17
Hoyos	Set 12 - Set - 12	7	55
Hoyos	Set 12 - Set - 12	8	-20
Control	Oct - Dic 11	1	4
Control	Oct - Dic 11	2	9
Control	Oct - Dic 11	3	12
Control	Oct - Dic 11	4	32
Control	Oct - Dic 11	5	-17
Control	Oct - Dic 11	6	7
Control	Oct - Dic 11	7	16
Control	Oct - Dic 11	8	39
Control	Ene - Abril 12	1	35
Control	Ene - Abril 12	2	84
Control	Ene - Abril 12	3	29
Control	Ene - Abril 12	4	-9
Control	Ene - Abril 12	5	18
Control	Ene - Abril 12	6	-6
Control	Ene - Abril 12	7	2
Control	Ene - Abril 12	8	6
Control	May - Jun 12	1	-8
Control	May - Jun 12	2	-93
Control	May - Jun 12	3	-54
Control	May - Jun 12	4	-2
Control	May - Jun 12	5	-16
Control	May - Jun 12	6	3
Control	May - Jun 12	7	-8
Control	May - Jun 12	8	-6
Control	jul-12	1	13
Control	jul-12	2	2
Control	jul-12	3	65
Control	jul-12	4	2
Control	jul-12	5	
Control	jul-12	6	12
Control	jul-12	7	12
Control	jul-12	8	13
Control	ago-12	1	6
Control	ago-12	2	12
Control	ago-12	3	14
Control	ago-12	4	-5
Control	ago-12	5	0
Control	ago-12	6	-3
Control	ago-12	7	-3
Control	ago-12	8	-2
Control	Set 12 - Set - 12	1	12
Control	Set 12 - Set - 12	2	52
Control	Set 12 - Set - 12	3	
Control	Set 12 - Set - 12	4	41
Control	Set 12 - Set - 12	5	
Control	Set 12 - Set - 12	6	
Control	Set 12 - Set - 12	7	13
Control	Set 12 - Set - 12	8	24

ANEXO 15: ANVA DCA FACTORIAL DEL RINDE BIOMASA AEREA.

(a)

Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente VR

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	17443642,033 ^a	17	1026096.590	6.800	0.000
Interceptación	114344040.969	1	114344040.969	757.727	0.000
Técnica	613614.553	2	306807.276	2.033	0.135
Mes	12041752.642	5	2408350.528	15.959	0.000
Técnica * Mes	5105868.726	10	510586.873	3.384	0.001
Error	22333781.760	148	150903.931		
Total	151563822.960	166			
Total corregido	39777423.793	165			

a. R al cuadrado = ,439 (R al cuadrado ajustada = ,374)

Técnica de conservación de suelos		N	Subconjunto
			1
Duncan ^{a,b,c}	Control	56	783.568
	Hoyos	55	816.778
	Surcos	55	862.178
	Sig.		0.320

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos

- a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 55.329.
- b. Los tamaños de grupo no son iguales. Se utiliza la media
- c. Alfa = .05.

Mes		N	Subconjunto		
			1	2	3
Duncan ^{a,b,c}	oct-11	36	532.444		
	ago-11	35	584.686		
	may-11	29		920.207	
	nov-12	15		921.000	
	set-13	36		949.122	
	feb-13	15			1461.400
	Sig.			0.643	0.811

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

- a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 23.815.
- b. Los tamaños de grupo no son iguales. Se utiliza la media armónica de los tamaños de
- c. Alfa = .05.

(b)

Comparaciones por parejas

(I) Técnicas		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig. ^b	95% de intervalo de	
					Límite inferior	Límite superior
Control	Hoyos	-86.449	79.548	.279	-243.646	70.747
	Surcos	-160,205*	79.548	.046	-317.401	-3.008
Hoyos	Control	86.449	79.548	.279	-70.747	243.646
	Surcos	-73.756	79.880	.357	-231.608	84.097
Surcos	Control	160,205*	79.548	.046	3.008	317.401
	Hoyos	73.756	79.880	.357	-84.097	231.608

Se basa en medias marginales estimadas

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel .05.

b. Ajuste para varias comparaciones: menor diferencia significativa (equivalente a sin ajustes).

Comparaciones por parejas

(I) Mes		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig. ^b	95% de intervalo de	
					Límite inferior	Límite superior
may-11	ago-11	329,128*	97.822	.001	135.820	522.436
	oct-11	385,704*	97.170	.000	193.683	577.724
	nov-12	-2.852	123.736	.982	-247.369	241.665
	feb-13	-543,252*	123.736	.000	-787.769	-298.735
	set-13	-30.974	97.170	.750	-222.995	161.046
ago-11	may-11	-329,128*	97.822	.001	-522.436	-135.820
	oct-11	56.576	92.253	.541	-125.727	238.879
	nov-12	-331,980*	119.913	.006	-568.942	-95.018
	feb-13	-872,380*	119.913	.000	-1109.342	-635.418
	set-13	-360,102*	92.253	.000	-542.405	-177.799
oct-11	may-11	-385,704*	97.170	.000	-577.724	-193.683
	ago-11	-56.576	92.253	.541	-238.879	125.727
	nov-12	-388,556*	119.382	.001	-624.469	-152.642
	feb-13	-928,956*	119.382	.000	-1164.869	-693.042
	set-13	-416,678*	91.562	.000	-597.615	-235.741
nov-12	may-11	2.852	123.736	.982	-241.665	247.369
	ago-11	331,980*	119.913	.006	95.018	568.942
	oct-11	388,556*	119.382	.001	152.642	624.469
	feb-13	-540,400*	141.847	.000	-820.707	-260.093
	set-13	-28.122	119.382	.814	-264.035	207.791
feb-13	may-11	543,252*	123.736	.000	298.735	787.769
	ago-11	872,380*	119.913	.000	635.418	1109.342
	oct-11	928,956*	119.382	.000	693.042	1164.869
	nov-12	540,400*	141.847	.000	260.093	820.707
	set-13	512,278*	119.382	.000	276.365	748.191
set-13	may-11	30.974	97.170	.750	-161.046	222.995
	ago-11	360,102*	92.253	.000	177.799	542.405
	oct-11	416,678*	91.562	.000	235.741	597.615
	nov-12	28.122	119.382	.814	-207.791	264.035
	feb-13	-512,278*	119.382	.000	-748.191	-276.365

Se basa en medias marginales estimadas

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel .05.

b. Ajuste para varias comparaciones: menor diferencia significativa (equivalente a sin ajustes).

ANEXO 16: ANVA DCA FACTORIAL DEL RINDE DEL MANTILLO.

(a)

Pruebas de efectos inter-sujetos

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	1760774,452 ^a	17	103574.968	7.018	0.000
Interceptación	6232439.124	1	6232439.124	422.281	0.000
Técnicas	14439.795	2	7219.898	.489	0.614
Mes	1467836.466	5	293567.293	19.891	0.000
Técnicas * Mes	198696.766	10	19869.677	1.346	0.211
Error	2169573.170	147	14759.001		
Total	9379985.090	165			
Total corregido	3930347.622	164			

a. R al cuadrado = ,448 (R al cuadrado ajustada = ,384)

Rinde

		N	Subconjunto
Técnicas			1
Duncan ^{a,b,c}	Surcos	52	172.4942
	Control	58	182.4966
	Hoyos	55	189.6727
	Sig.		0.490

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos

- a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 54.891.
- b. Los tamaños de grupo no son iguales. Se utiliza la media
- c. Alfa = .05.

Rinde

		N	Subconjunto			
			1	2	3	4
Mes						
Duncan ^{a,b,c}	ago-11	36	63.4972			
	set-13	36		138.3500		
	oct-11	36		147.9444		
	nov-12	15			272.5200	
	may-11	27			289.9259	
	feb-13	15				365.2133
	Sig.		1.0000	0.7863	0.6230	1.0000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

- a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 23.650.
- b. Los tamaños de grupo no son iguales. Se utiliza la media armónica de los tamaños de grupo. Los niveles
- c. Alfa = .05.

(b)

Comparaciones por parejas

Variable dependiente Rinde

(I) Técnicas		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig. ^a	confianza para diferencia ^a	
					Límite inferior	Límite superior
Control	Hoyos	-23.719	24.752	0.340	-72.636	25.197
	Surcos	-17.054	25.208	0.500	-66.872	32.763
Hoyos	Control	23.719	24.752	0.340	-25.197	72.636
	Surcos	6.665	25.433	0.794	-43.597	56.927
Surcos	Control	17.054	25.208	0.500	-32.763	66.872
	Hoyos	-6.665	25.433	0.794	-56.927	43.597

Se basa en medias marginales estimadas

a. Ajuste para varias comparaciones: menor diferencia significativa (equivalente a sin ajustes).

Comparaciones por parejas

Variable dependiente Rinde

(I) Mes		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig. ^b	confianza para diferencia ^b	
					Límite inferior	Límite superior
may-11	ago-11	214,058*	31.657	0.000	151.497	276.620
	oct-11	129,611*	31.657	0.000	67.050	192.172
	nov-12	5.036	39.700	0.899	-73.422	83.493
	feb-13	-87,658*	39.700	0.029	-166.115	-9.201
	set-13	139,206*	31.657	0.000	76.644	201.767
ago-11	may-11	-214,058*	31.657	0.000	-276.620	-151.497
	oct-11	-84,447*	28.635	0.004	-141.036	-27.858
	nov-12	-209,023*	37.335	0.000	-282.806	-135.240
	feb-13	-301,716*	37.335	0.000	-375.499	-227.933
	set-13	-74,853*	28.635	0.010	-131.442	-18.264
oct-11	may-11	-129,611*	31.657	0.000	-192.172	-67.050
	ago-11	84,447*	28.635	0.004	27.858	141.036
	nov-12	-124,576*	37.335	0.001	-198.358	-50.793
	feb-13	-217,269*	37.335	0.000	-291.052	-143.486
	set-13	9.594	28.635	0.738	-46.994	66.183
nov-12	may-11	-5.036	39.700	0.899	-83.493	73.422
	ago-11	209,023*	37.335	0.000	135.240	282.806
	oct-11	124,576*	37.335	0.001	50.793	198.358
	feb-13	-92,693*	44.361	0.038	-180.360	-5.026
	set-13	134,170*	37.335	0.000	60.387	207.953
feb-13	may-11	87,658*	39.700	0.029	9.201	166.115
	ago-11	301,716*	37.335	0.000	227.933	375.499
	oct-11	217,269*	37.335	0.000	143.486	291.052
	nov-12	92,693*	44.361	0.038	5.026	180.360
	set-13	226,863*	37.335	0.000	153.081	300.646
set-13	may-11	-139,206*	31.657	0.000	-201.767	-76.644
	ago-11	74,853*	28.635	0.010	18.264	131.442
	oct-11	-9.594	28.635	0.738	-66.183	46.994
	nov-12	-134,170*	37.335	0.000	-207.953	-60.387
	feb-13	-226,863*	37.335	0.000	-300.646	-153.081

Se basa en medias marginales estimadas

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel .05.

b. Ajuste para varias comparaciones: menor diferencia significativa (equivalente a sin ajustes).

ANEXO 17: ANVA DCA FACTORIAL DE LA TEMPERATURA DEL SUELO (°C).

(a)

Pruebas de efectos inter-sujetos

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	113,434 ^a	17	6.673	3.483	0.000
Interceptación	8432.964	1	8432.964	4401.759	0.000
Técnicas	2.231	2	1.115	.582	0.562
Mes	94.337	5	18.867	9.848	0.000
Técnicas * Mes	15.493	10	1.549	.809	0.621
Error	95.791	50	1.916		
Total	9814.920	68			
Total corregido	209.225	67			

a. R al cuadrado = ,542 (R al cuadrado ajustada = ,387)

		N	Subconjunto	
			1	
Técnicas				
Duncan ^{a,b,c}	Surcos	24	11.813	
	Control	23	11.857	
	Hoyos	21	12.000	
	Sig.		0.672	

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 22,596.

b. Los tamaños de grupo no son iguales. Se utiliza la media armónica de los

c. Alfa = .05.

		N	Subconjunto	
			1	2
Mes				
Duncan ^{a,b,c}	feb-13	9	10.556	
	nov-12	9	11.056	
	ago-11	8	11.125	
	oct-11	12	11.625	
	may-11	18	11.900	
	set-13	12		14.250
	Sig.		.050	1.000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 10,537.

b. Los tamaños de grupo no son iguales. Se utiliza la media armónica de los tamaños de grupo.

c. Alfa = .05.

ANEXO 17: ANVA DCA FACTORIAL DE LA TEMPERATURA DEL SUELO (°C).

(b)

Comparaciones por parejas

(I) Técnicas	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig. ^a	95% de intervalo de		
				Límite inferior	Límite superior	
Control	Hoyos	-.308	.437	.483	-1.185	.569
	Surcos	.162	.426	.705	-.694	1.019
Hoyos	Control	.308	.437	.483	-.569	1.185
	Surcos	.471	.442	.292	-.416	1.358
Surcos	Control	-.162	.426	.705	-1.019	0.694
	Hoyos	-.471	.442	.292	-1.358	0.416

Se basa en medias marginales estimadas

a. Ajuste para varias comparaciones: menor diferencia significativa (equivalente a sin ajustes).

Comparaciones por parejas

(I) Mes	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig. ^b	95% de intervalo de		
				Límite inferior	Límite superior	
may-11	ago-11	.733	0.610	0.235	-.493	1.959
	oct-11	.275	0.516	0.596	-.761	1.311
	nov-12	.844	0.565	0.141	-.291	1.979
	feb-13	1,344*	0.565	0.021	.209	2.479
	set-13	-2,489*	0.533	0.000	-3.559	-1.419
ago-11	may-11	-.733	0.610	0.235	-1.959	0.493
	oct-11	-.458	0.652	0.486	-1.769	0.852
	nov-12	.111	0.692	0.873	-1.279	1.501
	feb-13	.611	0.692	0.381	-.779	2.001
	set-13	-3,222*	0.666	0.000	-4.560	-1.885
oct-11	may-11	-.275	0.516	0.596	-1.311	.761
	ago-11	.458	0.652	0.486	-.852	1.769
	nov-12	.569	0.610	0.355	-.656	1.795
	feb-13	1.069	0.610	0.086	-.156	2.295
	set-13	-2,764*	0.581	0.000	-3.930	-1.598
nov-12	may-11	-.844	0.565	0.141	-1.979	.291
	ago-11	-.111	0.692	0.873	-1.501	1.279
	oct-11	-.569	0.610	0.355	-1.795	.656
	feb-13	.500	0.652	0.447	-.811	1.811
	set-13	-3,333*	0.625	0.000	-4.588	-2.079
feb-13	may-11	-1,344*	0.565	0.021	-2.479	-.209
	ago-11	-.611	0.692	0.381	-2.001	.779
	oct-11	-1.069	0.610	0.086	-2.295	.156
	nov-12	-.500	0.652	0.447	-1.811	.811
	set-13	-3,833*	0.625	0.000	-5.088	-2.579
set-13	may-11	2,489*	0.533	0.000	1.419	3.559
	ago-11	3,222*	0.666	0.000	1.885	4.560
	oct-11	2,764*	0.581	0.000	1.598	3.930
	nov-12	3,333*	0.625	0.000	2.079	4.588
	feb-13	3,833*	0.625	0.000	2.579	5.088

Se basa en medias marginales estimadas

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel .05.

b. Ajuste para varias comparaciones: menor diferencia significativa (equivalente a sin ajustes).

ANEXO 18: ANVA DCA FACTORIAL DE LA HUMEDAD DEL SUELO (%).

(a)

Pruebas de efectos inter-sujetos

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	1678,826 ^a	14	119.916	15.442	0.000
Interceptación	9364.298	1	9364.298	1205.868	0.000
Técnicas	155.178	2	77.589	9.991	0.000
Mes	1295.458	4	323.864	41.705	0.000
Técnicas * Mes	239.430	8	29.929	3.854	0.001
Error	388.281	50	7.766		
Total	12707.492	65			
Total corregido	2067.106	64			

a. R al cuadrado = ,812 (R al cuadrado ajustada = ,760)

Técnicas		N	Subconjunto	
			1	2
HSD Tukey ^{a,b,c}	Control	21	10.9467	
	Hoyos	21	12.5900	
	Surcos	23		14.6683
	Sig.		0.138	1.000
Duncan ^{a,b,c}	Control	21	10.9467	
	Hoyos	21	12.5900	
	Surcos	23		14.6683
	Sig.		0.058	1.000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

- a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 21,627.
- b. Los tamaños de grupo no son iguales. Se utiliza la media armónica de los
- c. Alfa = .05.

Mes		N	Subconjunto		
			1	2	3
HSD Tukey ^{a,b,c}	ago-11	12	7.8217		
	oct-11	12	9.0475		
	set-13	11	10.1282		
	nov-12	15		15.2467	
	feb-13	15			19.2733
	Sig.		0.239	1.000	1.000
Duncan ^{a,b,c}	ago-11	12	7.8217		
	oct-11	12	9.0475		
	set-13	11	10.1282		
	nov-12	15		15.2467	
	feb-13	15			19.2733
	Sig.		0.052	1.000	1.000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

- a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 12,791.
- b. Los tamaños de grupo no son iguales. Se utiliza la media armónica de los tamaños de grupo.
- c. Alfa = .05.

ANEXO 18: ANVA DCA FACTORIAL DE LA HUMEDAD DEL SUELO (%).

(b)

Comparaciones por parejas

(I) Técnicas	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig. ^b	95% de intervalo de		
				Límite inferior	Límite superior	
Control	Hoyos	-1.029	0.875	0.245	-2.787	.729
	Surcos	-3,664*	0.851	0.000	-5.374	-1.954
Hoyos	Control	1.029	0.875	0.245	-.729	2.787
	Surcos	-2,635*	0.851	0.003	-4.345	-.925
Surcos	Control	3,664*	0.851	0.000	1.954	5.374
	Hoyos	2,635*	0.851	0.003	.925	4.345

Se basa en medias marginales estimadas

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel .05.

b. Ajuste para varias comparaciones: menor diferencia significativa (equivalente a sin ajustes).

Comparaciones por parejas

(I) Mes	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig. ^b	95% de intervalo de		
				Límite inferior	Límite superior	
ago-11	oct-11	-1,226	1.138	0.286	-3.511	1.059
	nov-12	-7,425*	1.079	0.000	-9.593	-5.257
	feb-13	-11,452*	1.079	0.000	-13.619	-9.284
	set-13	-1.707	1.181	0.155	-4.080	.665
oct-11	ago-11	1,226	1.138	0.286	-1.059	3.511
	nov-12	-6,199*	1.079	0.000	-8.367	-4.031
	feb-13	-10,226*	1.079	0.000	-12.394	-8.058
	set-13	-.482	1.181	0.685	-2.854	1.891
nov-12	ago-11	7,425*	1.079	0.000	5.257	9.593
	oct-11	6,199*	1.079	0.000	4.031	8.367
	feb-13	-4,027*	1.018	0.000	-6.070	-1.983
	set-13	5,718*	1.125	0.000	3.458	7.977
feb-13	ago-11	11,452*	1.079	0.000	9.284	13.619
	oct-11	10,226*	1.079	0.000	8.058	12.394
	nov-12	4,027*	1.018	0.000	1.983	6.070
	set-13	9,744*	1.125	0.000	7.485	12.004
set-13	ago-11	1.707	1.181	0.155	-.665	4.080
	oct-11	.482	1.181	0.685	-1.891	2.854
	nov-12	-5,718*	1.125	0.000	-7.977	-3.458
	feb-13	-9,744*	1.125	0.000	-12.004	-7.485

Se basa en medias marginales estimadas

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel .05.

b. Ajuste para varias comparaciones: menor diferencia significativa (equivalente a sin ajustes).

ANEXO 19: ANVA DCA FACTORIAL DE LA INFILTRACION DEL SUELO (cm/min).

(a)

Pruebas de efectos inter-sujetos

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	,072 ^a	17	0.004	5.851	0.000
Interceptación	0.558	1	0.558	766.046	0.000
Técnicas	0.003	2	0.001	1.939	0.173
Mes	0.016	5	0.003	4.504	0.008
Técnicas * Mes	0.053	10	0.005	7.307	0.000
Error	0.013	18	0.001		
Total	0.643	36			
Total corregido	0.085	35			

a. R al cuadrado = ,847 (R al cuadrado ajustada = ,702)

Técnicas	N	Subconjunto	
		1	
Duncan ^{a,b}			
Hoyos	12	0.113	
Surcos	12	0.125	
Control	12	0.135	
Sig.		0.078	

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 12,000.

b. Alfa = .05.

Mes	N	Subconjunto		
		1	2	3
Duncan ^{a,b}				
feb-13	6	0.098		
ago-11	6	0.102		
oct-11	6	0.120	0.120	
set-13	6	0.127	0.127	0.127
nov-12	6		0.140	0.140
ene-11	6			0.160
Sig.		0.111	0.240	0.056

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 6,000.

b. Alfa = .05.

ANEXO 19: ANVA DCA FACTORIAL DE LA INFILTRACION DEL SUELO (cm/min).

(b)

Comparaciones por parejas (Velocidad cm/min)

(I) Técnicas	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig. ^a	confianza para diferencia ^a		
				Límite inferior	Límite superior	
Control	Hoyos	0.022	0.011	0.065	-0.001	0.045
	Surcos	0.010	0.011	0.376	-0.013	0.033
Hoyos	Control	-0.022	0.011	0.065	-0.045	0.001
	Surcos	-0.012	0.011	0.303	-0.035	0.011
Surcos	Control	-0.010	0.011	0.376	-0.033	0.013
	Hoyos	0.012	0.011	0.303	-0.011	0.035

Se basa en medias marginales estimadas

a. Ajuste para varias comparaciones: menor diferencia significativa (equivalente a sin ajustes).

Comparaciones por parejas (Velocidad cm/min)

(I) Mes	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig. ^b	confianza para diferencia ^b		
				Límite inferior	Límite superior	
ene-11	ago-11	,058*	0.016	0.001	0.026	0.091
	oct-11	,040*	0.016	0.019	0.007	0.073
	nov-12	0.020	0.016	0.215	-0.013	0.053
	feb-13	,062*	0.016	0.001	0.029	0.094
	set-13	,033*	0.016	0.046	0.001	0.066
ago-11	ene-11	-,058*	0.016	0.001	-0.091	-0.026
	oct-11	-0.018	0.016	0.254	-0.051	0.014
	nov-12	-,038*	0.016	0.024	-0.071	-0.006
	feb-13	0.003	0.016	0.833	-0.029	0.036
	set-13	-0.025	0.016	0.126	-0.058	0.008
oct-11	ene-11	-,040*	0.016	0.019	-0.073	-0.007
	ago-11	0.018	0.016	0.254	-0.014	0.051
	nov-12	-0.020	0.016	0.215	-0.053	0.013
	feb-13	0.022	0.016	0.181	-0.011	0.054
	set-13	-0.007	0.016	0.674	-0.039	0.026
nov-12	ene-11	-0.020	0.016	0.215	-0.053	0.013
	ago-11	,038*	0.016	0.024	0.006	0.071
	oct-11	0.020	0.016	0.215	-0.013	0.053
	feb-13	,042*	0.016	0.015	0.009	0.074
	set-13	0.013	0.016	0.403	-0.019	0.046
feb-13	ene-11	-,062*	0.016	0.001	-0.094	-0.029
	ago-11	-0.003	0.016	0.833	-0.036	0.029
	oct-11	-0.022	0.016	0.181	-0.054	0.011
	nov-12	-,042*	0.016	0.015	-0.074	-0.009
	set-13	-0.028	0.016	0.086	-0.061	0.004
set-13	ene-11	-,033*	0.016	0.046	-0.066	-0.001
	ago-11	0.025	0.016	0.126	-0.008	0.058
	oct-11	0.007	0.016	0.674	-0.026	0.039
	nov-12	-0.013	0.016	0.403	-0.046	0.019
	feb-13	0.028	0.016	0.086	-0.004	0.061

Se basa en medias marginales estimadas

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel .05.

b. Ajuste para varias comparaciones: menor diferencia significativa (equivalente a sin ajustes).

ANEXO 20: ANVA DCA FACTORIAL DE LA EROSIÓN DEL SUELO (TM/Ha).

(a)

Pruebas de efectos inter-sujetos de la erosión del suelo

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	15160,406 ^a	17	891.789	2.175	0.008
Interceptación	8101.523	1	8101.523	19.756	0.000
Técnicas	301.100	2	150.550	.367	0.693
Mes	7992.202	5	1598.440	3.898	0.003
Técnicas * Mes	7405.934	10	740.593	1.806	0.067
Error	49209.186	120	410.077		
Total	71540.803	138			
Total corregido	64369.592	137			

a. R al cuadrado = .236 (R al cuadrado ajustada = .127)

		N	Subconjunto
			1
Técnicas			
Duncan ^{a,b,c}	Surcos	47	6.0221
	Hoyos	47	7.5089
	Control	44	8.1555
	Sig.		0.638

Se visualizan las medias para los grupos en los

- Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica
- Los tamaños de grupo no son iguales. Se utiliza la
- Alfa = .05.

		N	Subconjunto	
			1	2
Mes				
Duncan ^{a,b,c}	jun-12	24	-8.1758	
	abr-12	24		7.3992
	ago-12	23		8.0413
	dic-11	24		10.5542
	jul-12	23		13.1057
	set-13	20		13.6880
	Sig.		1.000	0.359

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos

- Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 22.905.
- Los tamaños de grupo no son iguales. Se utiliza la media armónica
- Alfa = .05.

ANEXO 20: ANVA DCA FACTORIAL DE LA EROSIÓN DEL SUELO (TM/Ha).

(b)

Comparaciones por parejas de erosión del suelo

(I) Técnicas	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig. ^a	confianza para diferencia ^a		
				Límite inferior	Límite superior	
Control	Hoyos	2.028	4.283	.637	-6.453	10.509
	Surcos	3.668	4.283	.394	-4.813	12.149
Hoyos	Control	-2.028	4.283	.637	-10.509	6.453
	Surcos	1.640	4.183	.696	-6.641	9.921
Surcos	Control	-3.668	4.283	.394	-12.149	4.813
	Hoyos	-1.640	4.183	.696	-9.921	6.641

Se basa en medias marginales estimadas

a. Ajuste para varias comparaciones: menor diferencia significativa (equivalente a sin ajustes).

Comparaciones por parejas de erosión del suelo

(I) Mes	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig. ^b	confianza para diferencia ^b		
				Límite inferior	Límite superior	
dic-11	abr-12	3.155	5.846	.590	-8.419	14.729
	jun-12	18,730*	5.846	.002	7.156	30.304
	jul-12	-2.720	5.915	.646	-14.432	8.991
	ago-12	2.388	5.915	.687	-9.324	14.099
	set-13	-4.499	6.197	.469	-16.769	7.770
abr-12	dic-11	-3.155	5.846	.590	-14.729	8.419
	jun-12	15,575*	5.846	.009	4.001	27.149
	jul-12	-5.875	5.915	.323	-17.587	5.836
	ago-12	-.767	5.915	.897	-12.479	10.944
	set-13	-7.654	6.197	.219	-19.924	4.615
jun-12	dic-11	-18,730*	5.846	.002	-30.304	-7.156
	abr-12	-15,575*	5.846	.009	-27.149	-4.001
	jul-12	-21,450*	5.915	.000	-33.162	-9.739
	ago-12	-16,342*	5.915	.007	-28.054	-4.631
	set-13	-23,229*	6.197	.000	-35.499	-10.960
jul-12	dic-11	2.720	5.915	.646	-8.991	14.432
	abr-12	5.875	5.915	.323	-5.836	17.587
	jun-12	21,450*	5.915	.000	9.739	33.162
	ago-12	5.108	5.983	.395	-6.739	16.955
	set-13	-1.779	6.262	.777	-14.178	10.620
ago-12	dic-11	-2.388	5.915	.687	-14.099	9.324
	abr-12	.767	5.915	.897	-10.944	12.479
	jun-12	16,342*	5.915	.007	4.631	28.054
	jul-12	-5.108	5.983	.395	-16.955	6.739
	set-13	-6.887	6.262	.274	-19.286	5.512
set-13	dic-11	4.499	6.197	.469	-7.770	16.769
	abr-12	7.654	6.197	.219	-4.615	19.924
	jun-12	23,229*	6.197	.000	10.960	35.499
	jul-12	1.779	6.262	.777	-10.620	14.178
	ago-12	6.887	6.262	.274	-5.512	19.286

Se basa en medias marginales estimadas

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel .05.

b. Ajuste para varias comparaciones: menor diferencia significativa (equivalente a sin ajustes).

ANEXO 21: CONDICIÓN DE LOS SITIOS DE LA SUBCUENCA URPAY.

Especie Animal	Información descriptiva	Sitios de pastizal														
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
	Especie vegetal dominante	Dimu	Sciri	Cari	Lupe	Cahe	Stibra	Sciri	Sciri	Cari	X	Cama	Cama	Cama	Cama	
	Especie vegetal sub-dominante	Caec	Lupe	Sciri	Caec	Cavi	Stibra	Mufa	Hita	Sciri	X	Sti sp	Sciri	Acpu	Sciri	
	Especie vegetal sub-sub-dominante	Cari	Caec	Stibra	Sciri	Stibra	Cahe	Cavi	Cahe	Dimu	X	Sciri	Mupe	Cavi	Mupe	
Ovinos	Índices (%)															
	Índice deseables (D)	3.0	9.0	11.0	4.0	4.0	9.0	21.0	16.0	15.0		5	7	6	5	
	Poco deseables (-)	12.0	0.0	5.0	0.0	8.0	2.0	8.0	6.0	9.0		0	0	6	0	
	Índice forrajero (IF)	15.0	9.0	16.0	4.0	12.0	11.0	29.0	22.0	24.0		5	7	12	5	
	BRP	0.0	36.0	26.0	44.0	20.0	32.0	9.0	26.0	28.0		55	62	44	55	
	Índice COB	100.0	64.0	74.0	56.0	80.0	68.0	91.0	74.0	72.0		45	38	56	45	
	Índice de vigor (V)	1	38.87	66.7	48.1	1.0	45.2	86.7	1.0	1.0		0	0	0	0	
	Coefficientes*Índices															
	0.5 (%D)	1.5	4.5	5.5	2.0	2.0	4.5	10.5	8.0	7.5		2.5	3.5	3	2.5	
	0.2 (%IF)	3.0	1.8	3.2	0.8	2.4	2.2	5.8	4.4	4.8		1	1.4	2.4	1	
	0.2 (%COB)	20.0	7.2	14.8	11.2	16.0	13.6	18.2	14.8	14.4		9	7.6	11.2	9	
	0.1 (%V)	0.1	3.9	6.7	4.8	0.1	4.5	8.7	0.1	0.1		0	0	0	0	
	Puntaje	24.6	17.4	30.2	18.8	20.5	24.8	43.2	27.3	26.8		12.5	12.5	16.6	12.5	
	Condicion Sitio Pastizal	P	MP	P	MP	MP	P	R	P	P	X	Mp	Mp	Mp	Mp	
Vacunos	Índices (%)															
	Índice deseables (D)	1.0	6.0	5.0	1.0	1.0	4.0	7.0	6.0	3.0		5	7	5	5	
	Poco deseables (-)	14.0	3.0	11.0	3.0	11.0	7.0	22.0	16.0	18.0		0	0	7	0	
	Índice forrajero (IF)	15.0	9.0	16.0	4.0	12.0	11.0	29.0	22.0	21.0		5	7	12	5	
	BRP	0.0	36.0	26.0	44.0	20.0	32.0	9.0	26.0	28.0		55	62	44	55	
	Índice COB	100.0	64.0	74.0	56.0	80.0	68.0	91.0	74.0	72.0		45	38	56	45	
	Índice de vigor (V)	19.4	14	1.00	1.00	1.00	1.00	46.67	1.00	1.00		0	0	0	0	
	Coefficientes*Índices															
	0.5 (%D)	0.5	3.0	2.5	0.5	0.5	2.0	3.5	3.0	1.5		2.5	3.5	2.5	2.5	
	0.2 (%IF)	3.0	1.8	3.2	0.8	2.4	2.2	5.8	4.4	4.2		1	1.4	2.4	1	
	0.2 (%COB)	20.0	7.2	14.8	11.2	16.0	13.6	18.2	14.8	14.4		9	7.6	11.2	9	
	0.1 (%V)	1.9	1.4	0.1	0.1	0.1	0.1	4.7	0.1	0.1		0	0	0	0	
	Puntaje	25.4	13.4	20.6	12.6	19.0	17.9	32.2	22.3	20.2		12.5	12.5	16.1	12.5	
	Condicion Sitio Pastizal	P	MP	P	MP	MP	MP	P	P	MP	X	Mp	Mp	Mp	Mp	
Vicuiñas	Índices (%)															
	Índice deseables (D)	13.0	3.0	6.0	3.0	10.0	7.0	20.0	16.0	12.0		0	0	7	5	
	Poco deseables (-)	2.0	6.0	10.0	1.0	12.0	4.0	9.0	6.0	9.0		5	7	5	0	
	Índice forrajero (IF)	15.0	9.0	16.0	4.0	22.0	11.0	29.0	22.0	21.0		5	7	12	5	
	BRP	0.0	36.0	26.0	44.0	20.0	32.0	9.0	26.0	28.0		55	62	44	55	
	Índice COB	100.0	64.0	74.0	56.0	80.0	68.0	91.0	74.0	72.0		45	38	56	45	
	Índice de vigor (V)	1	38.87	61.57	48.13	54.03	32.33	62.50	61.95	76.49		0	0	0	0	
	Coefficientes*Índices															
	0.5 (%D)	6.5	1.5	3.0	1.5	5.0	3.5	10.0	8.0	6.0		0	0	3.5	2.5	
	0.2 (%IF)	3.0	1.8	3.2	0.8	4.4	2.2	5.8	4.4	4.2		1	1.4	2.4	1	
	0.2 (%COB)	20.0	7.2	14.8	11.2	16.0	13.6	18.2	14.8	14.4		9	7.6	11.2	9	
	0.1 (%V)	0.1	3.9	6.2	4.8	5.4	3.2	6.3	6.2	7.6		0	0	0	0	
	Puntaje	29.6	14.4	27.2	18.3	30.8	22.5	40.3	33.4	32.2		10	9	17.1	12.5	
	Condicion Sitio Pastizal	P	MP	P	MP	P	P	P	P	P	X	Mp	Mp	Mp	Mp	

BRP: Suelo desnudo, Pavimento de erosion y Roca.

Índice COB = 100 - %BRP

R: Regular

P: Pobre

MP: Muy Pobre

Dimu: Distichia muscoides

Caec: Carex ecuadorica

Cari: Calamagrostis rigescens

Sciri: Scirpus rigidus

Lupe: Luzula peruviana

Stibra: Stipa brachyphylla

Cahe: Calamagrostis heterophylla

Cavi: Calamagrostis vicinarum

Mufa: Muhlenbergia fastigiata

Cama: Calamagrostis macrophylla

Hita: Hypochoeris taraxacoides

X: area protección

Mupe: Muhlenbergia peruviana

Stipa: Stipa sp.

Acpu: Aciacne pulvinata

ANEXO 22: PARAMETROS BÁSE REQUERIDOS POR EL HEC-HMS.

Curva número ponderado por condición y grupo hidrológico del suelo con sistema de uso tradicional.

Estado Hidrológico (multicriterio)	Superficie (has)	Tipo de cobertura (Pastos naturales)	Tabla SCS ^{1/}	Condición hidrológica	Grupo hidrológico del suelo	Curva número
Frágil	92	Herbaceas	2-2d	Pobre	C	87
Muy pobre	344	Pacu pacu	2-2d	Regular	C	81
Pobre	840	Césped puna	2-2d	Regular	C	77
Regular	701	Ocsha	2-2c	Regular	B	69
Buena	122	Ichu	2-2c	Regular	C	79
Muy buena	176	Chillihuar	2-2c	-	B	58
Óptimo	174	Humedal/bofedal	2-2c	Buena	C	74
Curva Numero Ponderado						74

^{1/}: Tabla curva número para tierras de cultivo y pastos naturales (Cronshey et al. 1986).

Curva número ponderado por condición y grupo hidrológico del suelo con técnica de mejora hoyos.

Estado Hidrológico (multicriterio)	Superficie (has)	Tipo de cobertura (Pastos naturales)	Tabla SCS ^{1/}	Condición hidrológica	Grupo hidrológico del suelo	Curva número
Frágil	92	Herbaceas	2-2d	Pobre	C	87
Muy pobre	344	Pacu pacu	2-2d	Regular	C	81
Pobre	840	Césped puna	2-2d	Regular	C	77
Regular	701	Ocsha	2-2c	Bueno	B	61
Buena	122	Ichu	2-2c	Regular	C	79
Muy buena	176	Chillihuar	2-2c	-	B	58
Óptimo	174	Humedal/bofedal	2-2c	Buena	C	74
Curva Numero Ponderado						72

^{1/}: Tabla curva número para tierras de cultivo y pastos naturales (Cronshey et al. 1986).

Curva número ponderado por condición y grupo hidrológico del suelo con técnica de mejora surcos.

Estado Hidrológico (multicriterio)	Superficie (has)	Tipo de cobertura (Pastos naturales)	Tabla SCS ^{1/}	Condición hidrológica	Grupo hidrológico del suelo	Curva número
Frágil	92	Herbaceas	2-2d	Pobre	C	87
Muy pobre	344	Pacu pacu	2-2d	Regular	C	81
Pobre	840	Césped puna	2-2d	Regular	C	77
Regular	701	Ocsha	2-2c	Regular	A	49
Buena	122	Ichu	2-2c	Regular	C	79
Muy buena	176	Chillihuar	2-2c	-	B	58
Óptimo	174	Humedal/bofedal	2-2c	Buena	C	74
Curva Numero Ponderado						68

^{1/}: Tabla curva número para tierras de cultivo y pastos naturales (Cronshey et al. 1986).

Curva número ponderado por condición y grupo hidrológico del suelo con técnica de mejora revegetación.

Estado Hidrológico (multicriterio)	Superficie (has)	Tipo de cobertura (Pastos naturales)	Tabla SCS ^{1/}	Condición hidrológica	Grupo hidrológico del suelo	Curva número
Frágil	92	Herbaceas	2-2d	Pobre	C	87
Muy pobre	344	Pacu pacu	2-2d	Regular	C	81
Pobre	840	Césped puna	2-2d	Regular	C	77
Regular	701	Ocsha	2-2c	-	A	30
Buena	122	Ichu	2-2c	Regular	C	79
Muy buena	176	Chillihuar	2-2c	-	A	30
Óptimo	174	Humedal/bofedal	2-2c	Buena	C	74
Curva Numero Ponderado						61

^{1/}: Tabla curva número para tierras de cultivo y pastos naturales (Cronshey et al. 1986).

Estado subcuenca	Cauce Principal			S	TC (hr)	Lag (60% de TC)	Lag (min)
	Longitud (m)	Cota Máxima (msnm)	Cota Mínima (Msnm)				
Urpay	16,986.76	4850	3400	0.085	1.508	0.9048	54.29

Ecuación de Kirpich:

Pendiente (S) = (Cota Máxima - Cota Mínima) / Longitud

Tiempo de Concentración (TC) = 0,000323 (L^{0,77} / S^{0,385})

Lag (min) = Lag (60% de TC) * 60

Sucuencia	Area (Km2)	L/S *km2	Caudal Base (L/S)	Caudal Base (m3/S)
Actual	24.5	7.08	177.57	0.18

Cálculos:

Caudal Base (L/S) = [(Area_ km2) (L/S * km2)]

Caudal Base (m3/S) = Caudal base (L/S) / 1000

ANEXO 23: PRECIPITACION DIARIA DEL PLUVIOMETRO POCCO I.

Dia	2011										2012		
	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
1	0.1	5.4	0.2	0	0.1	0.1	0.1	0.3	3.11	0	13.8	1.2	2.8
2	0.1	22.9	1.1	0	1.3	0	0	0	0.4	0	8.6	4.2	6.4
3	8.0	26.2	0.1	0	0.5	0.6	0.1	0.1	4.2	0.1	3.0	6.4	0.4
4	10.4	11.9	0	0	0	0	0	0	5.3	0	4.8	8.0	14.0
5	10.1	18.1	0.1	0	0	0	0	0.1	2.1	5.3	7.6	0.4	11.2
6	26.6	11.7	0	0	0	0	0.1	0.1	12.7	7.5	13.0	11.4	6.0
7	17.6	10.6	0	0.1	0.1	0	2.21	3.01	3	5.8	11.6	7.4	16.0
8	15.6	10	0	0	0	0.1	0.9	8.53	0.6	10.9	9.8	18.0	9.6
9	1.9	1.8	0.1	0	0	0	3.01	6.72	0.2	10.1	6.0	6.4	0.4
10	0.1	0.2	0	0	0	0	2.91	1.3	0.1	19.3	4.8	28.4	1.6
11	0.0	4.9	9	0.9	0	0	0.6	0	1.7	11.9	4.4	16.4	0.8
12	0.0	0.8	0.2	0.7	0.1	0	0.1	0	1.4	9.0	3.2	5.6	0.8
13	0.1	7	0	0.1	0	0	1.91	0.1	5.2	20.8	6.0	0.2	0.8
14	4.5	0.5	0.1	0	0.5	0	2.51	0	13.2	1.4	17.6	0.0	0.0
15	0.4	1.3	0	0.1	4.41	0.1	1.71	0	16.8	2.6	7.0	0.0	1.4
16	8.4	0.8	0	0	0.5	0	0.2	0	19.7	2.4	7.2	0.0	0.6
17	9.6	3.9	0	0	0.1	0	1.3	0	14.4	6.6	0.8	6.8	4.6
18	3.8	3.5	0	0.1	0.1	1.6	3.41	0.1	22.1	0.6	5.4	9.6	3.0
19	2.3	0.1	0.1	0	0.4	4.31	4.11	0	4.4	9.8	3.8	26.8	1.4
20	14.0	0.1	0	0	0.2	2.91	0.3	3.91	0.1	4.0	6.2	9.8	0.0
21	10.1	0.8	0	0.1	0	0.1	0.2	8.02	10.4	11.0	3.8	10.4	1.8
22	13.7	0.1	1.9	3.8	0	0.5	1.6	0.3	3.2	23.4	0.2	5.0	0.0
23	6.8	0	1	0.1	0	0.1	0.2	0.1	17.6	0.0	2.6	15.4	2.4
24	6.0	7.9	0.1	0	0.1	9.53	0.5	1.1	1	6.0	1.8	2.8	8.0
25	7.5	9	0.1	0.1	0	0.1	3.41	3.01	1.1	15.0	0.2	17.8	12.0
26	11.9	2.4	0.1	0	0	0	0.1	1	0.1	3.0	4.8	17.2	10.0
27	5.9	1.6	1.4	0	0	0.9	0	6.02	0.1	3.6	3.0	9.4	5.2
28	14.8	0.1	0	0.1	0	0.2	3.31	2.51	0.2	3.4	13.2	4.6	8.0
29	10.8	0.1	0	0.3	0	0.1	0.3	2.81	0	8.4	15.0	0.4	0.0
30	11.8	2.6	0	0.1	0	1.1	2.01	7.42	0.1	7.8	8.6		0.2
31	8.6		0.1		0	0.1		4.11		12.8	11.6		1.4
TOTAL	241.5	166.3	15.7	6.6	8.4	22.5	37.1	60.7	164.5	222.5	209.4	250.0	130.8

Unidad: Milímetros (mm)

Fuente: Gil (2014)

ANEXO 25. EXPERIMENTO FACTORIAL CON DOS FACTORES EN DISEÑO COMPLETO AL AZAR.

(a)

Pruebas de efectos inter-sujetos de descarga hídrica

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	875,705 ^a	15	58.380	48.202	0.000
Interceptación	2270.056	1	2270.056	1874.298	0.000
tecnicas	1.174	3	0.391	0.323	0.809
epocas	873.484	3	291.161	240.401	0.000
tecnicas * epocas	1.540	9	0.171	0.141	0.999
Error	1753.745	1448	1.211		
Total	4649.510	1464			
Total corregido	2629.450	1463			

a. R al cuadrado = .333 (R al cuadrado ajustada = .326)

ÉPOCAS		N	Subconjunto			
			1	2	3	4
HSD Tukey ^{a,b,c}	Seca	492	0.305			
	Inicio de lluvias	364		0.973		
	Fin de lluvias	244			1.577	
	Lluvias	364				2.283
	Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000
Duncan ^{a,b,c}	Seca	492	0.305			
	Inicio de lluvias	364		0.973		
	Fin de lluvias	244			1.577	
	Lluvias	364				2.283
	Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 344,075.

b. Los tamaños de grupo no son iguales. Se utiliza la media armónica de los tamaños de grupo. Los

c. Alfa = .05.

ÉPOCAS		N	Subconjunto			
			1	2	3	4
HSD Tukey ^{a,b,c}	Seca	492	0.305			
	Inicio de lluvias	364		0.973		
	Fin de lluvias	244			1.577	
	Lluvias	364				2.283
	Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000
Duncan ^{a,b,c}	Seca	492	0.305			
	Inicio de lluvias	364		0.973		
	Fin de lluvias	244			1.577	
	Lluvias	364				2.283
	Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 344,075.

b. Los tamaños de grupo no son iguales. Se utiliza la media armónica de los tamaños de grupo. Los

c. Alfa = .05.

(b)**Comparaciones por parejas de descarga hídrica**

(I) ÉPOCAS		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig. ^b	95% de intervalo de	
					Límite inferior	Límite superior
Seca	Inicio de lluvias	-,668 [*]	0.076	0.000	-0.817	-0.518
	Lluvias	-1,978 [*]	0.076	0.000	-2.127	-1.829
	Fin de lluvias	-1,272 [*]	0.086	0.000	-1.441	-1.103
Inicio de lluvias	Seca	,668 [*]	0.076	0.000	0.518	0.817
	Lluvias	-1,310 [*]	0.082	0.000	-1.470	-1.150
	Fin de lluvias	-,605 [*]	0.091	0.000	-0.783	-0.426
Lluvias	Seca	1,978 [*]	0.076	0.000	1.829	2.127
	Inicio de lluvias	1,310 [*]	0.082	0.000	1.150	1.470
	Fin de lluvias	,706 [*]	0.091	0.000	0.527	0.884
Fin de lluvias	Seca	1,272 [*]	0.086	0.000	1.103	1.441
	Inicio de lluvias	,605 [*]	0.091	0.000	0.426	0.783
	Lluvias	-,706 [*]	0.091	0.000	-0.884	-0.527

Se basa en medias marginales estimadas

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel .05.

b. Ajuste para varias comparaciones: menor diferencia significativa (equivalente a sin ajustes).

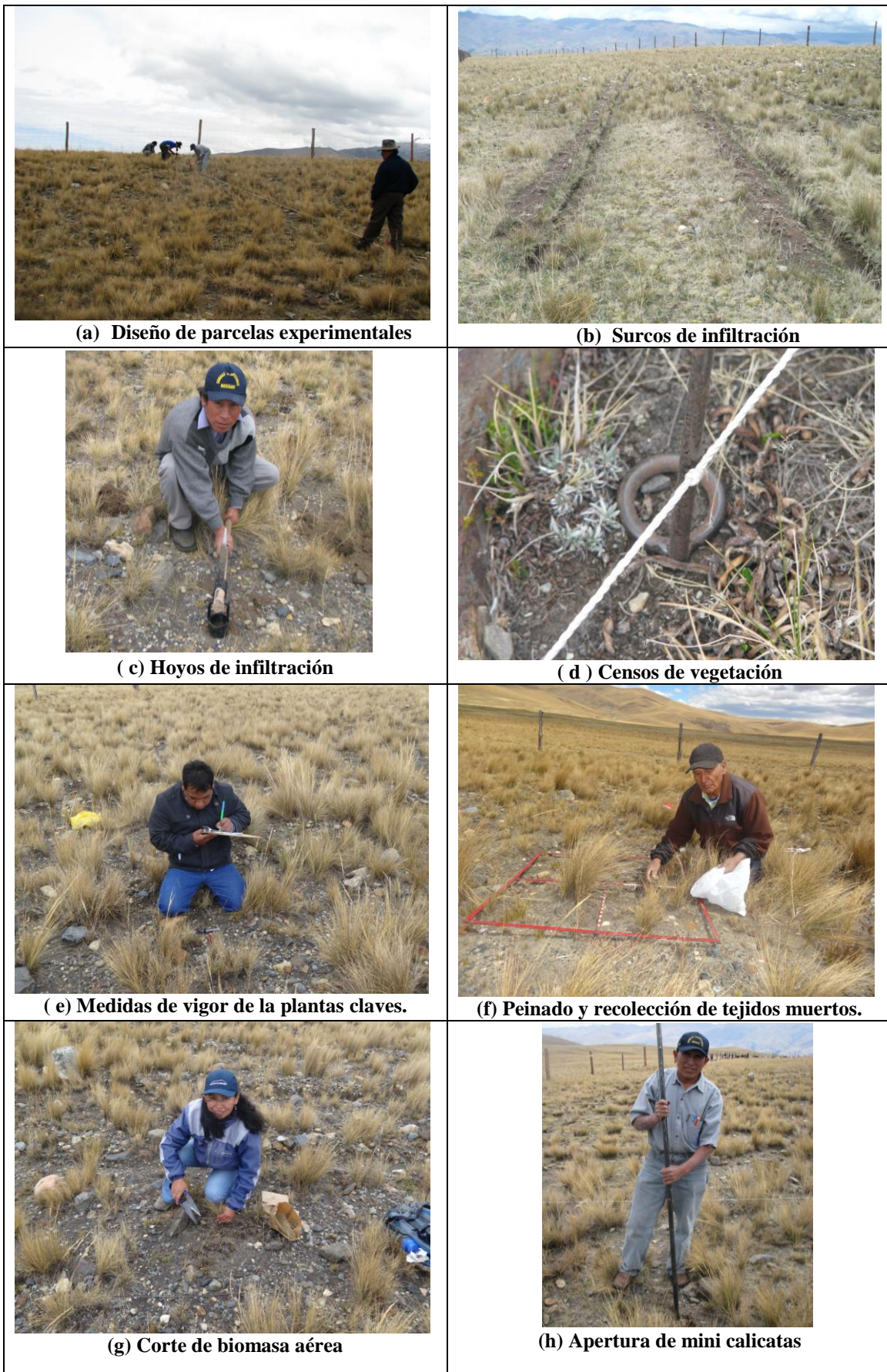
Comparaciones por parejas

(I) TÉCNICAS		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig. ^a	95% de intervalo de	
					Límite inferior	Límite superior
Actual	Hoyos	0.010	0.084	0.906	-0.155	0.174
	Surcos	0.030	0.084	0.720	-0.135	0.195
	Rvegetación	0.076	0.084	0.366	-0.089	0.241
Hoyos	Actual	-0.010	0.084	0.906	-0.174	0.155
	Surcos	0.020	0.084	0.810	-0.144	0.185
	Rvegetación	0.066	0.084	0.431	-0.099	0.231
Surcos	Actual	-0.030	0.084	0.720	-0.195	0.135
	Hoyos	-0.020	0.084	0.810	-0.185	0.144
	Rvegetación	0.046	0.084	0.585	-0.119	0.210
Rvegetación	Actual	-0.076	0.084	0.366	-0.241	0.089
	Hoyos	-0.066	0.084	0.431	-0.231	0.099
	Surcos	-0.046	0.084	0.585	-0.210	0.119

Se basa en medias marginales estimadas

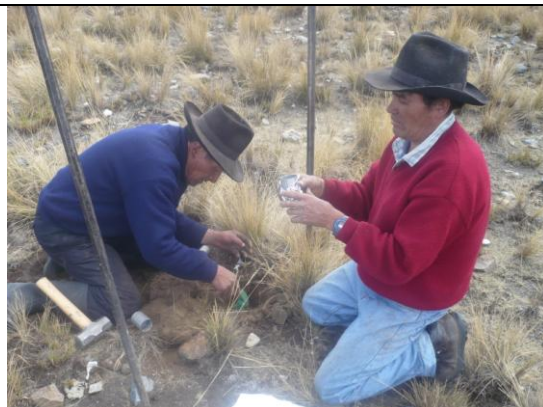
a. Ajuste para varias comparaciones: menor diferencia significativa (equivalente a sin ajustes).

ANEXO 26. GALERIA FOTOGRÁFICA DEL MONITOREO EXPERIMENTAL PARTICIPATIVO.





(i) Medidas de temperatura del suelo.



(j) Muestreo de suelos.



(k) Pesado de muestras en balanza de precisión.



(l) Secado de muestras en estufa eléctrica.



(m) Medidas de infiltración del suelo.



(n) Varillas de medición de erosión del suelo.



(o) Vernier digital.



(p) Muestreo de especies vegetales claves.