

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN ANIMAL**



**“FLORÍSTICA, PRODUCCIÓN Y CARACTERÍSTICAS FÍSICO-
QUÍMICAS DEL SUELO EN TRES CONDICIONES DE PAJONALES
EN LA COMUNIDAD DE TOMAS, LIMA”**

Presentada por:

DIMAS ALBERTO QUINTANILLA MELGAR

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO
MAGISTER SCIENTIAE EN PRODUCCIÓN ANIMAL**

Lima – Perú

2024

BORRADOR TESIS

INFORME DE ORIGINALIDAD

7%

INDICE DE SIMILITUD

7%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

0%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

www.produccion-animal.com.ar

Fuente de Internet

1%

2

www.inaigem.gob.pe

Fuente de Internet

1%

3

www.yumpu.com

Fuente de Internet

1%

4

tesis.pucp.edu.pe

Fuente de Internet

1%

5

bdigital.uncu.edu.ar

Fuente de Internet

1%

6

rua.ua.es

Fuente de Internet

1%

7

libros.unjbg.edu.pe

Fuente de Internet

1%

8

repositorio.unas.edu.pe

Fuente de Internet

1%

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN ANIMAL

**“FLORÍSTICA, PRODUCCIÓN Y CARACTERÍSTICAS FÍSICO-
QUÍMICAS DEL SUELO EN TRES CONDICIONES DE PAJONALES
EN LA COMUNIDAD DE TOMAS, LIMA”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO
MAGISTER SCIENTIAE EN PRODUCCIÓN ANIMAL**

Presentada por:

DIMAS ALBERTO QUINTANILLA MELGAR

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Ph.D. Cecilio Barrantes Campo

PRESIDENTE

Ph.D. Lucrecia Aguirre Terrazas

ASESORA

Ph.D. Enrique Flores Mariazza

MIEMBRO

Ph.D. Javier Ñaupari Vásquez

MIEMBRO

DEDICATORIA

*A Dios quien me acompaña
en todo momento.*

*Mis padres Efraín y Susana: que me trajeron al mundo
y partieron a la eternidad, y Dios lo tenga en su reino.
A mis hermanos por el apoyo, amor y comprensión que me
brindaron.*

*A mis hijos por su inmenso amor y comprensión,
por las horas que hemos dejado de compartir
para concluir esta Maestría.*

AGRADECIMIENTO

A mi patrocinadora de tesis, PhD. Lucrecia Aguirre Terrazas, por su constante apoyo, enseñanza, y consejo profesional para la realización y culminación del presente trabajo de investigación.

A mis docentes consejeros y miembros de jurado de la presente tesis, PhD. Enrique Flores Mariazza, PhD. Javier Ñaupari Vásquez, por compartir sus conocimientos, experiencias y aportes en la realización del presente trabajo.

Al Equipo Técnico del Laboratorio de Ecología y Utilización de Pastizales de la Universidad Nacional Agraria La Molina, por su apoyo, contribución y las facilidades brindadas durante la ejecución de la presente investigación, especialmente con mucho aprecio a mi estimado amigo Bill Yalli Huamaní, por su apoyo técnico y monitoreo del experimento

Al Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA). Proyecto: Marco Conceptual, Desarrollo y Validación de Estrategias para Controlar la Degradación de Pastizales Alto andinos

A la Unidad de Producción de Alpacas Comunidad Campesina de Tomas.

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 Ecosistema del pastizal.....	3
2.1.1 Estructura del ecosistema.....	4
2.1.1.1 Clima.....	5
2.1.1.2 Suelo.....	7
2.1.1.3 Vegetación.....	10
2.1.2 Procesos y servicios ecosistémicos.....	13
2.1.2.1 Servicios ecosistémicos.....	14
2.1.2.2 Atributos e indicadores.....	17
2.1.2.3 Factores de perturbación.....	22
2.2 Modelos de condición.....	25
2.2.1 Modelo clímax.....	25
2.2.2 Modelo de productividad.....	26
2.2.3 Modelos de estado de transición.....	28
2.3 Indicadores de estado de vegetación.....	31
2.3.1 Condición.....	31
2.3.2 Composición florística.....	33
2.3.3 Diversidad y abundancia relativa.....	34
2.3.4 Biomasa y producción forrajera.....	36
2.3.5 Mantillo.....	38
2.3.6 Banco de semillas.....	39
2.4 Indicadores del estado del suelo.....	41
2.4.1 Propiedades físicas.....	42
2.4.1.1 Textura.....	42
2.4.1.2 Densidad aparente.....	43
2.4.1.3 Temperatura.....	44
2.4.2 Funciones hidrológicas.....	46
2.4.2.1 Humedad.....	47
2.4.2.2 Tasa de infiltración.....	49
2.4.3 Propiedades químicas.....	53

2.4.3.1 pH.....	54
2.4.3.2 Capacidad de intercambio catiónico.....	55
2.4.3.2 Materia orgánica.....	57
2.4.3.4 Cationes cambiables.....	60
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	61
3.1 Área De estudio.....	61
3.2 tratamientos.....	64
3.3 Parámetros de evaluación.....	65
3.4 Indicadores de vegetación.....	65
3.4.1 Composición florística.....	65
3.4.2 Diversidad y abundancia relativa.....	66
3.4.3 Biomasa y Producción forrajera.....	66
3.4.4 Mantillo.....	67
3.4.5 Banco de semillas.....	67
3.5 Indicadores de suelo.....	68
3.5.1 Propiedades físicas.....	68
3.5.1.1 Textura.....	68
3.5.1.2 Densidad aparente.....	68
3.5.1.3 Temperatura.....	69
3.5.2 Funciones hidrológicas.....	69
3.5.2.1 Humedad.....	69
3.5.2.2 Tasa de infiltración.....	70
3.5.2.1 Propiedades químicas.....	71
3.5.31 pH.....	72
3.5.3.2 Capacidad de intercambio catiónico.....	72
3.5.3.3 Materia orgánica.....	72
3.5.3.4 Cationes cambiables.....	72
3.6 Diseño estadístico.....	72
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	74
4.1 Indicadores de vegetación.....	74
4.1.1 Composición florística.....	74
4.1.2 Diversidad y abundancia relativa.....	75
4.1.3 Biomasa y producción forrajera.....	78
4.1.4 Mantillo.....	80

4.1.5 Banco de semillas.....	81
4.2 Indicadores del estado del suelo.....	84
4.2.1 Propiedades físicas.....	84
4.2.1.1 Textura.....	84
4.2.1.2 Densidad aparente.....	85
4.2.1.3 Temperatura.....	86
4.2.2 Funciones hidrológicas.....	88
4.2.2.1 Humedad.....	88
4.2.2.2 Tasa de infiltración.....	89
4.2.3 Propiedades químicas.....	91
4.2.3.1 pH.....	91
4.2.3.2 Capacidad de intercambio catiónico.....	92
4.2.3.3 Materia orgánica.....	93
4.2.3.4 Cationes cambiables.....	94
V. CONCLUSIONES.....	95
VI. RECOMENDACIONES.....	96
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	97
VIII. ANEXOS.....	114

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Atributos e indicadores de salud de los pastizales evaluación cualitativa.....	21
Tabla 2: Carga animal recomendable para diferentes condiciones de pastizales nativos..	33
Tabla 3: Interpretación de la diversidad	35
Tabla 4: Valores de densidad aparente (g/cm ³), clasificación por compactación.....	44
Tabla 5: Interpretación de la capacidad de intercambio cationico.....	57
Tabla 6: Precipitación media mensual para los años 2017 y 2018. Temperatura media mensual °C estación Yauricocha Yauyos (2016 – 2017)	61
Tabla 7: Variables de evaluación.....	65
Tabla 8: Para la obtención de la tasa de infiltración	71
Tabla 9: Análisis de propiedades químicas del suelo y métodos utilizados.....	71
Tabla 10: Promedio en porcentaje relativo (arena, limo y arcilla) y clase de textura por condición del pajonal.....	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Estructura física de un agregado del suelo, cambios en la estructura del suelo por el pisoteo en condiciones húmedas y secas	9
Figura 2: Modelo clásico de respuesta de la vegetación frente a la presión de pastoreo	26
Figura 3: Cambios en la abundancia en los grupos de especies en base a los cambios de condición del pastizal.	27
Figura 4: Modelo de cambios en la vegetación por efecto de la presión de pastoreo.	27
Figura 5: Modelo conceptual de Estados y Transiciones (STM).	29
Figura 6: Modelo y rutas de degradación del pastizal.....	29
Figura 7: Intensidad de perturbación y umbrales bióticos y abióticos	30
Figura 8: Ubicación geográfica comunidad de Tomas -Yauyos - Lima.....	63
Figura 9: Ubicación de áreas seleccionadas por condición del pajonal Tomas.....	63
Figura 10: Ubicación de áreas de evaluación en pajonales de Tomas.....	64
Figura 11: Geotermómetros.....	69
Figura 12: TDR-300 (Reflectometría de Dominio).....	70
Figura 13: Infiltrómetro Truf-Tec modelo 76946.....	70
Figura 14: Familias y especies en tres condiciones de pajonales.	75
Figura 15: Los valores de diversidad índice de Shannon - Wiener en tres condiciones del pajonal.....	75
Figura 16: Abundancia relativa en tres condiciones de pajonales.....	77
Figura 17: Producción de biomasa, forraje y mantillo en tres condiciones del pajonal	79
Figura 18: Banco de semillas a dos profundidades de 0 a 5, 5 a 10 cm del suelo.....	81
Figura 19: Porcentaje de germinación de semillas a dos profundidades	83
Figura 20: Densidad aparente del suelo en tres estados de conservación.....	86
Figura 21: Temperatura de suelo en tres estados de conservación del pajonal	87
Figura 22: Humedad del suelo en tres estados de conservación del pajonal	89
Figura 23: Tasa de infiltración en tres estados de conservación del pajonal.....	90
Figura 24: Capacidad de intercambio catiónico en tres condiciones del pajonal	92
Figura 25: Materia Orgánica del suelo y pH en tres condiciones de pajonales.....	93

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Características de la zona de estudio	114
Anexo 2: Censo de vegetación	116
Anexo 3: Composición florística en tres condiciones de pajonales Tomas.....	119
Anexo 4: Producción forrajera y amantillo	121
Anexo 5: Banco de semillas	123
Anexo 6: Análisis de suelos en tres condiciones de pajonales	124
Anexo 7: Características físicas y químicas de los suelos de Tomas-Yauyos.....	125
Anexo 8: Densidad aparente del suelo en gr/cm ³	126
Anexo 9: Tasa de infiltración	127
Anexo 10: Registro de humedad TDR.....	130
Anexo 11: Registro de datos de temperatura del suelo.....	131
Anexo 12: Análisis de varianza y prueba de comparación de medias.....	133

RESUMEN

Se realizó una investigación en un ecosistema de pajonal en la Comunidad de Tomas, Yauyos región Lima, con el objetivo de evaluar el estado de la vegetación y del suelo en tres áreas excluidas de condición buena, regular y pobre. El estudio fue de naturaleza transversal realizada en “pico de lluvia”, los parámetros evaluados fueron: condición, florística, diversidad, biomasa forrajera, mantillo, banco de semillas, y las características físico-químicas del suelo: densidad aparente, tasa de infiltración, humedad, temperatura, pH y CIC. Se utilizó el diseño DCA y DCAJ. Los resultados mostraron, que la condición bueno y regular presentan mayor ($P < 0.05$) biomasa (1 822.93, 735.55 kg MS/ha) que la condición pobre (71.83 kg MS/ha), igualmente en mantillo (443.30, 370.55 y 93.00 kg MS/ha), y materia orgánica ($P < 0.05$) para la condición buena y regular (19.87 %, 19.36%) comparadas a la condición pobre (9.36 %). En diversidad la condición pobre presenta mayor valor ($P < 0.05$) para este índice (2.4 vs 2.0). En banco de semillas la condición regular fue mayor ($P < 0.05$) a una profundidad de 0 – 5 cm. En referencia al suelo, la condición pobre presenta mayor densidad aparente (1.12g/cc) que las demás (0.73 y 0.51 g/cc), la humedad del suelo fue mayor a 12 cm de profundidad, la mayor temperatura fue observada en los primeros 5 cm del suelo. La CIC fue alta (32.96, 39.60 y 26.72 meq/100g) para las tres condiciones, el pH fue medianamente ácido para la condición buena y regular (5.78, 5.64) y fuertemente ácido para la condición pobre (5.28). Se concluye que la condición buena y regular refleja una mejor capacidad de flujo de energía y estabilidad del ecosistema, mientras las áreas de condición pobre han sufrido un proceso de deterioro para transformar energía radiante en bioma y estar cerca a los niveles críticos para su sostenibilidad.

Palabras clave: ecosistemas, pastizales, condición, productividad, pastoreo.

ABSTRACT

An investigation was carried out in a grassland ecosystem in the Tomas Community, Yauyos, Lima region, with the objective of evaluating the state of the vegetation and soil in three areas excluded from good, fair and poor condition. The study was cross-sectional in nature, carried out in “peak rain”, the parameters evaluated were: condition, floristics, diversity, forage biomass, mulch, seed bank, and the physical-chemical characteristics of the soil: apparent density, infiltration rate, humidity, temperature, pH and CEC. The DCA and DCAJ design was used. The results showed that the good and regular condition presented greater ($P < 0.05$) biomass (1 822.93, 735.55 kg DM/ha) than the poor condition (71.83 kg DM/ha), also in mulch (443.30, 370.55 and 93.00 kg DM/ha), and organic matter ($P < 0.05$) for the good and regular condition (19.87%, 19.36%) compared to the poor condition (9.36%). In diversity, the poor condition presents a higher value ($P < 0.05$) for this index (2.4 vs 2.0). In the seed bank, the regular condition was greater ($P < 0.05$) at a depth of 0 – 5 cm. In reference to the soil, the poor condition has a higher apparent density (1.12g/cc) than the others (0.73 and 0.51 g/cc), the soil humidity was greater at 12 cm depth, the highest temperature was observed in the first 5 cm from the ground. The CEC was high (32.96, 39.60 and 26.72 meq/100g) for the three conditions, the pH was moderately acidic for the good and fair condition (5.78, 5.64), strongly acidic for the poor condition (5.28). It is concluded that good and regular condition reflects a better energy flow capacity and stability of the ecosystem, while areas of poor condition have suffered a deterioration process to transform radiant energy into biome and be close to critical levels for their sustainability.

Keywords: ecosystems, grasslands, condition, productivity, grazing.

I. INTRODUCCIÓN

Los pastizales son uno de los ecosistemas más extensos del planeta, el 54% de la superficie terrestre del mundo consiste en pastizales, que albergan algunos de los hábitats más preciados de la tierra, importante no solo por su valor forrajeros, sino también por los servicios ambientales que estos presentan indicados en el atlas de pastizales (WWF 2021); (Costanza *et al.* 1997, Sala y Paruelo 1997). Los pastizales como base de la alimentación en muchos sistemas ganaderos son fundamentales; por lo que su cambio de condición por degradación y baja producción de forraje es un problema fundamental. Los pastizales y sabanas como ecosistemas naturales tienen un gran potencial de producción secundaria que bordea los 7.2 Trillones de MJ. Utilizables para la alimentación humana (Briske *et al.* 1989). Contribuyendo a la subsistencia de más de 800 millones de personas (FAO 2008). Sin embargo, estos ecosistemas están seriamente amenazados por diversas actividades humanas, como la agricultura, ganadería y la actividad forestal (D'Atri 2007). Los pajonales andinos cumplen servicios ecosistémicos con función vital y crucial en la protección del suelo, captura de carbono, reproducción, generación y regulación del recurso hídrico, que asegura así la protección y el abastecimiento de agua para las poblaciones, según las conclusiones de 38 estudios desarrollados en Sudamérica (Mosquera *et al.* 2022).

En el Perú los pastizales representan el 57% de la superficie no agrícola, con 18' 018 795 hectáreas, y constituyen la principal fuente alimenticia de la ganadería extensiva, donde se concentran más del 80% de la población ganadera del país (CENAGRO 2012). Sin embargo 40% de las praderas están en condición pobre, se estima que podría incrementarse hasta un 60% para el 2100 (Samaniego y Galindo 2015). Estos ecosistemas están representados mayormente por pajonales en los cuales dominan gramíneas de porte alto y mediano (Flores 2011); como todo ecosistema los pastizales son afectados en su funcionamiento tanto por factores bióticos como abióticos, los cuales cumplen un papel fundamental en el equilibrio de este ecosistema. A estos elementos naturales se añade la intervención de estos ecosistemas por el hombre a través del uso de este recurso para la producción animal, lamentablemente

un porcentaje importante de nuestros pastizales como ya se ha mencionado están en condición pobre o muy pobre como consecuencia del sobrepastoreo.

En este contexto el presente estudio contribuirá a contar con mayor información que permita comprender mejor la dinámica y particularmente los cambios que pueden ocurrir a nivel de la vegetación y del suelo, cuando se dan procesos de perturbación y cambio de condición de los pastizales. La presente investigación tuvo como objetivo general: Evaluar el estado de la vegetación y del suelo en tres áreas de pajonales de condición bueno, regular y pobre con diferentes historias de uso en la comunidad de Tomas, Lima. Los objetivos específicos fueron: i) Estimar la producción de biomasa, diversidad, estructura florística, y banco de semillas a nivel de las tres condiciones de pastizal. ii) Evaluar las características físico-químicas del suelo en tres condiciones de los pastizales.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Ecosistema del pastizal

El ecosistema es definido como la serie de interacciones entre el conjunto de los organismos vivos (factores bióticos) y el medio ambiente (factores abióticos) donde estos se desarrollan, dando lugar a flujos constantes de energía. Los ecosistemas son coberturas vegetales complejas y dinámicas de comunidades: vegetales, animales, microorganismos y su medio no viviente que interactúan como una unidad funcional. Los factores bióticos están constituidos por la variedad de especies vegetales en un ambiente físico, que expresan diversas expresiones tanto fenológicas como fisiológicas entre cada una de las especies (Brack y Mendiola 2004). El componente abiótico lo compone la parte inerte del ecosistema constituido por elementos o factores fisicoquímicos del suelo, factores climáticos que actúan en la búsqueda de equilibrio dinámico en constante cambio basado en su complejidad de sus interacciones dentro del ecosistema (Briske y Heitschmidt 1991).

Los pastizales en el país ocupan una superficie de 18' 246, 926 ha, lo que representa el 14,2 % del total nacional (MINAM 2014). Este ecosistema sostiene a más del 80% de la ganadería extensiva en el país, por lo cual cumple un rol importante en la economía de la población alto andina dedicada a la actividad ganadera en sistemas de pastoreo (Flores 2005). Las formaciones vegetales predominantes con mayor extensión en la región Puna son los pajonales, seguido por césped de puna, bofedales, canllares, tolares y los bosques de los Qeñuales (*Polylepis inca*), y otras arbustivas los que constituyen los matorrales, los semidesiertos y las formaciones de plantas almohadilladas (Brack y Mendiola 2000).

Los ecosistemas trópico altoandino del país se ubican en los pisos altos de los Andes, se extiende desde la Cordillera Blanca donde se inicia la puna húmeda, zona de transición entre la jalca o páramo, y la puna seca desde el Centro y Sur del país (Recharte *et al.* 2009). La región de la Puna se localiza sobre los 3800 msnm hasta los 5200 msnm (Brack y Mendiola 2004). Esta condición les brinda características climáticas muy severas, con bajas temperaturas y fuertes corrientes de aire con mucha variación entre el día y la noche.

En las últimas décadas ha surgido una gran preocupación por la conservación y manejo adecuado de los ecosistemas de pastizales, dando una revaloración de los servicios ambientales que estos ecosistemas nos brinda (Sánchez 2019). Las principales causas de degradación se detallan en los resultados de la evaluación de los ecosistemas del milenio en su informe, concluye que: “La transformación sin precedentes operada por el ser humano en los últimos 50 años ha producido una pérdida sustancial y en gran medida irreversible en la diversidad de la vida sobre la tierra”. Estos cambios han contribuido a mejoras netas en el bienestar humano y el desarrollo económico; pero a un costo creciente que, si no es abordado oportunamente, disminuirá sustancialmente los beneficios para las futuras generaciones (ONU 2005).

El sobrepastoreo está considerado como una de las principales causas que afecta a los ecosistemas ocasionando la desertificación. El sobrepastoreo, es una práctica que tiene su origen en la excesiva carga animal por unidad de superficie, sus efectos son tan diferentes como, bajos índices productivos, que conlleva a la baja competitividad, que conlleva al retraso socioeconómico, el tipo de uso y tenencia de la tierra, las tradiciones culturales y el rápido crecimiento de las poblaciones campesinas (Olivier 1988).

2.1.1 Estructura del ecosistema

La estructura de los ecosistemas está determinada por los componentes que los sustentan, las plantas (flora), animales (fauna), el componente biótico (organismos vivos), abióticos (elementos sin vida) necesarios para la vida como el agua, el oxígeno, temperatura, la luz solar, el suelo y sus características fisicoquímicas, las interacciones que se generan entre cada uno de ellos activamente como una unidad ecológica. El funcionamiento es expresado en forma dinámica entre los componentes del pastizal, a través de cambios en los flujos de materia y energía en cada uno de sus componentes del ecosistema (Ahumada *et al.* 2011).

El ecosistema es dinámico por las interacciones entre sus componentes, en el espacio donde se desarrollan, dando lugar a flujos constantes de energía. Los ecosistemas son complejos dinámicos de comunidades: vegetales, animales, microorganismos y su medio abiótico que interactúan entre sus componentes en una unidad funcional (Brack y Mendiola 2004). Los factores climáticos operan en la búsqueda de equilibrio dinámico entre sus componentes en un medio natural, los constantes cambios, basados en su complejidad de sus interacciones

dentro del ecosistema frente a perturbaciones naturales (Briske y Heitschmidt 1991). Además, dichos componentes ejercen una influencia en los organismos vivos y establecen las condiciones de vida en el ecosistema. El agua, la tierra, el clima, los minerales del suelo, entre otros, son componentes básicos de los factores abióticos que forman parte de un ecosistema.

2.1.1.1 Clima

Los ecosistemas altoandinos entre los que se ubican los pastizales presentan climas fríos, típico de puna sobre los 4000 msnm. Se caracterizan por presentar baja presión atmosférica, con escasa precipitación, en promedio de 700 mm anuales, las temperaturas medias son bajas y las grandes variaciones ocurren entre el día y la noche. Las temperaturas extremas están por debajo de los 6 °C, con variación de altitud, la latitud y la radiación, hacen que varíen considerablemente la temperatura pudiendo sobrepasar los 30° C en el día en los meses más calurosos de octubre a noviembre. Presentan dos estaciones marcadas, época lluviosa con nubosidad (diciembre a marzo), época seca (abril a noviembre) con bajas temperaturas y heladas nocturnas (Pareja 1936)

El efecto de las características de la temperatura sobre el crecimiento es importante cuando la temperatura del suelo se mantiene por encima de los 4°C durante 3 a 4 días consecutivo por su influencia en el crecimiento de la vegetación, el pastizal empieza a crecer cuando las condiciones son favorables (Flórez y Malpartida 1987). Martínez *et al.* (2017) mencionan los cambios en la temperatura en el crecimiento de la planta pueden estar asociados con un balance hídrico adverso, lo que junto con el pastoreo frecuente conduce a tendencias negativas en la productividad y la estructura del ecosistema que pueden ser responsables de una reducción en la productividad vegetal y ganadera.

En el ecosistema de los pastizales, donde la disponibilidad de agua es estacional que limitan, la producción primaria viéndose afectada negativamente en la época seca por el incremento de la temperatura, resultado en una mayor tasa de respiración, evapotranspiración y reducción del ciclaje de nutrientes. Además, un incremento de la temperatura puede significar cambios en el período o ciclos diarios de crecimiento en los pastizales, de esta manera, las alteraciones en la disponibilidad estacional de agua y temperaturas irregulares pueden afectar la funcionalidad de los ecosistemas (McCarty 2001).

El déficit hídrico o estrés hídrico se inicia cuando las tasas de transpiración de agua superan a las tasas de absorción, provocando respuestas como la pérdida considerable de hojas. No obstante, las sequías largas inhiben el crecimiento de macollos y la ramificación de las plantas, además de acelerar la muerte de los tallos y la senescencia de las hojas, las plantas por su naturaleza de defensa reubican los carbohidratos no estructuras de las hojas a las raíces o zonas de almacenamiento de reservas, con lo cual se reduce el valor nutritivo de la especie (Luna-Flores *et al.* 2012). El impacto del cambio climático en los patrones de precipitación y temperatura, no solo afectará, la calidad forrajera de los pastizales, sino también la producción de biomasa, la formación de semilla y composición florística. La calidad de los pastizales está fuertemente influida por la composición de la comunidad vegetal, se debe principalmente a la gran variación de especies, los compuestos químicos, las etapas fenológicas y los grupos funcionales (IPCC 2021, Huyghe *et al.* 2008).

La producción primaria en los pastizales, donde la disponibilidad de agua es un factor limitante, se ve afectada negativamente por el aumento de las temperaturas lo que provoca un aumento de la tasa de respiración y evaporación, que también reduce la asimilación de los nutrientes. Además, los incrementos de temperatura pueden implicar cambios en las fases de crecimiento de los pastos, por lo tanto, los cambios estacionales en la disponibilidad de agua y la temperatura pueden afectar el funcionamiento de los ecosistemas (McCarty 2001). El aumento de la temperatura afecta los procesos fisiológicos que pueden reducir o inhibir completamente la germinación de los bancos de semillas, asimismo es afectada los procesos fisiológicos de la planta (Jarman *et al.* 2012).

La gran variación de condiciones térmicas y de precipitación son las que menos se registran en las zonas altoandinas. Las variaciones climáticas de temperatura como la precipitación influyen en las funciones fisiológicas de los pastos. Sin embargo, el efecto del clima sobre estos sistemas ha sido poco estudiado. León (2014) al analizar espacio temporal de las precipitaciones del régimen estacional de la precipitación en un año hidrológico. El periodo lluvioso se da en los meses de diciembre a abril, la precipitación ocurrida durante diciembre a marzo, representa en promedio el 78 y 61 por ciento de la precipitación total anual, es decir, en solo cuatro meses se concentra más del 60 % de la precipitación total anual de la zona andina.

García *et al.* (2022) en su análisis de cambio climático y los pastizales indicaron que el aumento de la temperatura afecta negativamente la productividad y la estructura del pastizal. El aumento de la temperatura puede provocar cambios relacionados al equilibrio hídrico desfavorable que, junto con el pastoreo excesivo, puede ser un factor importante en el proceso de degradación de los pastizales. Además Unsihuay *et al.* (2022) evaluando el impacto del cambio climático en los patrones de precipitación en la estructura y función del ecosistema del pastizal en Junín, encontraron una disminución en la cantidad de precipitación que tuvo un efecto significativo en el porcentaje de herbáceas reduciendo la biomasa y vitalidad de las principales especies, a medida que reduce la precipitación durante eventos de sequía moderada o extrema, los ecosistemas pueden cambiar rápidamente su estructura original y es posible que solo aquellas especies que ha desarrollado mecanismos de adaptación a la sequía pueden persistir más tiempo como parte de la comunidad vegetal.

2.1.1.2 Suelo

Los suelos como componente fundamental en los ecosistemas de los pastizales, son muy variados, con características propias por su origen, como resultado de la interacción de los diferentes procesos y factores de formación, estos se desarrollan a partir de materiales parentales de diverso origen, con perfil edáfico que van en evolución; los suelos de los andes en general son poco profundos predominan andosoles y paramosoles (Brack y Mendiola 1997), y hacia el sur de origen volcánicos, presentan una estructura franco arenosos a franco arcillosos, con mucha grava y afloramientos rocosos, pobres en nutrientes y con alto déficit de humedad edáfica (Alegría 2013).

Los científicos de la ciencia del suelo mencionan que existen cinco factores que predisponen a la formación de un suelo, ellos son: el clima, los organismos, el relieve, la roca madre y el tiempo. Recientemente se han sumado el efecto del manejo del hombre. Dentro de ellas la precipitación y la temperatura son fundamentales, estos varían con la latitud y la altitud. Además, el relieve influye sobre el clima y la vegetación, siendo más notorio el efecto en zonas montañosas con variaciones en su altitud sobre el nivel del mar (Pascale 2005). Es conocido el hecho de que a medida que aumenta la altura, disminuye la temperatura y el oxígeno del aire, y por ende se hace más escasa la presencia de vegetación. La vegetación y los organismos vivos junto a las precipitaciones, son fundamentales para lograr el desarrollo de los suelos (Navarro 2013). En consecuencia, se puede esperar que la altitud guarde cierta

asociación con las propiedades del suelo (De Bustos 2022). El clima fue considerado el principal factor responsable de las diferencias entre altitud y el suelo, donde es afectada el régimen de lixiviación y la descomposición de materia orgánica (Zehetner *et al.* 2003, Zehetner y Miller 2006).

Los suelos que se encuentran en zonas de llanuras, lugares planos, son suelos profundos y el contenido de materia orgánica mayor a 4.0% con buena capacidad de retención de humedad (Jaramillo 2002). Sin embargo, las tasas de mineralización son lentas debido a las bajas temperaturas que predominan por arriba de los 4000 msnm. La retención y disponibilidad de agua en el suelo proveniente principalmente de las precipitaciones, estas son infiltradas y percoladas al interior del suelo donde se almacenan y suministran agua al afloro de aguas subterráneas en forma localizadas (Aguirre 1985). Además, la textura del suelo, distribución de los poros y su profundidad, determina la cantidad de agua capilar que es retenida en los horizontes superficiales donde se encuentra el mayor volumen de raíces (Florez y Malpartida 1987). Durante el verano se registran mayor incidencia de radiación solar, con lo cual, el régimen térmico del suelo se ve alterado por el incremento del intercambio de calor entre el suelo y el ambiente por convección.

Garnica (2010) menciona sobre los suelos de Puna y los califica como bajos en N, el P tiene una tendencia de baja a muy baja, en K los valores son muy altos, mientras que, en Ca, Mg, Na, los suelos son moderados en su contenido, un CIC. Muy baja y una CE con vestigios de salinidad poco acentuadas, un pH que refleja una fuerte acidez, respecto a los caracteres físicos de densidad real y aparente mediana, baja porosidad, y una textura con 36,67% de suelos franco arenosos y solo el 10% de suelos francos.

La estructura, la densidad aparente, la estabilidad de los agregados, la infiltración, la profundidad del suelo, la capacidad de almacenamiento del agua, el pH, la conductividad eléctrica, los elementos químicos, entre otras, son las características físicas y químicas del suelo propuesto como indicadores de su calidad (Ramírez y Sánchez 2012):

Las características físicas del suelo. Algunas de las características físicas del suelo más importantes son su textura, estructura, color y densidad, que son necesarias en la evaluación de la calidad del suelo, estas características no se pueden mejorar fácilmente. Las propiedades físicas, retiene y transmite agua a las plantas, así como las limitaciones que se

pueden encontrar en el crecimiento de las raíces, la emergencia de las plántulas, la infiltración o el movimiento del agua dentro del perfil y que además estén relacionadas con las partículas y los poros. Las propiedades físicas, se consideran como indicadores de su calidad según (Hooda *et al.* 2010). Los suelos húmedos cuando son pisoteados incrementan la reducción de la porosidad, comprimiendo los componentes de la arquitectura del agregado a la arcilla, bacteria y materia orgánica incrementando la densidad aparente (Brady 1974).

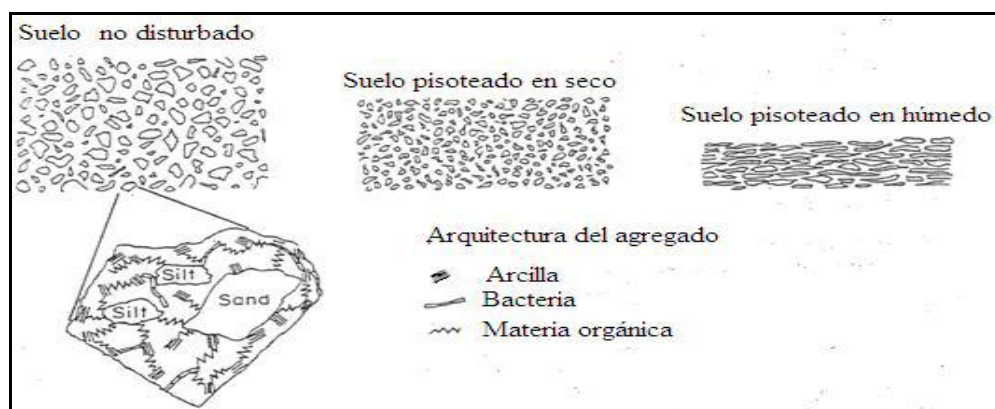


Figura 1: Estructura física del suelo, cambios en la estructura del suelo por efecto del pisoteo en condiciones húmedas y secas
Fuente: Adaptado por Brandy 1974.

Características químicas del suelo. Entre ellas se incluyen las propiedades de los minerales y la disponibilidad de nutrientes en el suelo, tanto en forma intercambiable como en solución; el pH y la capacidad de intercambio catiónico (CIC). Los cambios afectan las relaciones suelo-planta, la calidad del agua, la capacidad de amortiguación del suelo y la disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas y los microorganismos. Los procesos químicos y bioquímicos en los sistemas suelo-planta proporcionan los nutrientes, carbono orgánico total, carbono orgánico lábil, pH, conductividad eléctrica, capacidad de adsorción de fosfato, capacidad de intercambio de cationes, materia orgánica, nitrógeno total y nitrógeno mineralizable (Quiroga 2007).

Características biológicas del suelo. Los componentes de la vida libre de la biota del suelo compuestos por microorganismos como bacterias, hongos, algas, fauna y virus actúan sobre células vivas y muertas. Dentro de las múltiples funciones de estos organismos contribuyen en la formación del suelo, el crecimiento vegetal y el ciclo del carbono, gran cantidad de factores que afectan la calidad del suelo como la abundancia y subproductos de micro y macro organismos, incluidos bacterias, hongos, nematodos, lombrices, anélidos y

artrópodos. Incluyen funciones como la tasa de respiración, ergosterol y otros subproductos de los hongos, tasas de descomposición de los residuos vegetales relacionados al N y C en la planta. La biomasa microbiana es mucho más sensible al contenido del C total, se han propuesto la relación C microbiano: C orgánico del suelo para detectar cambios tempranos en la dinámica de detritos en el suelo (Yeates 2003).

2.1.1.3 Vegetación

La cobertura vegetal de las praderas andinas es producto de su adaptación de las especies, los pajonales presentan una estructura dominante principalmente por gramíneas altas, seguido por gramíneas de capa inferior bajo (césped), de naturaleza herbácea. Los pastizales son ecosistemas caracterizados por presentar una sensación aparente de monotonía, cuya producción primaria es aprovechada directamente por los herbívoros (Miller *et al.* 1990). Los pastizales de las regiones semiáridas donde el factor agua es determinante la producción primaria están sometida al régimen de lluvias estacionales.

La vegetación altoandina o pastizales de puna, también llamados como pajonales, son ecosistemas con dominio de plantas herbáceas cespitosa, que incluyendo gramíneas y graminoides, hierbas que se desarrollan en zonas sobre los 3,800 a más de 4,000 msnm (Flórez y Malpartida 1987, Flórez 2005, Genin y Alzerraca 2006). De acuerdo con el Mapa Nacional de Ecosistemas, en el Perú se describe en tres tipos de pastizales: la jalca de alta cobertura (ubicada en la sierra norte), el pajonal de puna húmeda (ubicada en la sierra norte y centro del país), y el pajonal de puna seca (en la sierra sur), estas representan un gradiente de diferentes condiciones influenciada por el climática principalmente, de humedad (precipitación estacional). Los pajonales de puna seca son los que representan las mayores áreas del país con menor precipitación, y estacionalidad más marcada en los andes del sur (Valverde *et al.* 2022)

Los pastizales están constituidos por más de 20 familias, las familias más representativas son Poaceae en (29%), Asteraceae (25%), Fabaceae (5%), Caryophyllaceae (5%), Cyperáceae (4%), Juncaceae (3%), Valerianaceae (3%), Malvaceae (2%), Apiceae (2%), Plantaginaceae (2%) y otros (20%) (Mamani 2013), Álvarez *et al.* (2016) al evaluar la composición florística, diversidad y estructura de un pastizal en zona templada del centro de México registraron 40 familias, 93 géneros y 118 especies. Las familias mejor representadas

a nivel genérico y especie fueron: Poaceae, Asteraceae, Fabaceae y Orchidaceae, coincidiendo en las tres primeras familias registradas en la puna peruana.

Los pastizales de la subcuenca del río Shullcas del departamento de Junín, estudiado por Yaranga *et al.* (2018) registraron 22 familias, 52 géneros y 103 especies. Las Poaceae y la Asteraceae tuvieron mayor abundancia. Los pisos climáticos (Saqueo *et al.* 1994) permiten explicar la distribución de coberturas y formas de vida de las plantas en los gradientes altitudinales de la zona andina. Cuando se produce un cambio en la abundancia de un grupo de especies con la misma altitud, se percibe una discontinuidad fisonómica en el paisaje. La distribución altitudinal de estos grupos de especies es principalmente al resultado de la interacción entre clima y vegetación (Yaranga *et al.* 2018).

La vegetación sufre alteraciones por efectos antrópicos recurrentes como el sobrepastoreo, quemadas, cambio de uso del suelo etc., y afectan su condición, el estado de conservación de la biodiversidad, la biomasa y productividad del pastizal, desde las últimas décadas están disminuidas la cobertura con una gran pérdida de especies perennes, dando lugar al incremento de plantas anuales e invasoras y presencia de suelo desnudo (Herbel 1983). El pastoreo modifica la estructura vertical del pastizal, la composición y riqueza de especies, así como los atributos de las plantas. A nivel de sitios la productividad primaria neta puede visualizarse como un indicador generalizado del potencial ecológico o sitios referentes (McNaughton *et al.* 1989) los que se deben tener en cuenta en el planteamiento y manejo de los recursos naturales renovables.

Desde el punto de vista sostenible, sólo es posible que los pastizales se mantengan duraderos, cuando sus componentes se mantengan estables dentro del ámbito ecológico alcanzado el estado de "Climax". En este contexto, el ecosistema cuenta con sus elementos en equilibrio que reducen el riesgo de erosión, aportan recursos tróficos en la época de estiaje, constituyen refugios de especies más sensibles al pastoreo, favorecen la fertilidad y la existencia de materia orgánica en el suelo, crean condiciones microclimáticas que propician mantener la diversidad de especies y sirven de albergue al ganado y especies silvestres, etc. (Rebollo y Gómez 2003).

La fragilidad de los ecosistemas naturales causadas por los impactos humanos y naturales significa que el ecosistema se está degradando, en este contexto para la restauración de

ecosistemas degradados se desarrollarán las siguientes actividades, i) mantener áreas con vegetación leñosas alternados o disperso entre los pastizales en las zonas más frágiles, ii) suministrar materia orgánica para mantener la fertilidad de los suelos, iii) utilizar razas de ganado y variedades de plantas adaptadas a las condiciones locales, iv) prestar una atención especial al ciclo del agua y su calidad, v) mantener los sistemas de terrazas tradicionales y vi) establecer los sistemas ganaderos mixtos (López 2002). Además, el manejo de la cobertura vegetal y del suelo es la estrategia más viable para recuperar el ecosistema degradado en sistemas de clausura, debido a que sus exigencias del estado del pastizal podrían considerarse las actividades extensivas e intensivas para los estatus de condición pobre o muy pobre del pastizal, con una tendencia negativa y alejada de una fuente de agua principal (López 2002).

Por tanto, la dificultad para llevar a cabo el uso sostenible de los pastizales es la recurrencia de la explotación de los pastizales con menor productividad primaria es decir condición pobre (Behnke *et al.* 2000). Estos pastizales disturbados están situados frecuentemente en áreas sobrepastoreadas expuestas a sufrir procesos degradativos por la combinación de sobrepastoreo con otras perturbaciones frecuentes en estos medios como la sequía y el fuego. Para estas condiciones especiales (Rebollo 2003) indica, i) evitar mantener de manera prolongada altas densidades de animales en áreas suministradas de agua si se observan indicadores de sobrepastoreo, ii) disponer áreas de reserva forrajera para el suministro en los periodos de escasez (por ejemplo, arbustos y árboles forrajeros que se podan o pastorean, reservas forrajeras para el suministro complementario) y iii) utilizar una estrategia de pastoreo oportuna, basada en desplazar total o parcialmente a los animales y reducir la carga ganadera.

Por todo lo indicado hasta ahora se deduce que los pastizales no son coberturas estáticas y que su uso sostenible requiere conocer en cada momento cual es la "condición" del pastizal y sus indicadores de cambio. Toda actividad debería ser monitorear mediante un registro de indicadores que tenga en cuenta todos los efectos de los herbívoros y la distinta velocidad de respuesta en cada componente del pastizal. Un aspecto esencial en el uso sostenible de los pastizales es mantener los niveles de nutrientes en la vegetación y el suelo a largo plazo establece (Rebollo 2003).

En cuanto al estrato, el pastoreo modifica la estructura vertical del pastizal, la composición y riqueza de especies, así como los atributos de las plantas (Altesor *et al.* 2010). A nivel regional la productividad primaria neta puede visualizarse como un indicador generalizado del potencial ecológico (McNaughton *et al.* 1989) es un dato básico y necesario en el planteamiento y manejo de los pastizales.

2.1.2 Procesos y servicios ecosistémicos

Actualmente, los procesos ecológicos del ecosistema son visualizados como un sistema complejo, que resultan del propio funcionamiento de los ecosistemas, impulsado fundamentalmente por el ciclo del agua, los ciclos biogeoquímicos (o de nutrientes), el flujo de energía y la dinámica de las comunidades vegetales, los procesos ecológicos forman fuentes de múltiples beneficios ecosistémicos que la sociedad demanda de los ecosistemas (Briske *et al.* 2017).

Las funciones de cada componente (estructura) del ecosistema interactúan y se integran entre sí para crear los procesos ecológicos. Tienen la capacidad de regulación interna a través de mecanismos de retroalimentación negativa como la competencia intraespecífica e interespecífica y las interacciones planta-animal. Sin embargo, existen perturbaciones que se han ido dando en el tiempo e intensificándose por causas naturales o por la presión del hombre sobre los recursos de los ecosistemas ocasionando: “alteración en los flujos de energía, al reducirse la biomasa se reduce la cadena del detritus; redistribución y transformación de nutrientes; la modificación de microclimas; alteración de propiedades físicas e hidrología del suelo; desestabilización de las interacciones del ecosistema” (Barnes *et al.* 1991). Los desajustes de las interacciones conllevan a los procesos de degradación y desertificación, es decir cómo cambia la composición y estructura de un ecosistema después de una perturbación recurrente a estos procesos ecológicos.

Después de un evento disruptivo que afectan las poblaciones ecológicas, al proceso de cambio de la comunidad se le conoce como sucesión ecológica. El ecólogo estadounidense Clements (1945) fue uno de los pioneros en el estudio del fenómeno de la sucesión y en el desarrollo de su teoría. Clements planteó que después de una perturbación la vegetación regresa a un estado “climax”, favorecidos por las condiciones del clima y el grado de perturbación. Los cuatro procesos ecológicos fundamentales de los ecosistemas son el ciclo

del agua, los ciclos biogeoquímicos (o de nutrientes), el flujo de energía y la dinámica de las comunidades, es decir cómo cambia la composición y estructura de un ecosistema después de una perturbación.

2.1.2.1 Servicios ecosistémicos

Los pastizales proveen múltiples servicios ecosistémicos de importante de mucho valor para la sociedad, tanto local como globalmente, éstos se encuentran amenazados por los procesos de degradación, el impacto del cambio climático, modificaciones en el uso del suelo, quema, sobrepastoreo afectando su conservación. A pesar de ello, la preservación de los pastizales ha recibido escasa atención por parte de los organismos gubernamentales y no gubernamentales en los países sudamericanos (Easdale 2021).

Los servicios ecosistémicos son los beneficios económicos, sociales y ambientales, directos e indirectos, que brindan los ecosistemas naturales de la tierra, que proveen diversos beneficios a la sociedad (CREAF 2016). De los servicios se obtienen importantes productos primarios alimento fundamental para la ganadería, uso en cobertura de techo de las viviendas altoandinas, medicina natural y como producción secundaria se obtendrán: la carne, la leche, la lana y el cuero. Además, conllevan a otras series de beneficios ambientales, como son el mantenimiento de la composición atmosférica por captura de CO₂, la formación de suelo, el control y prevención de la erosión del suelo, la regulación del caudal de agua hacia ríos y arroyos y la belleza paisajística entre otros. Todos estos beneficios, o servicios ecosistémicos, derivan de la diversidad de especies que lo componen y de los complejos procesos bioecológicos. Dada su importancia para la comunidad científica y la sociedad es conservar los servicios de estos ecosistemas, y establecer un vínculo explícito entre las propiedades estructurales y funcionales de los ecosistemas y el bienestar humano para sustentar a las generaciones futuras, los ecosistemas brindan cuatro grandes grupos de servicios a la humanidad: de provisión, de regulación, culturales y de soporte según el beneficio que ofrecen (CREAF 2016, López *et al.* 2020).

Como provisión de regulación hídrica es uno de los servicios de mayor importancia que ofrecen los ecosistemas de los pajonales altoandinos. Sin embargo, el conocimiento sobre su contribución en términos hídricos es aún poco conocido y su estimación es difícil, debido a los complejos procesos ecohidrológicos, climáticos, estructura geológica y características

ambientales de trópicos andinos (Cervantes *et al.* 2021). Los pajonales son exclusivos como ecosistemas únicos del Perú, Ecuador, Venezuela y Colombia cumplen funciones vitales y crucial de cobertura, estabilidad del suelo y de regulación de recursos hídricos, los que asegura así la protección y el almacenamiento de agua y provisión para la familias y comunidades andinas entre los 3000 a 5000 msnm. Dichos ecosistemas de montaña con la infiltración proveen el agua a las zonas bajas del cual dependen millones de personas (Buytaert *et al.* 2006; Bonnesoeur *et al.* 2019).

Estos ecosistemas dominados por Jarava cichu infiltran, almacenan y suministran el agua que cubre las necesidades domésticas, agrícolas, de riego, generación de hidroeléctricas y recreativas de numerosas poblaciones, siendo de suma importancia para el desarrollo socioeconómico de los países andinos (Mosquera *et al.* 2022). La regulación hidrológica de los pajonales prevé la ocurrencia de crecidas de caudal, huacos e inundaciones, reduce o evita la escorrentía superficial (erosión) y está fuertemente ligado con la mitigación de la erosión del suelo reduciendo el arrastre de sedimentos, dentro de ella figuran la interacción entre el pajonal y humedales regulando el agua que llega a los ríos como provisión de servicios ecosistémicos hídricos, los pajonales por su extensión y buen estado de conservación facilita mayor infiltración del agua al suelo (Mosquera *et al.* 2022).

Estudios realizados en los ecosistemas de pajonales indican que estos ecosistemas pierden menos agua hacia la atmósfera, pierden alrededor de 51% menos que otros tipos de cobertura vegetal exótica, lo cual son decisivo para la conservación de agua, los pajonales altoandinos de condición bueno, mantienen un rendimiento hídrico (producción anual de agua) tres a cuatro veces superior a praderas forestados con árboles como el pino, sin embargo, el limitado conocimiento científico de las relaciones e interacciones entre procesos hidrológicos y ecológicos de los pajonales andinos, hacen que se realicen malas prácticas antrópicas para encontrarse en condiciones de degradación, fragmentación y conversión de los pajonales, perturbando el flujo hídrico y de carbono a la vez reduciendo el abastecimiento de agua a los acuíferos en las cuencas (Mosquera *et al.* 2022).

Servicios de regulación: uno de estos servicios que benefician al mantenimiento de la composición atmosférica, a través del flujo de energía en la producción primaria, regula la concentración de dióxido de carbono (CO₂) del aire. El carbono es capturado por la vegetación a través del proceso de fotosíntesis, una vez capturado, es incorporado a

moléculas orgánicas que utiliza las plantas para su crecimiento y desarrollo, parte del carbono orgánico es trasladado desde las hojas hacia los órganos subterráneos de reserva (raíces, rizomas, bulbos) y es almacenado en estos como sustancia de provisión para un nuevo brote. A medida que los diferentes órganos aéreos y subterráneos de las plantas mueren, el carbono orgánico va siendo incorporado a la materia orgánica del suelo por acción de la flora y la fauna edáfica (López *et al.* 2020).

La cantidad de carbono orgánico del suelo puede contener entre 50 y 150 toneladas por hectárea dependiendo de la condición del sitio y tipo de vegetación, la densidad aparente del suelo y los factores climáticos (Paruelo *et al.* 2010). Los árboles y los bosques concentran carbono en más del 50% de su biomasa en materia seca sobre el suelo. La capacidad de la cobertura vegetal en secuestrar y de mantener el carbono en el suelo de forma segura, los servicios tienen un beneficio asociado que es la regulación del clima a través de la reducción del efecto invernadero. Por otro lado, contribuye en los procesos del flujo hídrico con regulación y purificación del caudal de agua a los ríos, y arroyos.

La regulación de los servicios de la vegetación juega un papel clave en el ciclo hidrológico, determinando el equilibrio entre la cantidad de agua proveniente de la precipitación y las pérdidas como vapor, evaporación del suelo, transpiración de las plantas para crear humedad o aire acondicionado en enfriar el planeta, y como líquido hacia corrientes de agua en la superficie y drenaje profundo (López *et al.* 2020). La vegetación brinda servicios muy importantes a los insectos para polinizar órganos florales para la formación de semillas y miel, y participa también en el control de enfermedades y plagas a través de sus metabolitos secundarios de ciertas especies (Agüero 2018).

Beneficios no materiales: los ecosistemas brindan a los pobladores locales y a los visitantes, como servicios culturales de recreación, espacios para costumbres rituales y de medicina natural. La historia y la cultura de la región andina están íntimamente ligadas a la vegetación natural. Un acontecimiento clave en esta región andina fue la introducción del ganado doméstico. Este hecho originó una gran riqueza ganadera, cuya explotación fue una de las razones determinantes de los procesos históricos que ocurrieron en los ecosistemas andinos. El pastizal ofrece también un entorno ideal para realizar actividades al aire libre como la recreación y el ecoturismo (caminatas, cabalgatas, paseos, etc.), recursos existentes para la investigación o la educación ambiental (López *et al.* 2020).

Servicios de soporte: la interacción de sus factores o procesos ecosistémicos básicos, permiten que el pastizal provea múltiples servicios. La diversidad de flora y fauna es un importante servicio que se relaciona con otros beneficios que obtenemos de estos ecosistemas de pastizales. Se estima que podría haber más de 1000 especies de plantas y se han registrado cerca de 155 especies de aves, 25 de mamíferos, 31 de reptiles y 18 de anfibios nativos del pastizal (López *et al.* 2020). En relación a la flora, el pastizal es muy heterogéneo ya que las especies presentes o la fisonomía de la vegetación varían entre diferentes puntos del paisaje, relacionados a la riqueza de especies, en la productividad primaria, la cantidad de CO₂ que las plantas fijan a través de la fotosíntesis en un área y en un tiempo determinado. Donde se puede observar una relación lineal y positiva entre la riqueza de especies y la productividad primaria neta aérea (PPNA) del pastizal. Esto es muy importante ya que, a mayor riqueza de especies, mayor será la productividad del campo (López *et al.* 2020).

Los pastizales sirven de sustento a los pueblos originarios de la región andina desde su desarrollo de la ganadería, que cazaban diferentes animales silvestres, recolectaban plantas, raíces con fines medicinales. Además, es una fuente de alimento más económico para el ganado, y de recursos genéticos de la vegetación. La gran diversidad de especies del pastizal también provee recursos potenciales como cobertura de techos en viviendas desde tiempos inmemoriales, es decir, recursos que puedan ser evaluados y utilizados en el futuro (López *et al.* 2020).

2.1.2.2 Atributos e indicadores

La estructura de un ecosistema llamados atributos son componentes necesarios para la evaluación del estado de salud en que se encuentra un ecosistema, ya que interrelaciona procesos muy complejos en los que interactúan múltiples componentes propios de cada ecosistema, algunos atributos no pueden ser medidos directamente, ya que se trata de todo un sistema que hace complejo su medición. Según el SRM (Society for Range Management) se debe tomar en cuenta tres atributos de los ecosistemas para que la evaluación de la salud sea más consistente, dentro de estos atributos se consideran: estabilidad del suelo del sitio, función hidrológica e integridad de la comunidad biota, ya que estos presentan indicadores de vegetación, agua y suelo, que definen mejor el estado en que se encuentran la estructura y función de un pastizal. La salud de los pastizales es el grado en que se equilibra y mantiene

la integridad del suelo, la vegetación, el agua y el aire, así como los procesos ecológicos. Se considera evaluar 17 indicadores y tres atributos para determinar la salud de los ecosistemas (NRC 1994, USDA 1997, Pyke *et al.* 2002).

- a. Estabilidad del suelo o del sitio: comprenden capacidad del sitio para limitar la redistribución y pérdida de recursos del suelo (incluye nutrientes y materia orgánica) por el viento o el agua.
- b. Función hidrológica: es la capacidad del sitio para capturar, almacenar y liberar de forma segura el agua de lluvia y deshielo (donde sea relevante), para resistir una reducción en esta capacidad y recuperarla después de la degradación
- c. Integridad de la comunidad biota: es la capacidad del sitio para soportar comunidades funcionales y estructurales, características en el contexto de la variabilidad normal o para resistir la pérdida de esta función y estructura causada por la perturbación y su capacidad de resiliencia después de cada perturbación (Pyke 2002).

El estado de salud de los pastizales se basa en enfoques tradicionales de la condición de los pastizales que considera sobre todo la producción, y el potencial del sitio, pero también incluye indicadores importantes de los procesos y funciones naturales de los pastizales. Estos indicadores de procesos ecológicos han sido utilizados históricamente para el monitoreo de pastos y el inventario de gestión de tierras. Los indicadores son componentes de un sistema cuyas características (por ejemplo, presencia o ausencia, cantidad, distribución) se utilizan como índices de los atributos (Pellant y Pyke 2000).

a. Indicadores de Integridad Biótica

- Biomasa aérea: este parámetro revela la capacidad de producción de un sitio y el grado en que éste es capaz de capturar energía, almacenar energía y transferir nutrientes a los pastos y la cadena de descomposición, asegurando así transferencia suficiente de nutrientes de las plantas y al sistema suelo.

- Cantidad de mantillo: Es la cantidad de hojarasca y residuos plantas muertas en la superficie del suelo por unidad de área, se relacionan positivamente con la protección del suelo, la capacidad del sistema para mantener procesos clave como el ciclo de

nutrientes y la capacidad de proporcionar una protección adecuada contra la erosión, que permite una mejor infiltración y regulación del suministro del agua.

- Materia orgánica: La presencia de materia orgánica acumulada en forma de hojarasca en proceso de descomposición, el color y la textura del suelo indican la cantidad de materia orgánica presente y el potencial del sitio para proporcionar nutrientes al ecosistema, así como de brindar condiciones favorables para el desarrollo de la vegetación y operación del sistema hidrológico.

- Carbono: El carbono orgánico del suelo (COS) es importante para la sostenibilidad del ecosistema debido a su influencia sobre la agregación de las partículas del suelo, el tamaño de los agregados está directamente relacionados con el contenido de COS, mientras mayor es el contenido de COS lábil mayor será el tamaño de los agregados. El COS asociado a la materia orgánica, proporciona coloides con una alta capacidad de intercambio catiónico lo que promueve una mayor solubilidad de varios nutrientes, al cambiar la acidez y alcalinidad a valores cercanos a la neutralidad (Martínez *et al.* 2017).

b. Indicadores de Función Hidrológica

- Calidad del agua: Se refiere al estado de indicadores clave como temperatura, pH, contenido de arena, conductividad etc. Su nivel depende del estado de manejo, la geología del área y procesos externos como degradación, contaminación natural y antropogénica.

- Tasa de infiltración: Es una variable relacionada con la conductividad hidráulica del suelo que permite que el agua penetre en las raíces de las plantas. En hidrología, se define como la velocidad máxima a la el agua penetra en el suelo. Los suelos fatigados y permeables tienen mayor capacidad de infiltración que un suelo arcilloso y compacto.

- Densidad del suelo: El peso de una partícula sólida de suelo, con respecto al volumen que ocupan, independientemente de su estructura. La densidad del suelo se utiliza a menudo para estimar el grado de compactación del suelo y tomar muestras

del deterioro del suelo. Una densidad baja generalmente significa mayor y de agregados de suelo más grandes. Un pastizal saludable tendrá una densidad baja, lo que significa más estabilidad, menos compactación y un contenido de humedad potencialmente mayor que el suelo más denso.

c. Indicadores de Estabilidad del Sistema

– Grado de cobertura: Está positivamente correlacionada con el grado de cobertura que brinda la vegetación contra el potencial erosivo de la lluvia cuando ésta impacta directamente sobre el suelo. Este parámetro está correlacionado con los patrones de flujo de agua, porque a mayor cobertura, la intercepción de gotas de lluvia es mayor y el movimiento del agua superficial se hace más lento.

– Plantas invasoras: La presencia de plantas invasoras, no originales del ecosistema, indica el alcance de la perturbación. Estas plantas, debido a su naturaleza típica anual o efímera de vida corta, brindan menor protección al suelo que las especies nativas, lo que les hace más inestable y susceptible a las perturbaciones. Estas plantas crecen rápidamente con altas tasas de reproducción, lo que les permite extenderse rápidamente en los espacios que perdieron cobertura. Para considerar una planta invasora algunos autores consideran un requisito adicional que produzcan impactos negativos sobre la biodiversidad UICN (2000):

– Signos de erosión: A medida que el suelo pierde cobertura se pierde la estructura del suelo sub-superficial se degrada y el contenido de materia orgánica se reduce, trayendo como consecuencia una pérdida en la capacidad del sitio para almacenar agua de lluvia y liberarla gradualmente, así como la capacidad del suelo de ciclo de nutrientes para el crecimiento de las plantas.

– Fragmentación del hábitat: Es definida como un proceso que presenta un proceso a largo plazo de expansión del hábitat y es transformada en pequeños números de parches de un área, implica la aparición de discontinuidad de la comunidad vegetal, un pastizal que alguna vez formó una sola unidad queda dividido en fragmentos separados, debido a la discontinuidad. Ahora se interrumpe los procesos de transferencia de nutrientes, energía y agua son interrumpidas, y se reduce la

estabilidad y productividad del sistema ecológico, afectando notoriamente al número de posibles especies que podrían estar presentes.

- **Diversidad de especies:** Se refiere al número de especies y proporción relativa que existe en el área, y está asociada positivamente con el grado de estabilidad y resiliencia del sistema ecológico, dado que las especies allí presentes son el resultado de un largo proceso de adaptación a las condiciones bióticas y abióticas prevalentes en el sitio ecológico.

Tabla 1: Atributos e indicadores de salud de los pastizales evaluación cualitativa

Atributos	Indicadores	Rangos				
		Extremo	Moderado o extremo	Moderado	Ligero moderado	Ningun o ligero
S,W	1. Erosión del suelo					
S,W	2. Patrón de flujo de agua					
S,W	3. Plantas en pedestal					
S,W	4. Suelo desnudo					
S,W	5. Cárcavas					
S	6. Áreas que han sido limpiadas/depositas por el viento					
W	7. Movimiento de mantillo					
S,B,W	8. Resistencia de la superficie del suelo a la erosión					
S,B,W	9. Perdida del suelo o degradación					
S,B,W	10. Composición de la común. Plantas y distribución relativa de la infiltración y escorrentía					
S,B,W	11. Capa de compactación					
B	12. Grupos funcionales o estructurales					
B	13. Mortalidad de plantas					
B,W	14. Cantidad de mantillo					
B	15. Producción animal					
B	16. Plantas invasoras					
B	17. Capacidad reproductiva de las plantas perennes					

S = Suelo y estabilidad del sitio

W = Función hidrológica

B = Integridad biótica

Fuente: Adaptado por Pyke *et al.* 2002.

2.1.2.3 Factores de perturbación

Los factores perturbadores de los ecosistemas son principalmente por causas antrópicas y naturales que generan consecuencias del cambio climático, generando degradación, disminución en la calidad y producción de los pastizales y el medio ambiente. Un problema general del mundo, debido a diversos factores, tales como: el pastoreo recurrente que genera el sobrepastoreo, la quema indiscriminada, cambio de régimen de las lluvias, la compactación, y acidez de los suelos, el cambio de uso de los pastizales, y ocurrencias por el cambio climático, entre otros factores. Padilla *et al.* (2009), Flores (2016) consideran que un pasto se está degradando cuando la especie deseable ha perdido su vigor y capacidad productiva, siendo reemplazado en las áreas libres por especies indeseables de escaso rendimiento y valor nutritivo. Ello provoca un efecto de deterioro ecológico y económico. Estos factores perturbantes generan: a) Decremento de la cobertura vegetal, aparición de pequeño número de plantas nuevas provenientes de la resiembra natural, b) Reducción de los rendimientos productivos y calidad del forraje, c) Aparición de especies invasoras anuales o indeseables, d) Reducción de la cobertura que entran en procesos erosivos del suelo por la acción hídrica, e) compactación y reducción de la infiltración del agua al suelo.

Estas perturbaciones recurrentes (Raéz 2011) conducen a la degradación y pérdida de los servicios ecosistémicos, a través de cuatro procesos: 1) La conversión de hábitats, 2) La sobre explotación de los recursos renovable por encima de su capacidad de resiliencia, 3) La introducción de especies invasoras y 4) El cambio climático con escasas y altas precipitaciones, cambios imprevistos de temperaturas durante el día y la noche impredecibles.

Otras razones por las que la degradación de los ecosistemas de los pastizales está empeorando son: Escaso conocimiento acerca de la estructura y funcionamiento de los diferentes procesos de los ecosistemas del pastizal, falta de métodos y generación de transferencia de tecnología en gestión de los ecosistemas de los pastizales y uso racional de las fuentes de agua. Los bajos rendimientos de los sistemas ganaderos exacerbaban la pobreza, La sociedad no ha internalizado en sus costumbres la importancia de proteger los ecosistemas de montaña y falta de políticas y marco legal inadecuado para la planificación y gestión sostenible de las praderas (Flores 2004). Estos conllevan al proceso de degradación, fragmentación y conversión de los ecosistemas, que perturba los servicios ambientales generados por varios factores:

El sobrepastoreo: El pastoreo continuo del ganado doméstico produce un efecto en la modificación en la estructura de la comunidad vegetal Quiroga *et al.* (2006); Recharte, et al. 2009 citado por Alegría (2013), sostiene que el sobrepastoreo, las prácticas de manejo inapropiadas, la sobreexplotación de los recursos y la falta de prácticas de conservación son las principales causas de la degradación del suelo en los pastizales andinos. Durán 1974 citado por Botero (2013) sugiere que una de las razones para la degradación de las praderas nativas es el pastoreo extensivo recurrente, es decir el pasto no tiene forma de escapar o librarse en ningún momento del consumo y pisoteo de los animales, por lo que padece serio deterioro.

Miranda y Cana (2014) mencionaron que las razones de la degradación de los pastizales son la intensidad y alta presión de pastoreo por el ganado en un solo potrero, largos periodos de ocupación y corto periodo de descanso, estos son las causas más comunes de la degradación de las praderas nativas. Estos provocan la desaparición de los pastos deseables y deja el suelo expuesto a la erosión e invasión de plantas no deseables de áreas vecinas:

Ganadería extensiva en pastoreo continuo: La permanencia de la ganadería extensiva en pastoreo continuo, el animal que no tiene opciones comerá lo que tenga, cualquiera sea su palatabilidad, calidad, accesibilidad o cantidad, el pasto no tiene la oportunidad de librarse en ningún momento al consumo y pisoteo, por defoliación de los animales, el pasto se deteriora, y al final de dichos períodos los animales desmejoran, baja notablemente la producción y, al iniciar nuevamente la época lluviosa, se produce fuerte erosión y el terreno se cubre de malezas, que van reemplazando al pasto (Botero 2013).

Compactación del suelo: La compactación es otro problema que ayudan a la degradación de praderas, ya que la compactación de la superficie del suelo reduce la aireación, limita el espacio poroso del suelo que puede ser ocupado y explorados por las raíces, disminuye la infiltración de agua disponible, dificultando en las plantas su capacidad de nutrirse apropiadamente, afectando su producción, y por lo tanto su estructura del terreno. Botero (2013) indica que, en condiciones ideales, el suelo debe poseer, al menos la mitad de su volumen en espacio poroso, donde se almacenan aire y agua y facilitan a los macroinvertebrados que se alimentan de los residuos vegetales de desecho de las plantas que crecen sobre el suelo y los convierten en materia orgánica, esto permite mantener y aumentar su fertilidad natural.

Quema: Puede darse por quema accidental o programada, tradicionalmente usada como herramienta de manejo de pastizales en los sistemas extensivos de producción ganadera en el trópico andino, la quema interfiere las interacciones de los factores bióticos y abióticos, su recuperación demanda de tiempos considerables. En las últimas décadas, el mundo enfrenta una crisis creciente de incendios forestales y el clima sigue cambiando, Según SERFOR (2021) reporta un total de 7104 incendios forestales que afectaron 19 1014 hectáreas, el 95 % de los incendios forestales se originan por causas humanas, ante el descontrol producido por la quema de residuos agrícolas, habilitación de áreas de cultivo, cambio de uso de suelos y algunas creencias sobre uso del fuego mejora el pastizal. Según el reporte de Parrington (2021) los incendios se recrudecen en diversos puntos del planeta: emitieron 1.760 megatoneladas de carbono, que es el equivalente a 6.450 megatoneladas de dióxido de carbono, volatiliza cantidades variables de nitrógeno, azufre y selenio hacia la atmósfera y reduce el contenido de materia orgánica del suelo (Anderson y Pressland 1987, citado por Botero 2013)

Cambio de uso del suelo: El cambio en el uso del suelo son consideradas como malas prácticas de la agricultura andina, se pierde la cobertura vegetal, producto de la expansión y extensión de actividades agrícolas, generando impactos negativos en la biodiversidad y la provisión de servicios ecosistémicos, y contribuyen significativamente en los procesos de cambio climático.

Botero (2012) menciona que los minerales de fósforo y el nitrógeno son los minerales más deficitarios en los suelos andinos. Ambos minerales son extraídos en los productos agrícolas y se van al mercado, La falta de restitución baja la sostenibilidad de los suelos en los sistemas de producción, esto se debe muchas veces al periodo de explotación del suelo después de la agricultura y han pasado sin ser cultivado, o sin ser utilizado, la lluvia, el aire y las altas temperaturas se encargan de desgastar el suelo, facilita la invasión de especies indeseables.

Cambio climático: Los pastos cubren el 40% de la superficie libre de la tierra y son capaces de absorber hasta el 30% del Carbono que se produce en toda la planta, el efecto del cambio climático ya ha empezado a modificar el clima. En consecuencia, los ecosistemas están en peligro por los efectos de la crisis climática y las actividades antrópicas, están cambiando las especies vegetales que lo conforman un ecosistema natural. Un equipo de investigación, que analizó 105 experimentos en todo el mundo ha constatado que los pastizales han

resistido los efectos del cambio global durante la primera década de exposición. Pero una vez que han alcanzado la marca de 10 años, la especie ha empezado a cambiar. Publicado en el Boletín redacción/agencias (Madrid 2019). Los efectos notorios en el incremento y disminución de temperaturas estacionales, cambios en el régimen de lluvias, sequías prolongadas inducen a la pérdida de la biodiversidad y cambios en especies vegetales. El cambio climático en los andes provocará el incremento de temperatura local, el potencial de evapotranspiración y escasez de agua, ocasionando la pérdida de la biodiversidad de los pastizales y que afectarán su producción y rendimiento en cultivos como la quinua, papa, tarwi, entre otros (Lozano *et al.* 2021).

2.2 Modelos de condición

La elaboración de modelos y herramientas que permiten la gestión sostenible de los recursos naturales y que prioriza la capacidad de regulación interna de los ecosistemas a través de las interacciones suelo-planta y animal-planta, considerando el rol potencial de factores climáticos como la sequía y otros efectos del cambio climático, será de gran utilidad para la comprensión de la evolución y comportamiento de los ecosistemas.

Existen modelos que describen el comportamiento de los ecosistemas de pastizales en respuesta a niveles recurrentes de disturbio, llevando a dichos ecosistemas a diferentes estadios de condición o estados de salud, muchos de estos modelos son utilizados como base para explicar la degradación de los pastizales según modelo sucesional indican (López *et al.* 2009, Distel 2013).

2.2.1 Modelo clímax

El modelo clímax, plantea que la vegetación de los ecosistemas naturales se desarrolla en forma unidireccional hasta llegar a un estado estable clímax, en el cual, la vegetación se desarrolla de forma progresiva y ordenada siempre y cuando no haya perturbaciones, en consecuencia, alta productividad de biomasa (Clements 1932). El modelo clímax se cumple mientras no se pasen los umbrales bióticos y abióticos, ya que estos generarían cambios impredecibles en su diversidad con las perturbaciones, como el sobrepastoreo, variaciones ambientales, que ejercen fuerzas contrarias al estado clímax. No obstante, la mayor limitación de este modelo es que no toma en cuenta que el ecosistema puede cambiar su estructura a pesar del cese de la perturbación, ya que algunas especies de plantas pueden

aprovechar la ausencia de algunas y colonizar el área a través de una sucesión que cambia la productividad y su composición.

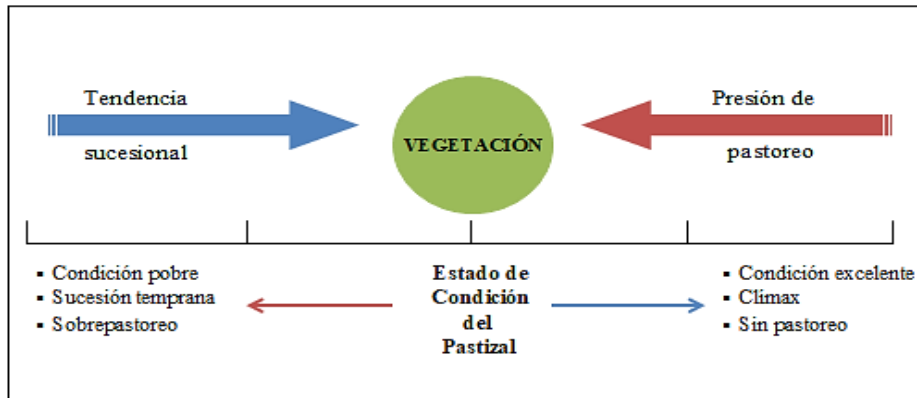


Figura 2: Modelo clásico de respuesta de la vegetación frente a la presión de pastoreo

Fuente: Westoby et al. 1989.

2.2.2 Modelo de productividad

El modelo de la productividad asocia los principios ecológicos y la condición del pastizal en base al interés productivo, como la respuesta de la vegetación al pastoreo que estima el método de Parker (1951), en el cual se realiza mediante la observación e inventario de la vegetación. El modelo clasifica a las especies vegetales en 3 grupos: especies decrecientes, acrecentantes, invasoras e indiferentes. Para evaluar la condición de los pastizales, se desarrolló el método de condición del pastizal basado en las teorías de Clements (1932); dándole un enfoque cuantitativo, en el cual, los porcentajes indican la cantidad de especies que se encuentran en relación al estado clímax.

Las condiciones establecidas para dicho modelo son las siguientes: excelente (100-75%), buena (75-50%), regular (50-25%) y pobre (25-0%). El método resume los atributos del pastizal en base a transectas, estos rangos se basan específicamente en las tendencias de las especies de plantas, abundancia, composición y cobertura del suelo, vigor de la planta, cada estado de condición del pastizal toma diferentes estados serales, se incluye en la evaluación, mantillo, suelo desnudo, roca y pavimento en erosión.

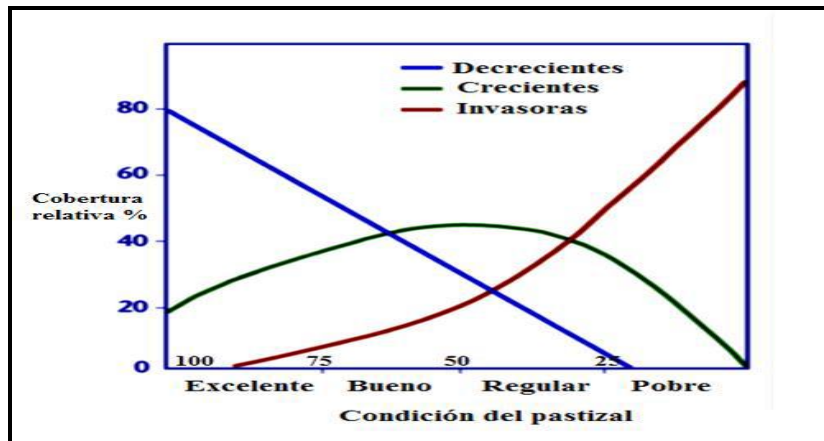


Figura 3: Cambios en la abundancia en especies en base a los cambios de condición del pastizal

Fuente: adaptado de Dyksterhuis 1949.

Desde el enfoque planteado por Dyksterhuis (1949), la condición de los pastizales puede ser medido directamente en términos de la producción del forraje, el modelo muestran las tendencias en la importancia de las principales especies de mayor consumo, bajo cambios progresivos por la perturbaciones recurrentes de pastoreo, las especies que se pueden encontrar se agrupan en tres categorías; las que dependen de la conducta de la comunidad, las especies que simplemente predominan en la cobertura, y las especies que finalmente son eliminadas. La Figura 4, muestra los cambios en las proporciones relativas de las plantas acrecentantes, decrecientes e invasoras de acuerdo a los movimientos ascendentes y descendentes a lo largo de las curvas según la mejora y deterioro de los pastizales.

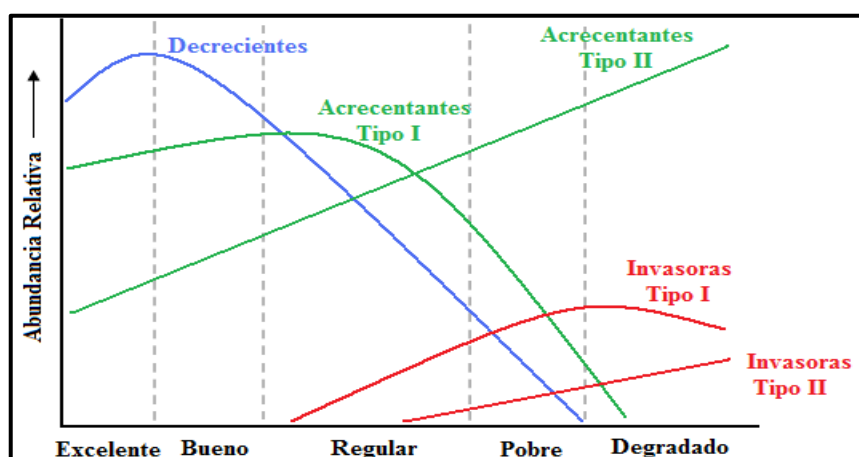


Figura 4: Modelo de cambios en la vegetación por efecto de la presión de pastoreo

Fuente: adapto de Dyksterhuis 1949.

En un ecosistema siempre encontraremos plantas decrecientes (deseables), acrecentantes tipo I e invasoras tipo I (poco deseables), y las acrecentantes tipo II e invasoras tipo II (indeseables). Se puede notar que las especies de decrecientes y acrecentantes tipo I existen en condiciones excelentes de las praderas y estas van desapareciendo conforme ocurre el proceso de retrogresión. Las acrecentantes II siempre estarán presentes ya que cumplen un rol ecológico, en muchos casos producen metabolitos secundarios dañinos para la salud del animal o son un nicho ecológico para ciertas especies de animales, necesarios para el equilibrio del ecosistema, y aparecen como la última barrera contra la erosión de suelos degradados o perturbados por actividades antrópicas del hombre.

2.2.3 Modelo de estados y transición

Actualmente ha surgido un nuevo modelo que trata de explicar lo que sucede con la dinámica de la vegetación de los pastizales naturales a través del tiempo y el efecto de pastoreo: el modelo de "estados y transiciones".

Este modelo de estado de transición y estado incluye umbrales de cambio y transiciones secuenciales reversibles e irreversibles, que se integran explicar en las comunidades de plantas y reducir los efectos del clima y los eventos estocásticos, en el comportamiento de los ecosistemas. Cambian gradualmente debido a patrones repetidos o tensiones recurrentes en los que la estabilidad del ecosistema se ve afectada por perturbaciones externas, (incendios, inundaciones). Por lo tanto, son impredecibles cuando la estabilidad del ecosistema se ve influenciado por perturbaciones externas que cambia la dinámica de los ecosistemas, Se dan diferentes etapas de transiciones que llevar a la vegetación al estado clímax o de equilibrio, en cada estado se da diferentes transiciones (vegetación y suelo), depende de las interacciones entre los factores climáticos (lluvias, sequías) y el manejo del área (carga animal, frecuencia de pastoreo). Dependerá también de la intensidad y duración de la disturbación ya que en el pasaje de un estado a otro no siempre es reversible (López *et al.* 2009). Bajo este modelo se contempla la formación de un nuevo estado estable, en el cual se tendrá nuevos grupos funcionales de plantas, que cambian el estado de condición del pastizal y las estrategias de manejo cambian.

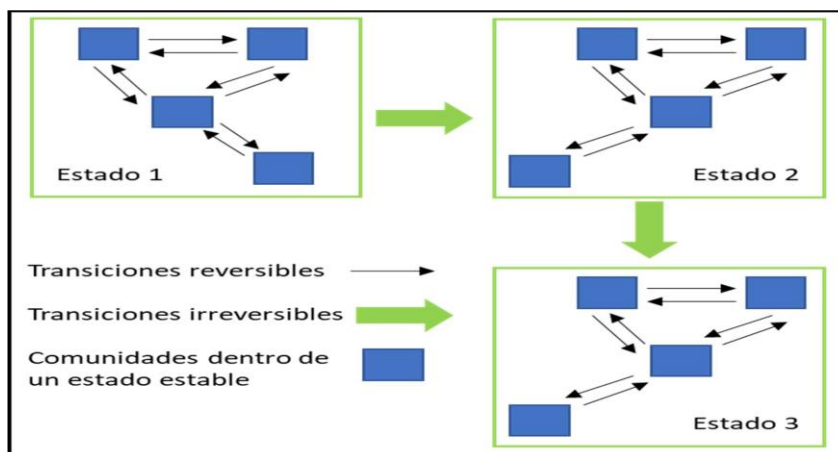


Figura 5: Modelo conceptual de Estados y Transiciones (STM)

Fuente: Distel 2013.

La identificación de umbrales ecológicos representa un tema clave para diferenciar entre los múltiples estados y transición de un ecosistema, con el objetivo de describir los límites entre estados estables. Una herramienta de gestión para prevenir la aparición de estados poco deseados (Bestelmeyer *et al.* 2003, Briske *et al.* 2006). Los umbrales son límites en el espacio y/o el tiempo entre estados, por lo que uno o más procesos ecológicos primarios han cambiado irreversiblemente y deben restaurarse activamente para volver al estado anterior (Friedel 1991). Sin embargo, Groffman *et al.* (2006) define un umbral como el punto en el que se produce un cambio brusco en alguna propiedad o proceso que es importante para un ecosistema, alterando no solo la estructura, sino también los servicios y funciones del ecosistema. La falta de comprensión de los umbrales ecológicos dificulta su identificación, lo que minimiza su utilidad en la gestión de los ecosistemas (Briske *et al.* 2005).

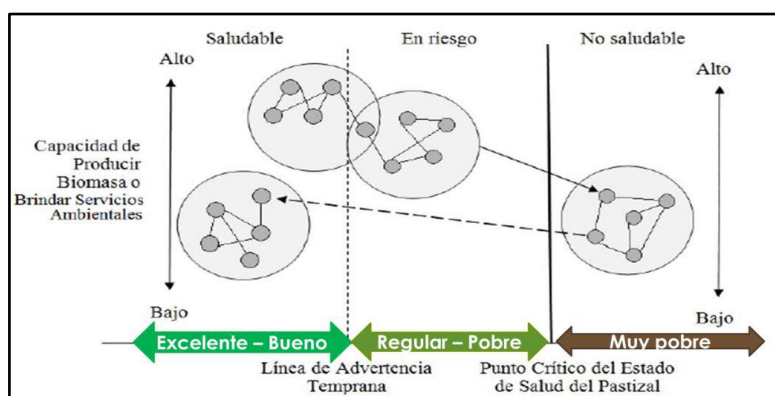


Figura 6: Modelo y rutas de degradación del pastizal

Fuente: Holechek 1989, tomado de López *et al.* 2009.

Según estos modelos de estados de transición representan el cambio de la vegetación a lo largo de varios ejes, incluyendo regímenes de fuego, variable de climas y prescripciones de manejo. Los umbrales ecológicos que vienen a ser un punto central de los modelos de estados y transición, para reconocer los diferentes estados estables que potencialmente puede ocupar un sitio ecológico, los umbrales son difíciles de definir y cuantificar porque representan una serie de componentes complejos que interactúan en lugar de fronteras descritas en tiempo y espacio entre las comunidades estables, entre umbrales como estructura funcionales en base a los atributos del suelo y vegetación (Brisky *et al.* 2003)

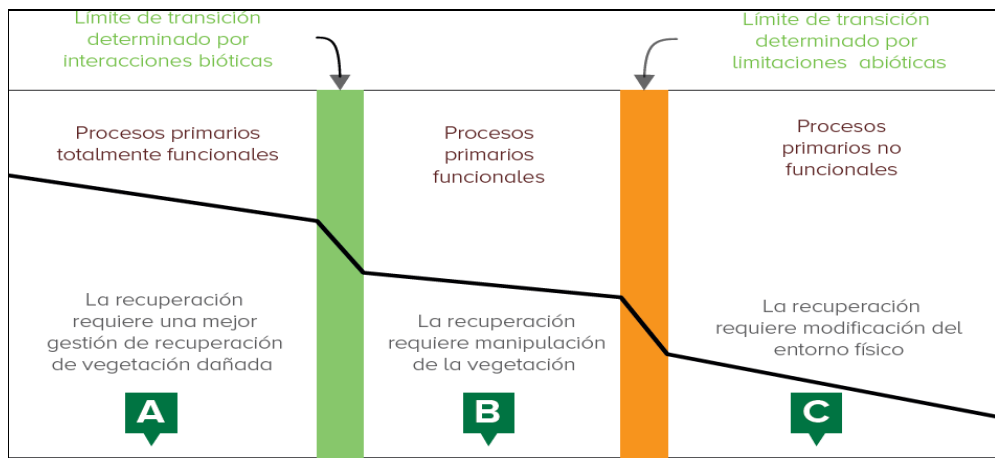


Figura 7: Intensidad de perturbación y umbrales bióticos y abióticos

Fuente: Adaptado de Whisenant 2002.

La identificación de umbrales ecológicos representa un tema clave para diferenciar entre los múltiples estados y transición de un ecosistema, con el objetivo de describir los límites entre estados estables, alternativos. También es una herramienta de gestión para prevenir la aparición de estados menos deseados (Bestelmeyer *et al.* 2003, Briske *et al.* 2006). Los umbrales son límites en el espacio y/o el tiempo entre condiciones, por lo que uno o más procesos ecológicos primarios han cambiado irreversiblemente y deben restaurarse activamente para volver al estado anterior (Friedel 1991). Sin embargo (Groffman *et al.* (2006) definen un umbral como el punto en el que se produce un cambio brusco en alguna propiedad o procesos que es importante para un ecosistema, alterando no solo la estructura, sino también los servicios y funciones del ecosistema. La falta de comprensión de los umbrales ecológicos dificulta su identificación de los procesos, lo que minimiza su utilidad en la gestión de ecosistemas (Briske *et al.* 2005).

Las estrategias de mejora se deben orientar a la recuperación de los atributos ecológicos del pastizal en estados no saludables, como son: la diversidad, estabilidad del suelo, integridad biótica. Estas estrategias contemplan sistemas de pastoreo adecuado al tipo de vegetación, como la quema controlada, control integrado de plantas indeseables, manejo de aguadas, revegetación, fertilización y ajuste de la carga animal. Las estrategias extensivas de mejora que se aplican en pastizales, tienen la finalidad de mejorar la productividad, el potencial del pastizal y la capacidad de carga, los incrementos pueden alcanzar un nivel de producción de forraje hasta en un 200 % (Flores 1993).

2.3 Indicadores del estado de la vegetación

A partir de los indicadores de vegetación se establece un análisis que podrían ayudar en la evaluación de la condición y salud del pastizal para un determinado tiempo, cuya función es realzar la cubierta vegetal. Teniendo en cuenta este aspecto y en respuesta a las necesidades de información que ayuden a los tomadores de decisiones y establecer políticas a cumplir con las funciones de servicios ecosistémicos.

2.3.1 Condición

Se define como la producción de tejido vegetal útil en un momento determinado, la condición son los diferentes estados de producción en que se puede encontrar un sitio de pastizal, como consecuencia de su historial de pastoreo relacionado al potencial del sitio. La evaluación determina la condición o el estado de salud del pastizal y tiene como objetivo determinar el potencial de producción de forraje como información previa a la estimación de la capacidad de carga de un sitio para su pastoreo (Florez 2005).

La condición del pastizal se determina mediante censo de vegetación de la composición botánica o florística, las cuales se efectúan utilizando diferentes métodos, tales como el método directo e indirecto. Los investigadores Bedell y Cox (1994) mencionan sobre el estatus de los pastizales como un concepto antiguo. Asimismo, ellos establecen que la definición de condición se puede dar a entender a través de dos términos, condición ecológica y condición productiva del pastizal (Ruyle y Dyess 2010, citado por Cabrejo 2019).

Parker (1951) desarrolló un método para determinar las tendencias de cambio de los pastizales, que consiste de un proceso de tres pasos para interpretar registros de censo de

vegetación y suelo en pastos por especies y cobertura del suelo, el método incluye el resumen de los atributos ecológicos en transectas, basado específicamente sobre las tendencias en la composición y abundancia de especies, además propone un proceso de evaluación para interpretar los datos de campo basado en la comprensión de la dinámica de la comunidad de plantas en el momento de la medición. El puntaje establece la condición del pastizal, se basan en el modelo clímax de éxito máximo de las plantas, que tiene una capacidad limitada para predecir la ocurrencia máxima de los procesos ecológicos.

Este método Parker (1951) establece el uso de transectas marcadas permanentemente en el campo, donde se registran 100 datos según lo que se encuentre en el anillo censador que tiene un bucle de $\frac{3}{4}$ de pulgada de diámetro, que puede ser vegetación, mantillo, roca, pavimento de erosión o suelo desnudo. Las plantas son clasificadas en deseables, poco deseables e indeseables, basados no solo en su valor como forraje para el ganado, sino también de las características ecológicas y cualidades de protección del suelo.

Para fijar un puntaje a la evaluación realizada en el campo, se utiliza la metodología de Parker (1951) modificada por Flórez y Malpartida (1980), desarrollaron una ecuación que involucra a todos los componentes evaluados in situ, así como el rango de puntaje según categoría (Tabla 2). Las especies botánicas encontradas fueron clasificadas taxonómicamente y de acuerdo a su grado de deseabilidad para el ganado en deseables, poco deseables e indeseables (Flores 1999). Para el registro de las transectas se utilizan fichas de 100 registros, luego determinar las especies deseables, poco deseables, índice forrajero, cobertura e índice de vigor expresado en porcentaje.

$$\text{Puntaje (0-100\%)} = 0.5 (D\%) + 0.2 (IF\%) + 0.2 (CV\%) + 0.1 (IV\%)$$

Dónde:

D (%): Porcentaje de especies deseables

IF (%): Porcentaje de especies forrajeras (especies deseables y poco deseables)

CV (%): Porcentaje de cobertura vegetal

IV (%): Porcentaje de índice de vigor las plantas claves

Tabla 2: Carga animal recomendable para diferentes condiciones de pastizales nativos

Condición	Ovinos (0.2 U.A.)	Alpacas (0.3 U.A.)	Vacunos (1.0 U.A.)	Vicuñas (ha/Año)
Excelente	4.00	2.70	1.00	4.44
Bueno	3.00	2.00	0.75	3.33
Regular	1.50	1.00	0.38	1.65
Pobre	0.50	0.33	0.13	0.55
Muy pobre	0.25	0.17	0.07	0.28

Fuente: Programa de Forrajes UNALM 1984.

2.3.2 Composición florística

La composición de la flora de un ecosistema de pastizales, está referida a suma total de las especies que están presentes en una determinada área, las cuales taxonómicamente se agrupan en familias, géneros y especies. La familia con mayor predominancia en el país son las Poaceas, Asteraceas, Fabáceas y Seudogramíneas (Cyperaceas y Juncaceas). Dentro de los géneros más importantes destacan; *Festuca*, *stipa*, *Muhlenbergia*, *Poa*, *Trifolium*, *Vicia*, *Calamagrostis*, *Distichia*, etc. (Florez 2005). Esta vegetación herbácea se caracterizadas por ser una vegetación con poca elevación del suelo. Teniendo en cuenta la abundancia y palatabilidad de las diversas especies de pastos. (Tovar y Oscanoa 2002) consideran 77 especies de importancia, de las cuales 57 son gramíneas y el resto pertenece a otras familias herbáceas, que en su mayoría son especies perennes. La composición y diversidad botánica de los pastizales varía según el gradiente de ubicación topográfica, por factores como: la altitud, topografía, humedad, exposición, latitud, etc.

En términos de riqueza florística, Parra *et al.* (2004) reportan para la micro cuenca andina: Pachachaca –Huancavelica, (3900 – 4200 msnm.), una riqueza florística representada por un total de 179 especies, pertenecen a 121 géneros y 57 familias botánicas en las diferentes formaciones de vegetación de la microcuenca. Las familias con mayor representación fueron: Asteraceae, Poaceae y Fabaceae, con 30, 23 y 10 especies respectivamente, las especies dominantes que ejercen mayor control sobre su estructura fueron la *Stipa ichu*, *Festuca weberbaueri* y *Astragalus garbancillo*. En otro estudio realizado por Niel (1995) sobre el efecto del pastoreo en tiempos distintos de exclusión, la florística fue de 49 especies de plantas incluyendo un helecho, incrementándose la diversidad con especies anuales para pastizales pastoreados.

Un estudio realizado en área de pastizales de la subcuenca del río Shullcas de los andes centrales de Perú entre 3800 y 5200 metros de altitud, en las distintas formaciones vegetales evaluadas en 40 transectos encontraron 22 familias, 52 géneros y 103 especies de pastos naturales, las que tuvieron mayor abundancia fue la familia de las Poaceae que representaron el 36% de las especies, seguido por la familia Asteraceae (24%), Apiaceae (5%), Rosaceae (4%), otras 4 familias con 3%, 5 familias con 2% y el resto con solo 1% del total de especies registradas por Yaranga *et al.* (2018).

La composición florística y la diversidad de especies, así como la densidad de plantas, son características importantes para la descripción cuantitativa de cualquier comunidad vegetal. La diversidad es un término que incluye diferentes interpretaciones, como la diversidad dimensional y estructural, aunque en su versión más simple se utiliza como sinónimo de diversidad de especies. La composición florística es dinámica y cambia según la influencia de muchos factores. Sin embargo, la estructura y diversidad de los pastizales representan una reserva considerable de especies importantes para la conservación biológica, a pesar de estar sometidos a disturbios constantes (Álvarez *et al.* 2017).

2.3.3 Diversidad y abundancia relativa

La diversidad es sinónimo de riqueza de especies que se refiere a la cantidad de especies presentes en un área o región o de un país. La diversidad depende de varios factores como la latitud, la altitud, como la temperatura y precipitación, características fisicoquímicas del suelo y los pastos. La diversidad es un parámetro útil en el estudio de las comunidades ecológicas, consistente en la riqueza o número de especies y la abundancia relativa de las especies. La diversidad alfa representa la diversidad de especies a lo largo de todas las subunidades o escala local relevante, el índice de diversidad se podría calcular a partir de varios modelos matemáticos.

La investigación en la medición de la biodiversidad biológica se centra en encontrar parámetros que caractericen nuevas características de las comunidades ecológicas. Sin embargo, las asociaciones no están aisladas en un entorno neutral. Cada unidad geográfica, en cada paisaje tiene un número diferente de comunidades. Por lo tanto, para comprender los cambios de la biodiversidad con relación a la estructura del paisaje, los componentes α , β y γ (Whittaker 1972) pueden ser útiles para comprender los cambios en la biodiversidad

en relación a su estructura del paisaje para medir y monitorear los efectos de las actividades humanas (Halffter 1998). La diversidad alfa es la riqueza de especies de una comunidad determinada a la que consideramos homogénea, la diversidad beta es el grado de cambio o reemplazo en la composición de especies entre diferentes comunidades en un paisaje, y la diversidad gamma es la riqueza de especies del conjunto de comunidades que integran un paisaje, incluye tanto las diversidades alfa como de las diversidades beta (Whittaker 1972).

La diversidad de especies está determinada por el Índice de Shannon con los datos registrados en el censo de vegetación realizados a través de transectos sistemáticos, teniendo en cuenta la frecuencia de cada especie, es decir en número de veces registrados o que se repite dicha especie a lo largo de la transecta. Calculando la proporción de cada una de las especies con respecto al total, luego tomar el logaritmo neperiano de esa proporción y finalmente se multiplica este logaritmo con la proporción y se suma los valores de cada especie.

Índice de Shanon - Weaver

$$H' = -\sum P_i * \ln P_i$$

Donde:

H' = Índice de Shannon-Wiener

P_i = Abundancia relativa

Ln = Logaritmo natural

Tabla 3: Interpretación de la diversidad

Rango	Significado
0 – 1,36	Diversidad baja
1,36 – 3.5	Diversidad media
> a 3,5	Diversidad alta

Fuente: Aguirre 2013.

El índice de Shannon-Weaver (Shannon 1949), es un índice que no sobreestima ninguna especie, el valor mínimo puede aproximarse al cero, mide la diversidad específica, generalmente de la vegetación natural esto puede variar entre 0,5 y 5, aunque su valor normal está entre 2 y 3; valores inferiores a 2 se consideran bajos en diversidad y superiores a 3 altos en diversidad de especies. La latitud influye en el número de especies, a menor latitud cerca de la línea ecuatorial, el número de especies se incrementa, mientras que en los polos disminuye. A mayor altura aumentan el frío y las heladas, disminuyen las especies,

reduciendo la diversidad, las precipitaciones determinan la disponibilidad de agua, por tanto, en las zonas desérticas y áridas tienen menos diversidad de especies que las zonas bajas y lluviosas.

En pastizales la diversidad es un parámetro que varía en función del estado de conservación del pastizal, el cual está fuertemente influenciado por el pastoreo y otros efectos antrópicos (Bradford *et al.* 1987), en un estudio realizado en Junín, encontraron que la diversidad de especies fue más alta en el sitio con degradación moderada con respecto a sitios menos degradados, sin embargo, es necesario mencionar que una proporción podría ser representada por especies anuales o malezas. La perturbación tiende a favorecer a aquellos organismos con amplias tolerancia ecológica y ciclos de vida más corto, el pastoreo de ganado en realidad aumentara las posibilidades de supervivencia de algunas especies, el pastoreo moderado también puede mejorar la diversidad y el paisaje, en muchos casos genera una distribución más homogénea, mientras que en pastizales con exclusión por el contrario promovió la creación de parches, baja la diversidad por el incremento de gramíneas de estrato mayor (Niel 1995). Cuando el estado de conservación se deteriora, no solo se pueden observar cambio en florística y diversidad también en la productividad del pastizal. Flores *et al.* (2005) en la Provincia de Concepción, Junín, Perú, reportan haber registrado 29 familias, 64 géneros y 100 especies, las Poaceae fue la familia con mayor diversidad específica (25%), seguida por Asteraceae (24%) y Gentianaceae (6%).

2.3.4 Biomasa y producción forrajera

La biomasa se define en la cantidad total del forraje verde o materia viva presente en un momento dado del sitio; la biomasa es una medida de la cantidad de forraje por unidad de área expresado en Kg.MS/ha Sánchez (2004). La productividad primaria del pastizal es el incremento absoluto de la biomasa aérea por unidad de área para un tiempo dado, está influenciada principalmente por la temperatura, precipitación y época del año, es una variable que está influenciada por el manejo, por lo que está relacionada a la capacidad de carga del sitio para su adecuado pastoreo. La biomasa, es la cantidad de materia orgánica producida por las plantas, a partir de sales minerales, dióxido de carbono y agua, utilizando la energía solar, se expresa en términos de energía acumulada en forraje verde o términos de la materia orgánica sintetizada (gramos/m²/día o kg/hectárea/año). La biomasa senescente puede ser útil directamente como materia orgánica (mantillo) que posteriormente se

incorpora al suelo y hace posible el ciclaje de nutrientes y de esta manera contribuye a la sostenibilidad del ecosistema (Flores 1993). Sin embargo, la variabilidad del clima y otras actividades de gestión, como la tala, la quema, incremento de malezas, así como el pastoreo excesivo influyen en la producción de biomasa en los pastizales.

La biomasa de los pastos es un indicador importante de los procesos ecológicos y del manejo de los pastizales, estimación que sólo considera a la porción aérea que está por encima del suelo y comúnmente disponible para los herbívoros más grandes, su evaluación es determinada por el método de cuadrante, de corte total de la biomasa y separación manual de plantas senescentes, una forma más empleados para determinar este atributo (Holecheck 1989, Flores *et al.* 2005).

Zapana y Cutisaca (2016), en un estudio realizado sobre evaluación de biomasa en pastizales de Puno, reportan sobre la disponibilidad de materia seca de *Stipa mucronata* en áreas definidas zona planicie de vegetación, compara la estimación visual y la disponibilidad real en materia seca, con valores de $1716.15 + 486 \text{ Kg. MS. ha}^{-1}$. y la disponibilidad real fue de $1826.39 + 276.16 \text{ Kg.MS./ha}^{-1}$ en rangos que va de 1560.15 a 1960.36 kg.MS.ha^{-1} existiendo alta correlación entre la evaluación visual y real. En otro estudio realizado en Puno por Farfán (2012), reporta producción en biomasa para tres condiciones de pastizales, excelente, regular y pobre con 1825, 1000 y 500 kg.MS./ha^{-1} . Respectivamente, la "Clase Económica de Cancha" está determinado por la calidad del pastizal, calidad del suelo y pendiente del terreno, también éstas interacción podría reflejarse en el estado y dinámica de banco de semillas en el suelo. Quispe (2017) reporta valores encontrado en Lomo largo Jauja La producción primaria media en Pajonal dominado por *festuca dolichophylla* fue de 23 175 kg/ha/año y en Pajonal de dominada por *Stipa ichu* tuvo valor de 20 822 kg/ha/año .

Sin embargo, García (2018) reportó para la localidad de Marcapomacocha Junín, efectos positivos en la productividad de pastizales poco saludable en proceso de degradación, aplicando fertilizantes sintéticos de nitrógeno y fósforo altamente disponibles en forma de urea y fosfato diamónico, encontrando buena contribución en la productividad del pastizal, en áreas revegetadas con *Festuca Humillior* alcanzando 59.8% de incremento con respecto al control. De otro lado Tácuna y Flores (2016) indican uso de estrategias en recuperación de pajonales degradados en la Cordillera Blanca de Perú, con esquejes de dos gramíneas nativas claves (*Festuca humilior* y *Calamagrostis macrophylla*) y la adición de materia

orgánica en forma de orina y estiércol de ovino, reporta haber alcanzado 51% y 45% de sobrevivencia de esquejes en el proceso de recuperación del pajonal y la especie que mostró mejor establecimiento fue la *Festuca humilior*.

En otro estudio realizado por Azaña (2017), sobre el efecto de clausura en la recuperación de pastizales en el Parque Nacional de Huaraz, reporta el incremento de producción de materia seca en 139.27%, de 418.67 kg/Ha⁻¹ a 905.27 Kg/ha⁻¹ en un año de clausura, mientras en la parcela sin clausura su rendimiento de materia seca se mantuvo en 372.61 kg/ha⁻¹, el efecto de la recuperación de pastizales degradados fue significativo.

Los pastizales de condición bueno con alta biomasa y mantillo mejoran la tasa de infiltración, pero si la intensidad de pastoreo se incrementa, la tasa de infiltración disminuye. Los animales herbívoros en pastoreo reducen el estrato vertical de la vegetación y la estabilidad de agregados de varias formas (Blackburn *et al.* 1986):

- Disminuyendo la cobertura vegetal a la vez reduce la interceptación del agua y en consecuencia, la lluvia golpea el suelo rompiendo las uniones entre agregados.
- Una disminución en la biomasa por encima del suelo (pastizales en pie y el mantillo) se traduce en menos materia orgánica que con el tiempo se incorporan al suelo, factor importante en la formación de estabilidad de agregados.
- Una disminución de la biomasa aérea finalmente se refleja en una disminución de la biomasa de las raíces por la relación que existe entre compartimientos de la vegetación.
- La disminución de la biomasa por perturbaciones permanentes más allá de su tolerancia conduce a la desertificación de los ecosistemas de pastizales.

2.3.5 Mantillo

El mantillo, hojarasca o (mulch) es material vegetal senescente o muerto que está en contacto con la superficie del suelo, constituye la fuente principal de materia orgánica que se incorpora al suelo para el ciclaje de nutrientes (Whitford 1995). El mantillo también contribuye en la provisión de materia orgánica a los microorganismos (micro y macrofauna) (Hester *et al.* 1997). El estado y cantidad de movimiento del mantillo es un indicador del grado de erosión por agua y/o aire existente en el sitio. Al respecto, Pierson *et al.* (2007) demostraron que la recuperación hidrológica estuvo altamente correlacionada con la

dinámica del mantillo. La cantidad de mantillo en el suelo también ayuda a que el suelo tenga cierta resistencia a la erosión, asimismo disipa la energía de las gotas de lluvia y el escurrimiento, por lo que reduce el potencial de transporte del suelo (Hester *et al.* 1997), mostrando una significativa obstrucción para el escurrimiento del agua (Thurow *et al.* 1988). El mantillo mantiene la humedad y la temperatura del suelo, reduciendo la pérdida de agua por evaporación, lo que contribuye al microclima del suelo.

2.3.6 Banco de semillas

La existencia e importancia del banco de semillas en el suelo han sido reconocidas desde el tiempo de Darwin (1859). Sin embargo, el banco de semillas del suelo ha recibido mayor atención a estudios intensivos a fines del siglo veinte. Dentro de las dos últimas décadas (Simpson *et al.* 1989).

En los últimos años el término de banco de semillas ha sido ampliamente utilizado en la investigación y se define como la reserva natural de semillas viables presente en la superficie y dentro del suelo (Roberts 1981), así como la colección de semillas viables y latentes en un área definida de suelo. En general, un banco de semillas se refiere a todas las semillas viables que se encuentran dentro del suelo o en capa superficial del suelo (Simpson, *et al.* 1989).

Tipos de bancos de semillas en el suelo. Diferentes autores proponen clasificar a los bancos de semillas del suelo (BSS) teniendo en cuenta características tales como la viabilidad y la longevidad, que hacen a la persistencia de los bancos del suelo. Así, Thompson y Grime (1979) clasifican a los BSS de acuerdo a la viabilidad de las semillas en las siguientes categorías:

Transitorio: bancos con semillas cuyas especies persisten en el suelo menos de un año, normalmente algunos meses, su persistencia es de corto plazo: bancos con semillas de especies que persisten en el suelo por más de un año. Persistentes a largo plazo: bancos con semillas de especies que persisten en el suelo aproximadamente 5 años. Este tipo semilla, originalmente denominado “permanentes” por Bakker (1989), es la semilla más propicia para la regeneración de comunidades vegetales degradadas por disturbios. La mayoría de las semillas se mueven sólo a distancias cortas desde la planta madre durante la dispersión primaria de semillas, especialmente las más pesadas son poco afectadas por el viento, por

ejemplo, las semillas de algunos arbustos en el Monte: *Condalia microphyla* y *Larrea spp.* Y otros árboles presentan un diámetro de 5 a 11 mm según (Marone *et al.* 1998).

La densidad del banco de semillas que persisten por largo tiempo posee mayor cantidad de semillas en la capa superior con respecto a la capa inferior del suelo. Éstas, pueden persistir en el suelo por más de 5 años dependiendo de las especies y son determinantes en la regeneración de las comunidades vegetales después de una perturbación extrema, éstos son muy valorados en la restauración ecológica (Baker 1996). Una población de semillas en el suelo es comúnmente llamado banco de semillas o “pool” de semillas; estos pasan a formar plántulas bajo condiciones ambientales favorables en el tamiz del suelo, no todas las semillas germinan, otras mueren o siguen en estado de latencia (Márquez 2002).

Una vez dispersadas las semillas pueden germinar inmediatamente, o bien puede permanecer en el suelo formando un banco de semillas por mayor tiempo, estos constituyen al potencial regenerativo de los ecosistemas, la reposición de las especies a partir del banco de semillas del suelo puede tener un efecto marcado en la composición y en los patrones de regeneración de la comunidades, la existencia de diferentes tipos de bancos de semillas nos permite tener un criterio amplio sobre algunos mecanismos que presentan las comunidades para coexistir a lo largo del tiempo (Gómez y White 2009). Las alteraciones del suelo también pueden generar a tomar cambios de estrategia por algunas especies, ocasionando cambios en la acumulación de banco de semillas bajo diferentes condiciones microambientales y en diferentes estados de condición y características físicas del suelo.

El banco de semillas del suelo no es estático y tiene una actividad dinámica propia. Las semillas pueden ingresar al suelo, germinan o perder viabilidad por envejecimiento o puede ser atacadas por hongos, bacterias o ser depredadas por otros organismos. Las semillas también pueden permanecer latentes por mucho tiempo formando parte del banco de semillas del suelo (Gómez y White 2009).

Un componente importante que afecta la dinámica de la comunidad vegetal es el banco de semillas del suelo (BSS) definido como el conjunto de semillas viables presentes en y sobre el suelo o asociadas con la hojarasca en un momento dado (Simpson *et al.* 1989). En relación a ello se puede concluir que (BSS) es un componente importante de la dinámica vegetal y la estrategia de sobrevivencia de las especies a lo largo del tiempo. La formación de nuevos

individuos depende, no sólo de la disponibilidad de micrositios que permitan la emergencia y posterior supervivencia de las plantas, sino también de la disponibilidad de semillas, la cual a su vez depende de su producción y posterior propagación.

Entre los atributos de identificación del (BSS) incluyen la densidad (número de semillas por metro cuadrado), la composición (a nivel taxonómico, longevidad, forma de vida) y riqueza de especies (Thompson 2000).

Los datos del banco de semillas pueden proporcionar información sobre tres características de la nueva vegetación: (1) su composición de especies, (2) la abundancia relativa de las especies y (3) la distribución potencial de cada especie (Weliing *et al.* 1988). La dispersión alrededor de las plantas que lograron producir semillas se dispersa en una distribución especial en la superficie del suelo. En este sentido, el número total de semillas que caen en un área determinada dependen de varios factores, tal como: la formación de semillas sin disturbio, la madurez fisiológica, la distancia y la distribución de la fuente de semillas, de los agentes de dispersión y la capacidad de dispersarse de las semillas por el agua y el viento (Harper 1977).

Cárdenas *et al.* (2002) en la evaluación de BS en la comunidad de paramo húmedo del parque nacional de Colombia reporta resultados en densidad de semilla a dos profundidades de 0-5 cm y 5-10 cm para el área transformadas por pastoreo a condición pobre la cantidad de 39.138 y 17.442 para ambas profundidades, En todas las zonas muestreados, alrededor del 70 % de las semillas se localizan en los primeros 5 cm de suelo. Romero *et al.* (2016), reportan de la evaluación de BS en áreas disturbadas de bosque, plantaciones y pastizales en Colombia, reporta para pastizales la cantidad de 107.747 semillas/m². Las densidades medias de los bancos de semillas fueron bastante similares en los dos tipos de pastizales bueno y regular 22.800 y 20.200 semillas/m², respectivamente (Tóth y Huse 2013)

2.4 Indicadores del estado del suelo

El suelo y la vegetación mantienen relaciones recíprocas. Un suelo fértil favorece el crecimiento de las plantas al proporcionarles nutrientes y servirles de reservorio y retención de agua y de soporte para sus raíces (Bovarnick *et al.* 2010). La vegetación previene la degradación y desertificación de los suelos al estabilizar al suelo a través de sus raíces,

mantener los ciclos del agua y los nutrientes, y reducir la erosión hídrica y eólica. Las propiedades del suelo están interrelacionadas entre sí, por ejemplo, las condiciones para el anclaje de las raíces y el establecimiento de las plantas, tienen relación con el espacio poroso, y éste a su vez determina otras propiedades como el drenaje y la aireación, de esta manera, la degradación de una de la propiedad del suelo puede afectar a otras, y esto afecta el rendimiento de los pastos (López y Estrada 2015).

Las partículas estructurales del suelo, como arena, limo y arcilla se combinan para formar agregados y a unidades de mayor tamaño de gránulos o peds. La estructura del suelo compactado afecta directamente relacionados a la aireación, el movimiento del agua en el suelo, la conductividad térmica, el crecimiento de las raíces y la resistencia a la erosión (Oñate 2005), La textura es una propiedad importante ya que influye como factor de fertilidad y en la habilidad de retener agua, aireación, drenaje, contenido de materia orgánica y otras propiedades (Gijsman y Thomas 1996). La funcionalidad de sus propiedades del suelo, así como los parámetros relacionados a la densidad aparente, humedad, infiltración y temperatura que se relacionan positiva o negativa.

2.4.1 Propiedades físicas

López y Estrada (2015) definieron las propiedades físicas del suelo como aquellas propiedades que pueden observarse y/o medirse sin alterar químicamente la composición del suelo y están relacionadas con el movimiento del aire, el calor, el agua, las raíces y nutrimentos.

2.4.1.1 Textura

La textura representa la cantidad relativa de partículas de diferentes tamaños, (como la arena, el limo y arcilla), en el suelo. La textura está relacionada con la facilidad con que se puede trabajar el suelo, la cantidad de agua y aire que contiene, la velocidad con que el agua penetra en el suelo, lo que depende del tamaño de las partículas relacionado con su textura. La estructura del suelo afecta directamente la aireación, el movimiento del agua en el suelo, la conductividad térmica, el crecimiento de las raíces y la resistencia a la erosión. El agua es el componente elemental que afecta la estructura del suelo con mayor importancia debido a que solubiliza y precipita minerales y sus efectos se expresan en el crecimiento de las plantas.

Zavaleta (1992) explica que la textura del suelo está determinada por la cantidad de partículas minerales inorgánicas presentes en él (medidas como porcentajes en peso) de diferentes tamaños (arena, limo y arcilla). La proporción y magnitud de muchas reacciones físicas, químicas y biológicas en el suelo están controlados por la textura, debido al tamaño de la superficie sobre la cual ocurren las reacciones, así como la plasticidad, la permeabilidad, la facilidad para trabajar la tierra, la sequedad, la fertilidad y la productividad que varían dependiendo de la región geográfica.

2.4.1.2 Densidad aparente

La densidad aparente es una propiedad del suelo ampliamente utilizada en la agricultura debido a su estrecha relación con otras propiedades del suelo, la densidad es una característica que considerablemente influye sobre la productividad de los pastizales. La densidad aparente definida como la masa de suelo por unidad de volumen expresada en (g./cm^3 o t./m^3), varía con la textura del suelo y el contenido de materia orgánica, puede variar estacionalmente por efecto de la precipitación con la humedad del suelo, así como por el grado de compactación, la densidad aparente tiene relación con la infiltración del agua al suelo y la escorrentía. La infiltración hace referencia a la tasa de ingreso del agua al suelo y se mueva hacia la profundidad del mismo. La variación de la densidad aparente en los suelos es alta en cuanto a la profundidad, los valores bajos de densidad aparente en Andisoles se relacionan con el origen del material parental y en el caso de los Vertisoles con la densidad de partículas de la fracción rica en esmectita.

El pastoreo intensivo tiene un efecto pronunciado sobre la densidad aparente del suelo Yalli y Flores (2016), indican que la densidad del suelo en el área pastoreada por vacunos fue de (0.88 g/cc) este valor fue mayor que la densidad hallada en las áreas pastoreadas por llamas (0.86 g/cc) para ambos sitios ecológicos. La densidad aparente en sitios del pastizal en condición regular (0.84 g/cc) siendo menor que en sitios de pastizal en condición pobre (0.90g/cc). Mayta, (2019) reporta valores de densidad aparente de suelos de pastizales de Puno (1.174 g/cm^3) y con mayor valor de (1.394 g/cm^3) para suelos con vegetación pinos.

Tabla 4: Valores de densidad aparente (g/cm³), clasificación por compactación

Valores de densidad aparente (g/cm ³)	Clasificación por compactación
Menores a 1.3	Suelos sueltos
Igual a 1.3	Suelos medios
Mayores a 1.3	Suelos compactos

Fuente: Lipiec y Hatano 2003.

2.4.1.3 Temperatura

El calor en el suelo pasa de la capa más caliente a la capa más fría, por conducción molecular, tiene un impacto directo sobre el crecimiento y desarrollo de los pastizales. La temperatura del suelo es un fuerte predictor de la respiración intraestacional de los pastizales y la correlación positiva con la biomasa de raíces y la productividad primaria neta. “Las variaciones de temperatura del suelo entre el día y la noche, variaciones por estación del año son rápidamente amortiguadas por la profundidad donde actúan como un amortiguador contra la variación atmosférica (Ibañez 2008). La temperatura del suelo está sometidas a cambios tanto estacionales como diurnos, estas dinámicas conforman el perfil térmico de la tierra. La temperatura del suelo, puede ser un factor limitante para la germinación de las semillas almacenadas y su conservación por mayor tiempo, desarrollo y crecimiento de las raíces, así como el ritmo de degradación de la materia orgánica. Por tanto, la actividad microbiana desciende a bajas temperaturas.

Durante el desarrollo de las plantas, los cambios en la temperatura del suelo afectan el crecimiento de las raíces, la formación de tallos y hojas. Respecto a la zona radical (órgano subterráneo), la función de la raíz se ve más susceptible a la incapacidad de regular la temperatura en comparación con los órganos aéreos, procesos que se ven influenciadas por la temperatura del suelo menciona (Rehm 1986). Por tanto, las funciones principales de las raíces, como son la absorción de agua y nutrientes son más importantes. Esta capacidad disminuye en los meses más fríos cuando la temperatura del suelo menores a 15°C, esta capacidad se reduce, aunque esta reducción no se debe a cambios en la viscosidad del agua con respecto a la temperatura, si no a cambios en los tejidos que forman la raíz agrega (Tejera 2006). Por lo tanto, cuando la temperatura del suelo aumenta a 25 a 30 °C el desarrollo de las raíces general aumenta, mientras que las raíces se debilitan a temperaturas entre 8 – 15 °C indica (Ibañez 2008).

Las variables del microclima son: la radiación solar, la temperatura del suelo, la temperatura del aire, la lluvia, la humedad del aire, la humedad del viento y la humedad del suelo estas variables pueden ser modificadas por la cubierta vegetal, creando un microclima diferente al existente fuera de ésta. En este sentido la vegetación forestal favorece a las variables microclimáticas debido a cambios en la cobertura vegetal, estas modificaciones en cobertura afectan el índice de área foliar (AI).

Existen varios factores que afectan a la radiación solar que recibe la superficie terrestre y por tanto influyen en la temperatura del suelo:

- El albedo, o fracción de la radiación incidente que es reflejada por una superficie. Cuanto más oscura es la superficie, menor es el valor del albedo en suelos con alto contenido de materia orgánica.
- La exposición solar, ya que el ángulo con el que los rayos del sol inciden sobre la superficie determina el flujo de radiación. El ángulo de incidencia depende de la latitud, la declinación del sol, la hora del día, la pendiente y la dirección de la misma.
- La precipitación afecta significativamente la temperatura del suelo. La llegada de precipitación en verano generalmente enfría el suelo, mientras que en primavera lo calientan.
- Una cobertura del suelo ya sea con nieve o vegetación afectan a la cantidad de radiación recibida por el suelo. Los suelos desnudos se calientan y enfrían en poco tiempo. La penetración del hielo en invierno es mayor en suelo desnudo.
- Las superficies más oscuras absorben más luz solar y la Tierra no es una excepción. Por tanto, cuanto más oscura es el color, más rápido se calienta. El suelo húmedo conduce mejor el calor.

Pantano *et al.* (2014) señalaron que los estudios de humedad del suelo, se deben considerar un sistema integrado conformado por la atmósfera, el suelo y su vegetación (pradera natural o de cultivos). El subsistema del suelo muestra su complejidad en los diversos factores que los caracterizan Ratto (1999). En primer lugar, la distribución del agua en él no es homogénea debido a las diferencias de velocidad de infiltración; el crecimiento desparejo de las plantas y la distribución de las raíces; las variaciones en la estructura del suelo, contenido de materia orgánica y textura de los distintos horizontes; entre otros influyen en el

crecimiento de las plantas (Matiz-León 2019). La estimación de la distribución de calor en superficie y a profundidades someras (20 cm, 100 cm y 150 cm) realizado por medio de los sondeos superficiales de temperatura (SST) para el área geotérmica del volcán Azufral Colombia, registra variación de temperatura en función a la profundidad del suelo una variación negativa tanto para los sensores superficiales (entre los 6°C y 8°C) como para los sensores en profundidad (entre los 8°C y 10°C). Otra zona que denota una variación muy marcada se ubica sobre la cuenca de tracción de la falla Guachucal, que, siendo una variación positiva, alcanza temperaturas entre los 14°C y 16°C en (SST), con un aumento hasta los 17°C a una profundidad de 150 cm.

La conductividad térmica del suelo es un parámetro fundamental por la transferencia de calor, que está influenciada por la humedad, tipo de suelo, materia orgánica, desechos sólidos, estos influyen en los sistemas de transmisión subterráneos de temperatura. Debido a la naturaleza heterogénea y polifásica del suelo, se trata de una propiedad compleja con poca información general de las propiedades térmicas de los suelos. Sánchez *et al.* (2018) reportan valores que obtuvo una conductividad térmica media de 0.748 Wm⁻¹°C⁻¹ a una temperatura promedio de 21.14 °C para suelos arcillosos a una profundidad de 4 metros.

Matiz-León *et al.* (2019) generaron modelos de temperatura a partir de sondeos superficiales de temperatura (SST) y sensores remotos (SR), con imágenes Landsat 8 TIRS para el área geotérmica de Paipa. El rango de temperaturas a 20 cm de profundidad fluctúa entre los 17,04°C y 19,14°C. A 150 cm de profundidad, los valores de temperatura oscilan entre 16,81°C a 19,66°C. Con mayor estabilidad térmica. La normalización de los valores de temperatura en profundidad (20 cm y 150 cm) en función de la temperatura superficial, elimina el efecto de la radiación solar y permite comparar las temperaturas calculadas con SR tanto en superficie como en profundidad.

2.4.2 Funciones hidrológicas

La cobertura vegetal y la estructura del suelo, son los factores más importantes. El tipo de vegetación, la biomasa y la hojarasca son los factores claves que afectan la función hidrológica de los pastizales, por lo que se deben seguir principios ecológicos en el manejo.

2.4.2.1 Humedad

La humedad del suelo es la cantidad de agua por volumen del suelo de una parcela de terreno. El contenido de humedad del suelo es un valor numérico que determina la cantidad de agua en cantidad conocida de suelo. Puede expresarse como porcentaje, peso o volumen de agua, o pulgadas de agua por pie de suelo. Sin agua ninguno de los procesos físicos en la atmósfera y el medio ambiente podría ocurrir. La humedad óptima del suelo es fundamental para la producción primaria por lo que las plantas no crecen ni se desarrollan si la humedad del suelo es insuficiente tanto para el flujo de nutrientes y funciones básicas en plantas, por lo tanto, las plantas no crecerán y no se desarrollarán con una humedad del suelo insuficiente. El agua subterránea es tan importante para los ecosistemas terrestres:

- a.- Nutrición de plantas.
- b.- Formación del suelo.
- c.- Evapotranspiración.
- d.- El agua del suelo junto a los nutrientes forman la solución del suelo.
- e.- El agua controla en un alto grado dos factores importantes para el desarrollo de las plantas: el aire y la temperatura del suelo.

La estructura del suelo le permite actuar como un soporte físico a las plantas, proporcionando agua, aire y nutrientes a las raíces. Los suelos contienen diferente cantidad de agua según su textura y estructura. La variabilidad espacial de la humedad está relacionada a una combinación de varios factores tales como las variaciones en las propiedades del suelo, la topografía, tipo y densidad de la cubierta vegetal, o la propia heterogeneidad espacial de las condiciones meteorológicas (Merz y Plate 1997, Famiglietti *et al.* 1998).

La configuración o variaciones en la pendiente, orientación, curvatura, elevación relativa y área vertiente afectan a la distribución de la humedad en la superficie del suelo. Hills y Reynolds (1969), Moore *et al.* (1988) y Nyberg (1996) señalan que la pendiente del terreno influye en el contenido de agua en el suelo, y que zonas con pendientes muy pronunciadas tienden a presentar un menor contenido de humedad que las áreas más llanas, puesto que la inclinación de la pendiente afecta a la infiltración, drenaje y escorrentía. El papel que juega la orientación es también muy importante (Reid 1973). La orientación determina la radiación solar que incide sobre el terreno para la evapotranspiración, la demanda de agua. La curvatura del suelo es un indicador de la concavidad o convexidad del terreno que determina

la convergencia o acumulación de flujos de agua en algunas zonas e influye en la distribución del contenido de humedad. (Moore *et al.* 1988).

Yalli y Flores (2016) indican que el contenido de humedad del suelo hallado en el área pastoreada por llamas (29%) fue mayor comparada con aquellas pastoreadas por vacunos (26%). El contenido de humedad hallado en sitios del pastizal en condición regular (30%) fue mayor que en sitios de pastizal en condición pobre (25%); valores de humedad que difieren probablemente por la pérdida de porosidad del suelo por efecto de la compactación, encontrándose con la mayor densidad el suelo que se traduce en una menor capacidad de infiltración del agua.

Yaguache (2022) reporta, al evaluación de la humedad del suelo en cuatro ambientes de bosques, pastizal, plantación de pino y suelo con cultivo, los resultados demuestra que las franjas superficiales de 0 a 5 cm y de 5 a 30 cm presentan la menor humedad volumétrica y con mayor variabilidad de todo el perfil del suelo, con promedios anuales de 6.7 y 7.2 %, respectivamente, y por ende las de menor almacenamiento de agua, mientras que las franjas más profundas de 30 a 50 cm, de 50 a 80 cm y de 80 – 100 cm son las que más humedad registraron con 8.8, 12.3 y 12.9 %, respectivamente, El suelo con cobertura boscosa típica de cerrado nativo de la mata atlántica presenta la mayor tasa de humedad media anual de 11.7 % en un perfil de 0 – 100 cm, estos valores van disminuyendo conforme cambia la cobertura y uso de suelo:

a) Propiedades del suelo. La heterogeneidad de las propiedades del suelo afecta a la distribución del contenido de humedad mediante las variaciones en la textura, materia orgánica y estructura, densidad aparente, cobertura vegetal son a la vez que los que controlan el movimiento del flujo de agua en el perfil edáfico. De acuerdo con los autores (Reynolds 1970 y Henninger et al. 1976) la textura es uno de los factores que mayor control ejerce sobre la humedad del suelo. Esta influencia varía con el contenido de humedad y la estación del año conforme aumenta la humedad del suelo (Grayson 2000, Western 1998).

b) Vegetación. El porcentaje de cubierta vegetal es uno de los factores que más influye en el contenido de humedad del suelo (Lull y Reinhart 1955, Reynolds 1970b, Francis *et al.*, 1986). La vegetación condiciona el contenido de humedad a través de los patrones de intercepción impuestos por la cubierta vegetal, del efecto del sombreado sobre los procesos

de evaporación, de la extracción de agua necesaria para mantener su actividad fisiológica (transpiración) y, de forma indirecta, modificando las propiedades del suelo que, como la estructura, influyen en su capacidad de infiltración y almacenamiento de agua. El grado de influencia de los factores mencionados varía con el tipo de vegetación, densidad y época del año (Famiglietti *et al.* 1998).

2.4.2.2 Tasas de infiltración

La infiltración está definida como el proceso de ingreso vertical del agua en el suelo en condiciones no saturadas, debiéndose diferenciar de la percolación en medio de poros saturado, al ser la infiltración una fuente importante de aporte de humedad al suelo para mantener el crecimiento de la vegetación; cualquier obstáculo que impida el flujo del agua a través del perfil del suelo la afecta la infiltración (Schwab *et al.* 1990).

La vegetación modifica la infiltración de varias maneras: puede interceptar parcialmente el agua de lluvia y, junto con el posterior escurrimiento desde el dosel vegetal, modificar la intensidad (Rutter *et al.* 1972, Aston 1979) y el diámetro de gota (Calder 1996) del agua que cae al suelo. La abundancia, la riqueza de especies y la diversidad de la vegetación se asociaron positivamente con la capacidad de infiltración (Garate *et al.* 2022).

La penetración del agua en el suelo ocurre gradualmente desde la superficie y tiene una dirección vertical hacia abajo. El agua puede entrar a través de toda la superficie en forma uniforme, cuando un suelo está inundado o si se produce una alta precipitación destaca (Gurovich 1999). Cuando las tasas de infiltración son limitadas conducen a una escorrentía superficial y con ello ocurre la erosión hídrica resultante, hecho que puede afectar la saturación de agua de todo el sistema y la zona de las raíces.

El proceso de infiltración de agua en el suelo, en respuesta temporal a los distintos sistemas de gestión y una precipitación variable, tiene una etiología compleja y predicciones teórico incierto (Aragón *et al.* 1997), por lo que emerge la importancia de su determinación empírica en campo. Horn *et al.* (1994) manifiestan que la conductividad hidráulica no solo depende del volumen de poros sino además de la continuidad de conducción, lo que implica relaciones texturales, estructurales y biológicas; por otra parte, la estabilidad estructural del

suelo se vincula a cambios por efecto de la alternancia de los procesos de humectación, desecación (Silenzi *et al.* 1994), siendo la capa superficial la más afectada.

Soza *et al.* (2017) en un estudio realizado en la dinámica de la infiltración de agua por precipitación de un pastizal natural con cobertura vegetal total, (CT) media cobertura (MC) y sin cobertura (SC), reportan resultados en cuanto a la velocidad de ingreso del agua en el perfil expresado en porcentaje (CT 97,4; MC 95,6; SC 87,6 %) observa un mayor valor con velocidad inicial de infiltración variable luego se hace uniforme en CT, mientras en MC se observa una menor velocidad inicial de infiltración y menos variable con respecto a CT, en SC la velocidad inicial fue la más lenta con respecto a los otros tratamientos de ella desprende que ante la presencia de menor cobertura disminuyen la velocidad inicial de infiltración, revelando que la presencia de cobertura permitió una mayor velocidad de infiltración, similar resultado se obtuvo referente a la infiltración acumulada, apreciándose que la mayor cobertura vegetal permitiría una mayor acumulación de agua en el perfil del suelo ante la ocurrencia de la precipitación o ante la aplicación de riego.

Yañes (2017) caracteriza la infiltración en tres formas del suelo, bosque natural intervenido, pastizal parcialmente compactado por sobrepastoreo (condición regular) y cultivo de papa, utilizando el cilindro infiltrómetro individual de anillo simple, se evidencia que, el mayor valor promedio de infiltración, según los usos de suelo, se dio en el pastizal parcialmente compactado por sobrepastoreo con un valor de 0.37 cm/seg 0.5, seguido del bosque intervenido con 0.33 cm/seg 0.5 y finalmente el cultivo de papas en andenes agrícolas que registró 0.28 cm/seg 0.5. Es importante, indicar que, de acuerdo a la desviación estándar, los valores obtenidos para el uso de suelo bosque intervenido presenta mayor dispersión frente a su valor promedio.

Hewlett (1982) afirma que, en suelos compactados y cultivados, se presentan niveles bajos de infiltración, mientras que esto no ocurre en suelos forestales. No obstante, cuando el suelo forestal es alterado por actividades agropecuarias se presentan problemas en la infiltración, ya que el efecto directo generado por su tala se refleja en la pérdida de cobertura y por ende la capacidad de retención de agua en el suelo. (la porosidad, la infiltración y almacenamiento de agua). Yalli y Flores (2016) en un estudio realizado con carga animal pesada con llamas y vacunos reportaron una mejor respuesta en términos de tasa terminal de infiltración, para el tratamiento de pastoreo diferido con llamas (PS, 0.14 y PH, 0.18 cm/min) en comparación

con los vacunos (PS, 0.06 y PH, 0.17cm/min), las llamas compactaron y afectaron menos la función hidrológica del suelo que los vacunos, tanto en el pajonal seco, como en el húmedo.

Tacuna (2022) indica la función hidrológica está influenciada por los niveles de cobertura vegetal, acumulación de biomasa y de mantillo sobre la superficie del pastizal, encontrando valores para pastoreo, la tasa de infiltración para los años 2011, 2012 y 2013 fueron $6.4 + 0.8$, $7.9 + 1.0$ y $8.1 + 1.0$ cm/hora, respectivamente. En pastizales en descanso, la tasa de infiltración encontrada para el año 2011 fue de $9.9 + 1.1$ cm/hora y esta incrementó progresivamente en los siguientes años 2012 ($12.9 + 1.3$ cm/hora) y 2013 ($14.1 + 1.0$ cm/hora) con tendencia de incrementar según transcurre los años, debido a la acumulación de biomasa y mantillo lo que permitió elevar los niveles de infiltración y mejorar la humedad del suelo. Trabajo realizado en la Cordillera Blanca de la Región Ancash:

a) Factores en función hidrológica del suelo. Los factores principales es la cobertura vegetal y la estructura del suelo, los tipos de vegetación, la biomasa y mantillo son factores claves que influyen en la función hidrológica del pastizal, por lo se requiere manejarlos aplicando los principios ecológicos. Los suelos influyen por sus factores físicos de su textura y estructura al que se difieren con respecto a suelos arenosos, y arcillosos. La comprensión de cómo los factores de vegetación y del suelo afectan a la cantidad y calidad del agua, y como las actividades humanas, el pastoreo, la quema, altera estos factores siendo esencial conocer para desarrollar estrategias de pastoreo destinadas a la producción sostenible mediante la conservación de los recursos agua y suelo.

b) Vegetación en la infiltración del agua. El aspecto importante para el desarrollo de los sistemas de gestión más efectivos, es comprender qué tipos de vegetación son más eficaces en la infiltración de agua de un sitio y cómo proporcionan señales de alerta temprana en la degradación de los pastizales (Blackburn et al. 1986). Es así, las tasas de infiltración varían estacionalmente y están sometidos a la variación en la dinámica de crecimiento del pastizal (Thurow *et al.* 1988). Otro factor clave e importante por su efecto sobre la tasa de infiltración es la cantidad de mantillo, la hojarasca caída que acumula en mantillo que a su vez conduce a un aumento de la materia orgánica del suelo, favoreciendo la actividad de los microorganismos para mejorar la formación de los agregados para mejor estabilidad de suelo, que ayudan a infiltrar el agua (Thurow *et al.* 1988).

La cobertura vegetal en pasturas altamente productivas con una cobertura densa, los sistemas radiculares abundantes actúan como amortiguadores, disminuyendo el efecto compactador por pisoteos de los animales (Vicente *et al.* 1974, Mares 1984). El incremento de la densidad aparente del suelo disminuye los niveles de tasa de infiltración de agua en el suelo e incrementa la escorrentía superficial. Sin embargo, la compactación se manifiesta como un incremento en la densidad aparente del suelo con una reducción en la porosidad, la permeabilidad, la aireación y la actividad de los microorganismos del suelo, aspecto que puede estar influenciado por la cobertura vegetal.

Los tipos de vegetación y estructura influyen en la infiltración, por lo tanto, la tasa de infiltración observada se diferencia entre los tipos de vegetación pueden influenciar sobre la tasa de infiltración, en los árboles por lo general es más alto, siguiendo en orden decreciente como el pajonal, pastos cortos y suelo desnudo, observados por (Blackburn 197, Thurow *et al.* 1986). La tasa de infiltración en el bosque de roble es más alta que el pajonal y la vegetación césped, sugiriendo que el tipo de vegetación y la cobertura vegetal están estrechamente relacionados entre sí para afectar la hidrología de pastizales.

En áreas pastoreadas por llamas encontró tasas promedio de 0.16 cm/min, comparados con aquellas pastoreados por vacunos 0.12cm/min. Los resultados demostraron que si bien no hubo diferencias significativas ($p > 0.05$) entre las tasas de infiltración; los sitios de pastizales de condición pobre y regular, pastoreados por llamas (Hallett *et al.* 2001). Los sitios de condición pobre pastoreados con llamas mostraron tasas mayores (0.14cm/min) y en los sitios regulares se mantiene la tendencia (0.18cm/min). Mientras que en los sitios pobres pastoreados con vacunos se obtienen tasas de infiltración de (0.06cm/min) y en el sitio regular de (0.17cm/min) Un factor clave e importante por su efecto sobre la tasa de infiltración fue la cantidad de mantillo que fue superior en los sitios de pastizales pastoreados con llama. Igualmente, Wei *et al.* (2006) contrastado estos resultados después del pastoreo diferido, revelaron bajas tasas de infiltración en sitios de los pastizales de condición pobre; siendo superiores en sitios de pastizales de condición regular, sugiriendo que las variaciones de estas tasas de infiltración están influenciadas por los niveles superiores de biomasa y mantillo en los sitios de los pastizales estudiados.

Moreno (2011) en Papallacta, Pichincha Ecuador reporta variaciones de la tasa de infiltración en relación a diferentes tipos de vegetación (*Polylepis* y arbustivas chaparros y

pajonales) y contenido de Materia orgánica siguiendo un gradiente de alteraciones antropogénicas. Los resultados encontrados indican la vegetación tiene influencia en la capacidad de infiltración, los parches de chaparros y *Polylepis*, presentan una alta tasa de infiltración; los parches dominados por pajonal, poseen una tasa de infiltración menor, similar a las tasas de infiltración presentadas en las áreas con alteraciones antrópicas de chaparros, los mayores valores de materia orgánica están asociados a una mayor tasa de infiltración, los suelos menos densos poseen una capacidad de infiltración más alta que los suelos más densos. En los parches de vegetación alterada la tasa de infiltración es cuatro veces menor que en los parches de vegetación en buen estado de conservación, mostrando una relación fuerte entre tasa de infiltración y materia orgánica. El análisis de correlación entre la tasa de infiltración y la densidad del suelo, muestra una relación inversa entre densidad y tasa de infiltración.

Cervantes *et al.* (2021) indican sobre el servicio ecosistémico de regulación hídrica es uno de los más importantes que ofrecen los ecosistemas altoandinos, Sin embargo, el conocimiento sobre su aporte en términos hídricos es aún escaso y su estimación difícil, debido a los complejos procesos eco-hidrológicos, climáticos y características ambientales de los Andes, estimó la influencia de tres tipos de ecosistemas (pajonal de puna húmeda, bofedal y bosque de *Polylepis*) sobre flujos de agua, con la herramienta Hydrobal. Dicho estudio se desarrolló durante el año hidrológico 2018 - 2019 en la unidad hidrográfica de Rontoccocha, entre los 3 900 a 4 635 msnm, en el Departamento de Apurímac, Por tanto, la regulación en los tres ecosistemas evaluados (pajonal, bofedal y bosque de *Polylepis*) no muestra diferencias mayores por unidad de área; sin embargo, a nivel de la cuenca, se aprecia que el pajonal andino es el ecosistema que más aporta a la regulación hídrica (80%) debido a su extensa cobertura en el territorio.

2.4.3 Propiedades químicas

Propiedades químicas del suelo, entre las cuales podemos mencionar: pH, Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), conductividad eléctrica (CE), y minerales intercambiables, el contenido de materia orgánica (MO) (López y Estrada 2015). Las propiedades químicas del suelo es un indicador principal en la disponibilidad de nutrientes para las plantas, influyendo en la solubilidad, movilidad, disponibilidad y de otros constituyentes inorgánicos presentes en el suelo relacionados a su evolución y origen del suelo.

2.4.3.1 pH

El pH es igual al log $[1/(H^+)]$, donde el (H^+) es igual a la concentración de iones de H, la medida de la concentración de acidez o alcalinidad del suelo, es una propiedad importante de la calidad del suelo, debido a que se encuentra correlacionado con otras propiedades del suelo, estos valores del pH varía según la concentración de sales de Ca^{2+} y Na^+ , o a iones H^+ y Al^{3+} , es decir, si el valor del pH es menor a 5 los macro y micro nutrientes como el nitrógeno, potasio, calcio, magnesio y boro son deficientes, mientras si los valores son mayores a 6, la disponibilidad en la solución del suelo de fósforo, hierro, zinc, manganeso y cobre para la absorción por las plantas son mayores (Abad 1993, Smith y Doran 1996). Por otro lado, existen otros factores que influyen en el pH tales como, las prácticas de cultivo, estación del año, altas precipitaciones, horizonte del suelo, uso de fertilizantes, materia orgánica, actividad biológica, técnica de muestreo entre otros.

La acidificación de los suelos es un proceso espontáneo que se da durante la pedogénesis, durante ella ocurre una continua meteorización química, la cual consiste en una pérdida de cationes alcalino y alcalinotérreos (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) e incremento acompañado de cationes metálicos (Al^{3+} , Fe^{3+} , Mn^{4+}) que pueden sufrir hidrólisis ácida. Simultáneamente, ocurre una salida de silicio del suelo en forma de $Si(OH)_4^0$, durante el proceso. Esta hidrólisis produce en el suelo un pH de hasta 4.2. Valores más bajos de pH se pueden alcanzar naturalmente cuando se drenan suelos que contienen formas reducidas de azufre o cuando se descomponen restos orgánicos y producen ácidos orgánicos de cadena corta. Igualmente, los suelos se pueden acidificar cuando reciben ácidos provenientes de procesos antrópicos, ocurre por procesos naturales, por presencia de aluminio, por descomposición de la materia orgánica, largos eventos de precipitación, drenaje del suelo, aplicación excesiva de fertilizantes, lluvia ácida, por lixiviación de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ en zonas de alta precipitación, entre otros (Zapata 2004).

La reacción o pH en suelos altoandinos se han reportado en diferentes lugares con valores variables, en el Centro de Investigación en Camélidos Sudamericano (IDCS), Lachoc-Huancavelica los valores del pH varía entre 4.13 a 6.06, clasificándose como extremadamente ácido (3.5 – 4.4) a moderadamente ácido (5.6 – 6.0), en otro trabajo realizado por Quinto (2004) en el CIDCS-Lachoc reporta valores de suelos ácidos (<5.5), también Arias Carvajal J. (1987) en S.A.I.S. "Pachacútec"- Junín reporta suelos

moderadamente ácidos (5.6 - 6.0). Y Jorge A. Borges y col (2010). Enríquez (2011) en Pampas-Huancavelica, reporta valores moderadamente ácidos a neutro (pH de 5,947 a 6,66). Alegría, F. (2013) en Pasco con pH del suelo (4.23 – 6.7); Yakabi, B. (2014) en Lima con pH de (6.27- 8.09) y Miranda (1990) en suelos de Puno con pH del suelo (6.95- 7.72) los suelos de Puno tienen valores más neutros por su origen de los suelos.

Alegría y Miranda (2013) estudiaron en tipos de pastizales bofedal y pajonal a una altura sobre los 4 200 m.s.n.m. los bofedales se desarrollan en suelos a partir de diferentes materiales parentales: suelos orgánicos (Histosols) y en suelos Mineralizados (Entisols, Inceptisols y Mollisols) relacionados al grado de descomposición del material vegetal a temperaturas bajas debido a la altitud y otra diferencia se debería a las precipitaciones pluviales el cual fueron extraídas las muestras como en este caso en temporada de estiaje para. Alegría y Miranda (2013) en Junín reportan que no existe diferencia significativa en relación al pH y piso altitudinal, pero, Yakabi en Lima, si encuentra diferencia entre zonas de diferente altitud, respecto a los parámetros químicos, de los cuales el pH. Las diferencias se deben al material de origen del suelo y al grado de precipitación pluvial que ejerce cada región. El rango óptimo de pH para el crecimiento de la mayoría de las pasturas que oscila entre los valores de 5,0 y 7,5 (Bernal 2003).

2.4.3.2 Capacidad de intercambio catiónico

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es una medida de la cantidad de cargas negativas en las superficies de los minerales y componentes orgánicos del suelo (arcilla, materia orgánica o húmicos) sostenida por las superficies de los coloides (Ca, Mg, Na, K, NH₄), Conocer la CIC de un suelo es muy importante, pues este valor nos indica el potencial del suelo para retener y liberar iones positivos, debido al contenido de arcillas y materia orgánica.

Suelos con una CIC alta mantiene un nivel alto de acidez. $CIC > 10$ Son suelos orgánicos o arcillosos altamente tamponados que requieren grandes cantidades de cal para elevar el pH. Y liberar el número total de cationes del suelo igual a su carga negativa total y a la capacidad de intercambio catiónico del suelo, los suelos con CIC baja son suelos neutros no retienen la acidez. $CIC < 5$ Son suelos arenosos que requieren modificaciones menores en el uso de enmienda para corregir el pH, sin embargo, requieren una fertilización gradual para evitar

pérdida por lixiviación y adición de materia orgánica. Los suelos con una CIC alta requieren más nutrientes por lo que se puede distribuir fertilización en forma gradual espaciada en el tiempo. $CIC > 10$ Se trata de suelos orgánicos o arcillosos, cuyo complejo tienen muchas zonas activas y que “permite” que los nutrientes se pierdan con el agua de lluvia.

Las arcillas y la materia orgánica tienen la propiedad de comportarse como iones de carga negativa, aniones, de forma que son capaces de retener o adsorber cationes. Esta capacidad del suelo es lo que permite retener los elementos necesarios para nutrir a las plantas, que de otra forma estarían en la solución del suelo fácilmente disponibles para su lavado hacia la profundidad. Así, cuanto mayor sea esta capacidad mayor será la fertilidad natural del suelo.

Cada tipo de arcilla y cada tipo de materia orgánica presentan una CIC diferente. Está relacionada a la mineralización y contenido de arcilla, y a la cantidad de materia orgánica presente. De esta forma, los suelos arcillosos y suelos ricos en materia orgánica, con gran capacidad de intercambio, tienen un fuerte poder amortiguador, puesto que necesitan una gran cantidad de Ca^{+2} para sustituir a todos el H^{+} . En cambio, los suelos arenosos que tienen poca capacidad de intercambio, tienen un débil poder amortiguador, y cuando son ácidos necesitan pequeñas adiciones de Ca^{+2} para neutralizar su acidez (Fuentes, 1994).

La cantidad total de carga o CIC del suelo en los pastizales del Centro de Investigación y Desarrollo de Camélidos Sudamericanos Universidad de Huancavelica CIDCS-Lachocc fue de (22.77 - 33.44 meq/100g) clasificándose como medio; y no presentaron diferencias estadísticas significativas entre tipos de pastizal y canchas; Alegría (2013) en otro trabajo realizado en Cerro de Pasco reporta valores de CIC de (18.56 – 41.12 meq/100g). Las diferencias se deben a que las arcillas están cargadas negativamente, con mayores concentraciones de arcillas que exhiben mayores capacidades de intercambio catiónico. A mayor contenido de materia orgánica en un suelo aumenta su CIC (Gavilán 2004). A medida que el contenido de arcilla y/o materia orgánica aumentan el suelo tendrá mayor CIC. Esta capacidad de retener e intercambiar cationes es un indicador directo de la fertilidad de los suelos.

Tabla 5: Interpretación de la capacidad de intercambio catiónico

CIC (meq/100g)	Nivel	Valoración
0 - 10	Muy bajo	Suelo muy pobre
10 - 20	Bajo	Suelo pobre
20 - 35	Medio	Suelo medio
35 - 45	Medio-alto	Suelo rico
Mayor de 45	Alto	Suelo muy rico

Fuente: AQM laboratorio 2015.

2.4.3.3 Materia orgánica

La materia orgánica (MO) en los suelos de montaña está conformada por diferentes complejidades. Entre ellos se encuentran restos de plantas y animales, organismos vivos (macro y mesofauna así como biomasa microbiana, hongos y bacterias) partes orgánicas que han sufrido transformaciones (humificación) presentan estructuras complejas unificadas. La MO cumple una serie de funciones importantes en el suelo y ambiente. Influye de manera directa e indirecta sobre numerosas propiedades químicas, físicas, biológicas y ambientales.

Dentro de las propiedades químicas destaca como reservorio de nutrientes. Estos nutrientes no están inmediatamente disponibles para las plantas, para que dichos nutrientes estén disponibles la materia orgánica debe mineralizarse. Por otro lado, incrementa la capacidad de intercambio catiónico, aumentando así la cantidad de nutrientes adsorbidos en el suelo (Álvarez *et al.* 2003).

La materia orgánica del suelo (MOS) es un complejo de una variada mezcla de sustancias orgánicas incorporadas al suelo, las cuales contienen carbono que en promedio abarca alrededor de la mitad de su composición en peso. La MOS incluye residuos de plantas y animales en varios estados de descomposición (Alegre *et al.* 2014) y comprende 4 categorías: primero, hojarasca o residuos, mantillo hojas tallos en descomposición; segundo, microorganismo y microflora en descomposición; tercero, subproductos del crecimiento microbiano en descomposición; y finalmente, una fracción conocida como humus o fracción orgánica estabilizada. El humus posee de 50 a 55% de C, 4-5% de nitrógeno y 1% de azufre; es una sustancia relativamente estable que puede persistir durante muchos años en el suelo, particularmente cuando la relación carbono: nitrógeno es alto y cuando se asocia con componentes minerales como el limo y arcilla (Amlinger *et al.* 2007).

Los suelos de puna almacenan el carbono en forma de materia orgánica con bajas tasa de mineralización (Gallego *et al.* 2012). La captura de carbono en el suelo es el balance entre la incorporación de material vegetal muerto (desecho de hojas y raíces) y las pérdidas de los procesos de descomposición y mineralización. Bajo condiciones aeróbicas, la mayor parte del carbono que se incorpora a los suelos es lábil y, por lo tanto, es devuelto a la atmósfera a través de los procesos conocidos como respiración del suelo o flujo de CO₂ (el resultado de la respiración de las raíces, la respiración autotrófica y la descomposición de la materia orgánica, respiración heterotrófica) según la (FAO 2007).

El contenido de materia orgánica en el suelo es producto del flujo del CO₂ a través de los procesos fisiológicos de la vegetación, el clima y la textura del suelo (Burke *et al.* 1989, Jobbágy y Jackson 2000). Depende de la vegetación, el clima, la textura del suelo, el drenaje del mismo y de su laboreo:

a. Especies vegetales

La estructura de la vegetación de los ecosistemas de los pastizales, adaptadas a las condiciones de puna varían de uno a otro en su estructura y dominancia de especies en los diferentes sitios, estos están relacionados a las condiciones del suelo, el clima, el flujo del CO₂ y el grado de perturbación, mostrando diferencias en el contenido de MOS entre los diferentes tipos de vegetación.

Mayta (2019), encontró valores de MO para suelos de pastizales en Puno de 6.03 a 9.65%. Salvador *et al.* (2014) reporta en bofedales dominados sólo por *Distichia muscoides*, un contenido de MO en el suelo de $69 \pm 14\%$ mientras que en áreas dominadas por *Distichia muscoides* y *Plantago tubulosa* fue de $56 \pm 26\%$. En áreas comunes dominadas por *Plantago tubulosa* y *Plantago rígida*, el contenido de MO fue 63% y 21 %. En otras muestras tomadas de áreas dominadas por *Oxychloe andina* se encontró 78% de materia orgánica, la acumulación de MO es altas, difieren en función al tipo de vegetación.

b. Factores climáticos

La precipitación y la temperatura repercuten en la cantidad y el tipo de vegetación y la tasa de descomposición de la materia orgánica menciona (Grunwald 2014). Varios estudios de campo han demostrado que la temperatura es un factor clave para controlar la tasa de

descomposición de los residuos vegetales. Las tasas de degradación son generalmente más rápidas en las regiones tropicales con respecto a las regiones templadas o frías y secas (FAO 2005). En general, el clima frío y árido tiende a reducir los procesos microbianos en el suelo, especialmente los procesos de descomposición y mineralización (Grunwald 2014).

El cambio climático afectará directamente la vegetación a través de las modificaciones del régimen de lluvias y una creciente evapotranspiración que generará un clima más extremo y condiciones más propicias para extender la pérdida de especies y degradación del suelo. La estructura y función de este ecosistema será seriamente afectada por la degradación de tierras y el cambio climático. Se verán afectadas las propiedades físicas y bioquímicas tales como el carbono orgánico, la materia orgánica, la profundidad, pH, salinidad entre otros mencionan (Gardi et al. 2014, Flores 2019).

c. Tipo del suelo

El contenido de materia orgánica del suelo está estrechamente relacionado con la densidad aparente, el mantillo, la proporción de carbono orgánico (CO), la proporción del suelo fino y la profundidad. Este último valor tiene el mayor efecto sobre la cantidad estimada del carbono almacenado. El porcentaje de carbono orgánico es mayor en las primeras capas del suelo y disminuye con la profundidad. Según Gardi *et al.* (2014) alrededor de 185 Gt de CO₂ se almacenan en el primer metro de profundidad del suelo en América Latina y el Caribe. La textura del suelo también influye en el contenido de materia orgánica, por ejemplo, los suelos arenosos, que son aireados y tienden a tener menor contenido de humedad poseen bajos contenidos de materia orgánica. Por otro lado, los suelos arcillosos, son menos aireados con mayor contenido de humedad, y mayor contenido de materia orgánica (Grunwald 2014).

En suelos con condiciones anaeróbicas, la mineralización es mucho más lenta, y se acumula materia orgánica, lo que potencialmente puede conducir a la formación de turberas (Histosol). La acidez también entorpece la mineralización, al predominar los hongos frente a las bacterias (Porta *et al.* 2003).

En trabajos realizados en el contenido de MO de los suelos reportan diferentes valores de MO en CIDCS-Lachocc, Huancavelica el suelo suele ser bastante variable con contenidos que están comprendidos entre 2.39% a 9.95% de M.O. para las canchas de Saccsalla - Ranramocco y Tucumachay – Sorahuayco, por encima del mínimo ideal reportados en los

cuadros de análisis de suelos. (Yakabi 2014) en Huarochirí - Lima (2,91% y 5,93% de M.O.), obteniendo diferencias entre tres zonas con respecto a la altitud; Ordaya (2011) en Junín, respecto a la correlación materia orgánica y piso altitudinal, encontrando valores de M.O. 8.4% a piso de 3 600 a 3 800 m.s.n.m. y un porcentaje mayor de 13.9% a un piso de 4 400 a 4 600 m.s.n.m. Esta diferencia se debería a que la altitud es inversamente proporcional a la temperatura, resultando que a altitudes mayores las temperaturas son bajas lo que retarda la descomposición de la materia orgánica haciendo que se acumule en el suelo superficial. Por otro lado, Alegría (2013) en Cerro de Pasco reporta (7.7% - 13.3% MO); Enríquez (2011) en Acraquia (5.87%). Miranda, (1990) en Puno reporta materia orgánica: 0.9 - 5.76 %, lo cual se atribuye a las condiciones regionales del clima. Estas diferencias podrían deberse a los diferentes ambientes que están condicionados por el clima, la vegetación y fisiografía, la naturaleza del material madre, la altitud y el sistema de manejo agrícola.

2.4.3.4 Cationes cambiables del suelo

Los llamados cationes del suelo son el K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Al^{3+} y H^+ . Estos cationes predominan en los suelos agrícolas y pueden ser reemplazados por otros cationes presentes en la solución del suelo. También se puede definir como el número total de cationes intercambiables (carga negativa total) que un suelo en particular puede o es capaz de retener (cantidad total de carga negativa). La materia orgánica del suelo aporta una mayor capacidad de retención de nutrientes, es decir, posee mayor capacidad de intercambio catiónico que las propias partículas de arcillas. Por tanto, es necesario la inclusión de materia orgánica al suelo son muy beneficiosos para mejorar de la fertilidad del suelo.

Los cationes intercambiables más comunes son el calcio (Ca^{2+}), el magnesio (Mg^{2+}), el potasio (K^+), el sodio (Na^+), el aluminio (Al^{3+}) y el hidrógeno (H^+). Cationes como el NH_4^+ (nitrógeno amoniacal), el Fe^{2+} (hierro), Mn^{2+} (manganeso) y el Cu^{2+} (cobre) están presentes en cantidades mucho más bajas. La absorción de elementos minerales del suelo a través de los tejidos de las raíces es uno de los procesos primarios más importantes en la productividad de las plantas. Gomero (1999) indica que la cantidad de K^+ en la solución del suelo está en función de la liberación del potasio intercambiable que normalmente está presente alrededor de las partículas de arcilla, Los cationes de mayor importancia con relación al crecimiento de las plantas son: Calcio (Ca Calcio ++), Magnesio (Mg Magnesio ++), Potasio (K Potasio +), Amonio (NH_4) Amonio Son nutrientes y se encuentran involucrados en el crecimiento de las plantas (Havlin *et al.* 1999).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Área de estudio

La presente investigación se realizó en la Unidad de Producción de Alpacas Contadera ubicado en la Comunidad Campesina de Tomas, provincia de Yauyos departamento de Lima, en dos potreros de la unidad de producción de alpacas Contadera y área de usufructo comunal de 3 946.1 has aproximadamente, a una altitud de 4 400 msnm. Contadera está comprendida dentro la cadena de la vertiente oriental de la Cordillera Central-Occidental del Perú. Presenta un clima típico de montaña altoandina, temperatura mínima de - 4.7 °C, la temperatura diurna es de 15 °C y la temperatura promedio anual es de 9.5 °C, con corriente de vientos fríos y una precipitación variada mensual, acumulado al año 1073.6 mm. Reporte de la estación Yauricocha Yauyos (ANA 2019), Las áreas de estudio están dominadas por pajonales principalmente por gramíneas de los géneros Festuca y Calamagrostis según los registros en el censo de vegetación. La precipitación y temperatura se muestran en las (tabla 5), valores que corresponden al periodo de estudio.

Tabla 6: Precipitación media mensual para los años 2017 y 2018. Temperatura media mensual °C estación Yauricocha Yauyos (2016 – 2017)

P mm	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
2017	327.9	226.4	306.6	88.0	20.3	7.4	2.2	5.0	28.4	63.8	41.6	93.0	1,210.6
2018	209.6	146.8	265.3	95.5	18.0	34.6	19.3	33.7	7.3	116.5	66.0	61.3	1,073.6
T °C	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
2016	9.6	9.7	9.9	9.6	9.7	9.3	9.1	9.3	9.6	9.5	9.6	9.3	9.5
2017	8.6	8.1	8.5	8.9	8.7	9.2	9.1	9.2	9.4	9.2	9.4	9.2	8.9
2018	8.4	9.0	8.7	8.7	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	-

Estudio Hidrológico de la Unidad Hidrográfica Cañete ANA 2019. Altitud 4560 msnm. - Temperatura media mensual (°C) altitud 3820

Fuente: Estación CARANIA (156109), Yauricocha-Yauyos 2016 - 2017.

La precipitación promedio mensual reportada por la estación Yauricocha para los años 2017 y 2018 los registros muestran la precipitación anual fue ligeramente mayor para el año 2017 con respecto a los registros del año 2018. En cuanto a la temperatura promedio mensual registrada en la estación Vilca la temperatura promedio mensual presenta poca variación en promedio 9.5 a 8.9 °C para los registros del 2016 y 2017, estación contiguos al distrito de Tomas provincia de Yauyos.

La posición topográfica de Contadera es una pendiente o ladera convexa ondulada; el paisaje circundante es del tipo colinado con pendiente fuertemente inclinada; pedregosidad superficial y afloramiento rocoso. Se observó la presencia de fuentes de agua cercana al área de estudio, como riachuelos permanentes dentro del típico paisaje de zonas altas del distrito de Tomas. Las áreas de estudio correspondieron a un pajonal, en el cual se identificaron tres áreas caracterizadas por representar una condición buena, regular y pobre, asignadas como tratamientos. La condición fue estimada a través de un censo de vegetación por el método de transección lineal de Parker (1951) modificado. El registro de vegetación de pastizales se realizó por medio de "transectos en cada metro", permite obtener información cuantitativa este método conocido también como el "Método Histórico" es uno de los primeros y probablemente el más generalizado de todos los métodos para determinar la composición florística de la pradera.

Se realizaron dos evaluaciones en cada tratamiento, tomando en consideración a la alpaca como la ganadería más representativa de la comunidad de Tomas, El puntaje final de la condición se ha calculado considerando los cuatro criterios: especies deseables, Índice forrajeros, cobertura e índice de vigor, las cuales reportaron un puntaje de 64 para la condición buena, 54 para la condición regular y 37 puntos para la condición pobre. En el momento de evaluación las áreas de condición bueno tienen un historial de pastoreo con vicuñas en sistema de clausura desde el año 2012 a la actualidad; las áreas de condición regular en clausura se encuentran en pastoreo con alpacas mejoradas desde la instalación de un centro modelo de producción de reproductores de alpacas de buen nivel genético implementado en los años 1995 (Ortiz 2014). Las áreas de condición pobre son usufructuadas por la comunidad y pastoreadas con mayor recurrencia por ovinos y alpacas que data de muchos años.

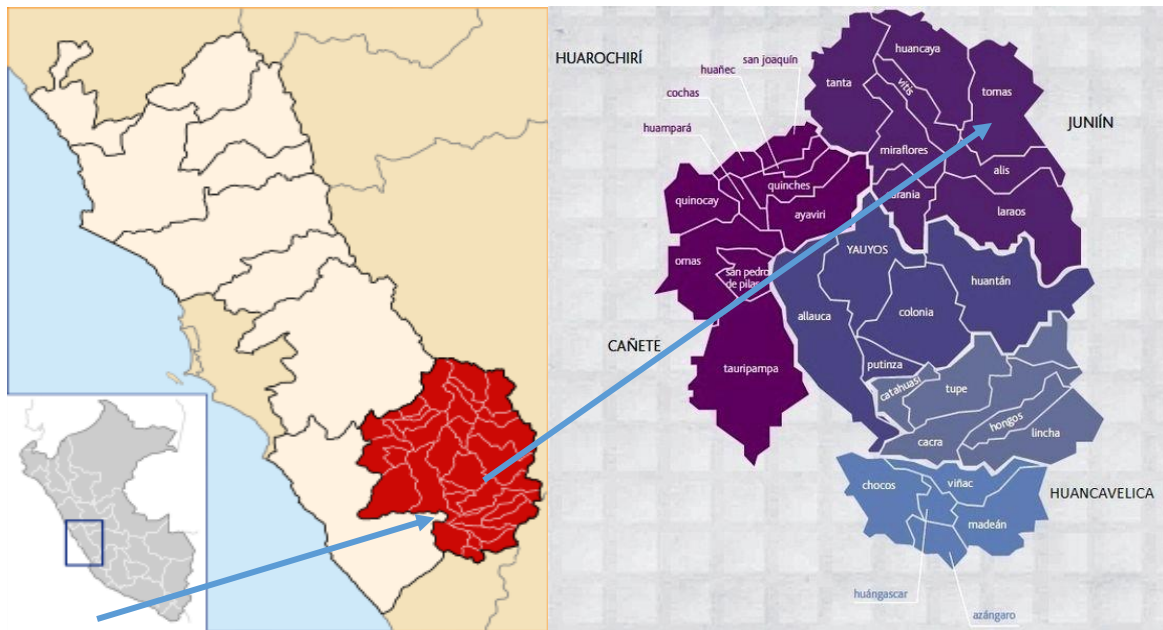


Figura 8: Ubicación geográfica comunidad de Tomas -Yauyos - Lima

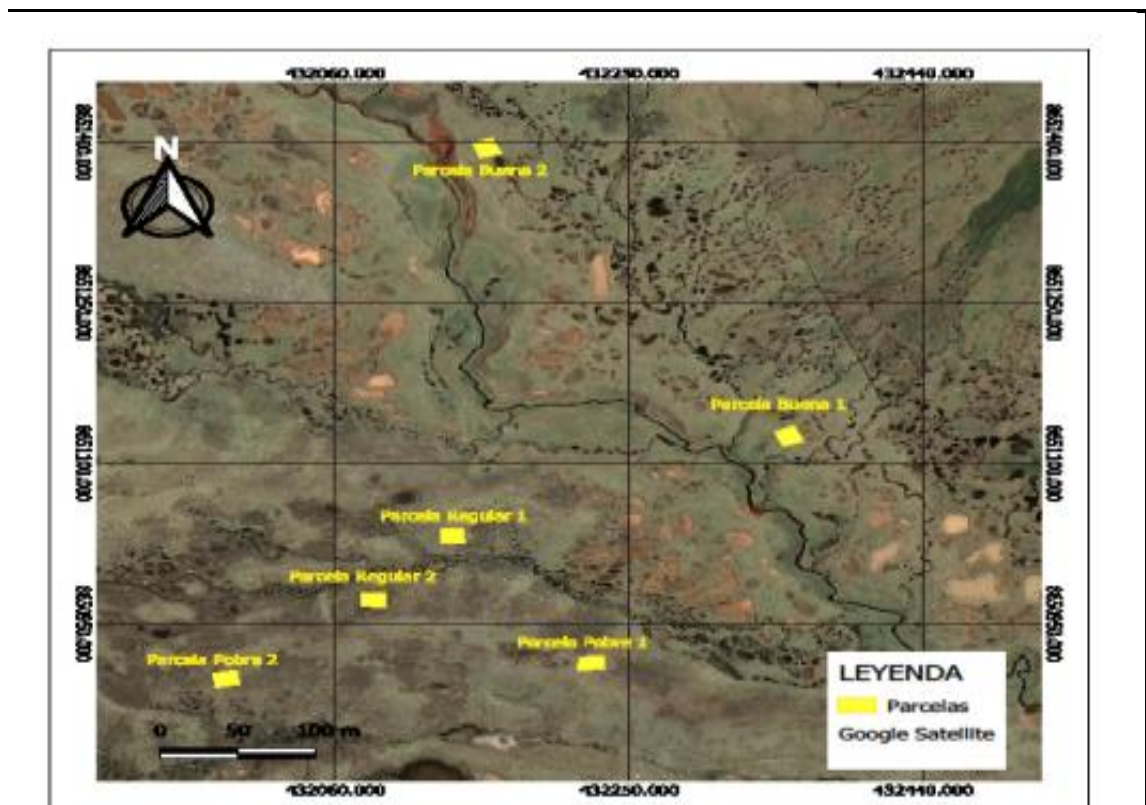


Figura 9: Ubicación de áreas seleccionadas por condición del pajonal Tomas

3.2 Tratamientos

Se localizaron tres áreas, cada tratamiento representa una gradiente de condición de vegetación desde el punto de vista de su utilización al pastoreo. En cada tratamiento se ubicó dos parcelas individuales debidamente cercadas y excluidas de los animales, los tratamientos fueron:

- Tratamiento 1: Potero de pajonales en condición buena pastoreadas con vicuñas establecidas en el año 2012 manejadas en dos potreros en forma rotativo.
- Tratamiento 2: Potrero de pajonales en condición regular pastoreadas con alpacas que data desde la instalación de la unidad de producción de alpacas mejoras implementados en 1995.
- Tratamiento 3: Áreas de usufructo comunal de pajonales en condición pobre pastoreadas por ovinos y alpacas con larga historia de pastoreo.

En cada tratamiento se ubicaron dos áreas de 208 m² (13 x 16 m), las áreas cedidas fueron limitada, lo que restringió las replica por tratamiento a solo a dos (Fig. 10); el área fue cercada con malla metálica en el mes de setiembre del 2017 para evitar el ingreso de los herbívoros mayores. Las evaluaciones se realizaron en el mes de marzo del 2018 y dado que el estudio fue de tipo no experimental, transeccional, el levantamiento de datos se realizó en un tiempo único que correspondió al pico de lluvia, momento en el que el ecosistema muestra su mejor potencial productivo.

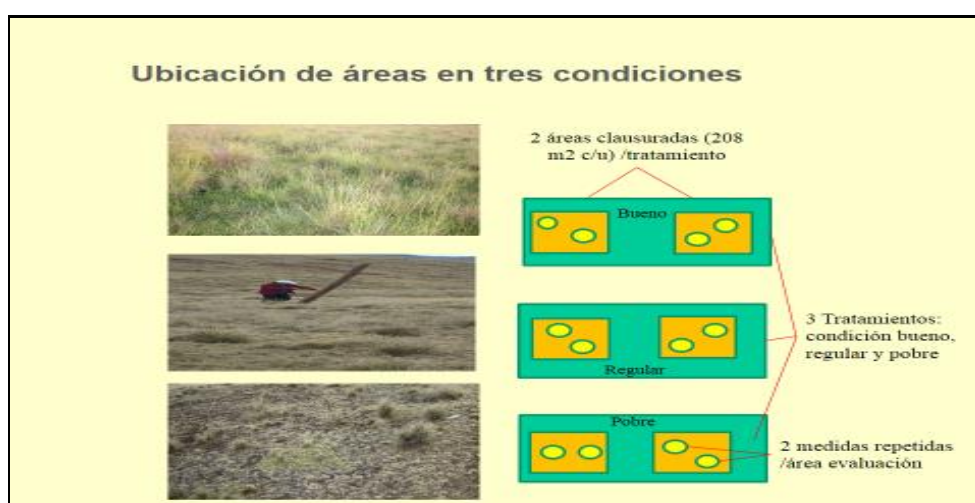


Figura 10: Ubicación de áreas de evaluación en pajonales de tomas

3.3 Parámetros evaluados

Los parámetros que se evaluaron en el presente estudio, involucran los indicadores relacionados a la vegetación y al suelo. Los indicadores que corresponden al parámetro de vegetación fueron: composición florística, diversidad de especies, biomasa y producción forrajera, mantillo, adicionalmente se evaluó el banco de semillas y capacidad de germinación. Con relación a los indicadores del suelo se evaluaron las características físicas: textura, densidad aparente, temperatura, función hidrológica (humedad del suelo y tasa de infiltración), y las características químicas: pH, capacidad de intercambio catiónico (CIC), porcentaje de materia orgánica (% MO), concentración de fosforo y potasio (ppm), y cationes intercambiables (Ca, Mg, K, Na, Al y H meq/100g).

Tabla7: Variables de evaluación

Variables de evaluación	Parámetros	Indicadores	Método
Vegetación	Condición	Florística	Transecta de Parker
		Diversidad	Transecta de Parker
	Producción	Producción forrajera biomasa	Índice forrajero Método Cuadrante
	Banco de semillas	Mantillo Cantidad de semillas	Método Cuadrante Estratos 0-5, 5-10 cm
Suelo	Propiedades Físicas	Textura	Del Hidrómetro
		Densidad aparente	Cilindro metálico
		Temperatura	Geotermómetro
	Propiedades Químicas	Infiltración	Infiltrómetro Truf-Tec modelo 76946
		Humedad	TDR-300 (Reflectometría de Dominio)
		pH	En suspensión de suelo
	CIC	Saturación con acetato de amonio	
	Materia orgánica	Walkley y Black	
	P, N, K	Fotometría y Extracción	
	Cationes intercambiables	Acetato de amonio	

Análisis de suelo y caracterización UNALM.

Fuente: CAFESA 1996, Bertsch 1987.

3.4 Indicadores de vegetación

3.4.1 Composición Florística

Está referido a la proporción de cada especie sobre un total de 100 lecturas registradas mediante el método de transección lineal permanente (el tamaño de las parcelas requirió de una adaptación de la disposición de las transectas), se realizaron dos transectas en forma diagonal dentro de la parcela, para completar los 100 registros se tomó datos paralelo al eje

diagonal a un metro en ambos lados, a partir de los datos registrados se estimó la abundancia relativa de especies, la cual se estima dividiendo el número de especies de un grupo por el número total de especies registradas en la parcela, las que se expresan en porcentaje para cada condición del pajonal, la condición bueno con pastoreo de vicuñas, la condición regular con pastoreo de alpacas y la condición pobre con pastoreo alpacas y ovino de usufructo comunal.

3.4.2 Diversidad y abundancia relativa

La diversidad fue estimada a partir de los datos registrados en los transectos de cada tratamiento del pajonal; se consideró el total de especies censadas, y para estimar la biodiversidad se utilizó el índice de Shannon (Shannon - Weaver 1949).

Fórmula:

$$H' = - \sum_{i=1}^S (p_i \times \log_2 p_i)$$

Donde:

S = número de especies (la riqueza de especies)

pi = proporción de individuos de la especie *i* respecto al total de individuos

ni = número de individuos de la especie

N = número de todos los individuos de todas las especies

El índice de Shannon-Weaver reporta valores que en la mayoría de los ecosistemas naturales varía entre 0,5 y 5, aunque su valor normal está entre 2 y 3; valores inferiores a 2 se consideran bajos en diversidad y superiores a 3 son altos en diversidad de especies.

3.4.3 Biomasa y producción forrajera

Para la determinación de biomasa, se utilizó el cuadrante 1 x 1 m, con 4 réplicas por condición del pajonal. La biomasa dentro del cuadrante fue cortada con una tijera (podadora), el material de pasto verde extraído fue colocado en bolsas y rotuladas, para luego más adelante estimar el peso húmedo y peso seco en laboratorio, las muestras se sometieron al secado en una estufa a 105 °C x 24 horas para obtener el rendimiento en materia seca/ha (AOAC 1980). Finalmente, las muestras fueron pesadas en seco para obtener el contenido

de materia seca (MS) de la biomasa vegetal en g/m², para luego ser expresado en kg MS /ha, mediante la siguiente relación:

$$\%MS = (PH - PS) / PS * 100$$

Para la estimación de la producción de forraje que es la parte que consumen los animales se estimó a partir del censo de vegetación. Referido al pastoreo de alpacas para los tres tratamientos, la estimación fue a través del cálculo de índice forrajero que suman especies "decrecientes o deseables", "acrecentantes o menos deseables" expresado en porcentaje, este valor fue multiplicado con los valores de biomasa obtenido en el cuadrante, en materia seca, aun cuando es una estimación muy general, obteniéndose valores relativos para cada condición.

3.4.4 Mantillo

La toma de muestras del mantillo se realizó conjuntamente con la evaluación de la biomasa fresco en pie, se procedió la separación manual del mantillo de la superficie del suelo contenida dentro del cuadrante de 1 m² y se tomaron cuatro muestras de material senescente disponible en las áreas seleccionadas en cada condición del pajonal, para la determinación de la materia seca se utilizó una estufa a 105°C por 24 horas y se expresó el de mantillo en Kg MS/ha⁻¹ (AOAC 1980).

3.4.5 Banco de semillas

Para la evaluación del banco de semillas se tomó muestras en 4 puntos dentro de cada área seleccionada en forma equidistante al punto central de la parcela. Las muestras se obtuvieron usando un barreno sacabocado (cono de acero de 6 cm de diámetro y 10 cm de longitud) lo que significa tomar un volumen de suelo de 141.3 cm³, esto permitió obtener muestras en dos segmentos verticales de 0 – 5 cm y 5 – 10 cm del perfil del suelo. Para el proceso de conteo de semillas se tomó las 4 muestras para minimizar los errores en cada condición, se registró la cantidad de semillas por estrato y condición (Thompson *et al.* 1997).

Para evaluar el estado del banco de semillas se realizaron pruebas de germinación bajo condiciones que recomienda el ISTA (2006) las semillas fueron sometidas al método estándar entre papel toalla que se realizaron en condición de laboratorio en una cámara germinadora a 24°C con temperatura y humedad controlada. Las semillas germinadas se

consideraron solo las plántulas formadas con raíz y plúmula, para su cuantificación y determinar en porcentaje de germinación por cada segmento vertical, referida al volumen de muestra, esto llevándose a expresar en porcentaje de germinación para cada condición del pajonal. Se utilizó el método de emergencia de plántulas descrito por (Roberts 1981, ISTA 2006).

3.5 Indicadores del suelo

3.5.1 Propiedades físicas

3.5.1.1 Textura

Para el procesamiento de la información generada del análisis químico del suelo en laboratorio, Primeramente se procedió a tomar muestras de suelo, previa eliminación de la cobertura vegetal, al limpiar la cobertura del suelo se descarta todo lo que sea mantillo o restos de vegetal senescente, luego se hicieron pequeñas calicatas del suelo con la ayuda de la pala plana hasta una profundidad de 20 cm del perfil del suelo, se tomó muestra de un Kg de suelo y se formó una muestra compuesta de cuatro puntos. Para la evaluación de las propiedades físicas y químicas del suelo se tomaron dos muestras representativas por cada condición, luego se remitió debidamente rotulada para su análisis en el laboratorio de suelos de la UNALM.

3.5.1.2 Densidad aparente

La densidad aparente (DA) se estimó a través del método de cilindro metálico (Blake, 1965, Porta *et al.* 2003, Henríquez y Cabalceta 1999); consiste en tomar un volumen fijo del suelo sin perturbar. Para determinar la densidad aparente del suelo se hicieron pequeñas calicatas para tomar muestras a una profundidad de 12 cm del perfil del suelo, se utilizó un cilindro biselado de volumen conocido, por cada tratamiento se tomaron cinco muestras a las cuales se les tomo el peso inicial de suelo húmedo, luego se colocó en una estufa a 105 °C por 24 horas para obtener el peso seco, realizado en el Laboratorio de Utilización de Pastizales de la UNALM, con los datos se procedió a calcular la densidad aparente mediante la fórmula: $Da = m/v$, y el volumen del cilindro: $V = \pi * r^2 * h$ finalmente se expresó en g/cm³.

$$DA \text{ (g/cc)} = \frac{\text{Peso suelo seco (g)} \times 100}{\text{Volumen del cilindro (cm-3)}}$$

3.5.1.3 Temperatura

Para determinar la temperatura del suelo en cada tratamiento se utilizaron geotermómetros tipo reloj los cuales permitieron la toma de datos sin generar perturbación al suelo; la información de la temperatura del suelo se obtuvo a medio día cuando el sol cae verticalmente al suelo, los puntos de evaluación estuvieron ubicados en espacios equidistantes dentro de cada área clausurada, registrándose temperaturas a tres profundidades en cada condición del pajonal a 5, 15, 20 cm con dos replicas por condición bueno, regular y pobre.



Figura 11: Geotermómetros

3.5.2 Funciones hidrológicas

3.5.2.1 Humedad

La medición de la humedad del suelo se realizó con el TDR-300 (Reflectometría de Dominio Temporal), el cual calcula el contenido de agua volumétrica disponible en el suelo en un corto tiempo y los datos son obtenidos de manera directa. El TDR – 300 permitió obtener datos de humedad del suelo en tres profundidades a 5, 15 y 20 cm, con dos replicas dentro de las áreas seleccionadas. El TDR es un método directo no destructivo, que permite medir directamente el contenido de agua en el suelo, basados en la medida de la propiedad física del suelo, siendo muy importante la calidad, estabilidad y consistencia de la calibración del equipo antes de su uso. Al encender el equipo se selecciona el largo de las puntas a utilizar y se procede a introducir las en el suelo cuidadosamente para no ocasionar daño en los sensores al impactar en material rocoso.



Figura 12: TDR-300 (Reflectometría de Dominio)

3.5.2.2 Tasa de infiltración

La tasa de infiltración se estimó en cada parcela experimental de condición bueno, regular y pobre. Se utilizó el método de inundación mediante un infiltrómetro metálico de doble cilindro concéntrico marca Truf-Tec modelo 76946, cuya instalación consistió en la introducción del anillo en el suelo. Una vez instalado el infiltrómetro se procedió al llenado del agua en el anillo interno hasta una altura predeterminada. Las mediciones se realizaron tomando lecturas cada 1, 5 y 10 minutos para finalmente obtener el valor del volumen infiltrado en cm/min (Mwendera y Saleem 1997). Esto permitió desarrollar curvas de infiltración y estimar el valor promedio de infiltración por tratamiento en (cc/min) llegando al punto de saturación del suelo, (Bouwer 1986, Hurtado 2007). Se realizaron dos mediciones de la tasa de infiltración por cada condición del pajonal.

Para generar las curvas de infiltración expresando las unidades en centímetros cúbicos/minuto y las tasas de saturación de este parámetro se utilizó ecuación de Kostiakov según la metodología descrita por Henríquez y Cabalceta (1999) utilizando los valores del intercepto y pendiente obtenidos en la ecuación para cada tratamiento y el tiempo de referencia de una hora.



Figura 13: Infiltrómetro Truf-Tec modelo 76946

Tabla 8: Para la obtención de la tasa de infiltración

N° (De la última a la primera)	Tiempo (min)	Tiempo acumulado (min) [A]	Lectura (mm)	Diferencia [B]	Infiltración = $[B]/[A]$
9	10	30	[C]		
8	5	20	[D]	= $[C]-[D]$	
7	5	15			
6	5	10			
5	1	5			
4	1	4			
3	1	3			
2	1	2			[E]
1	1	1			[F]
					= $\frac{[E]+[F]}{2}$

Fuente: Adaptado de Bouwer 1986.

3.5.3 Propiedades químicas

Para el procesamiento de la información generada de análisis químico del suelo en laboratorio, Para la toma de muestras del suelo se hicieron pequeñas calicatas del suelo con la ayuda de la pala plana hasta una profundidad de 20 cm del perfil del suelo y separar un Kg. Aproximadamente para luego llenar a un envase limpio de tamaño grande una cantidad de 4 submuestras por cada replica, una vez juntado las submuestras, se desmenuza y homogeniza los terrones hasta un tamaño de aproximadamente de 1cm se mezcló muy bien para obtener la muestra representativa aproximadamente de 01 Kg se procedió a embolsar y consignar los datos relevantes en las etiquetas a cada muestra, luego se remitió al laboratorio de la UNALM. Dos muestras por cada condición.

Tabla 9: Análisis de propiedades químicas del suelo y métodos utilizados

Propiedades químicas	Método
Conductividad eléctrica (CE)	En el extracto de la pasta de saturación mmho/cm
PH.	Potenciómetro en proporción 1:1 suelo: agua
Calcáreo total (CaCO ₃)	Gas- volumétrico utilizando un calcímetro.
Materia Orgánica (MO), %	Walkley y Black, oxidación-carbono orgánico
Nitrógeno total (N)%	Micro-Kjendahl
Fosforo disponible (P), ppm.	Olsen modificado, Ext. con NaHCO ₃ =0.5M
Potasio disponible (K), ppm.	Extracción con acetato de amonio, pH 7.0
CIC, meq 100 g-1	Saturación con (CH ₃ -COONH ₄),N; pH 7.0
Ca ⁺² , Mg ⁺² , Na ⁺¹ y K ⁺¹	Reemplazo con (CH ₃ -COONH ₄), N; pH 7.0 y
Cambiables.	cuantificación por fotometría de llama.

Fuente: Reverso de hoja de resultados, laboratorio de análisis de suelos y plantas, UNALM

Para la determinación del Nitrógeno Total (%), el cual equivale a la cantidad de materia orgánica MO del suelo, fue dividido por 20. Veinte que es una constante (por definición, de 100 partes de MO en el suelo, 20 corresponde al N total), ($\%N \text{ total} = \%M.O./20$) (Barrera, J. *et al.* 2007).

3.5.3.1 pH

La determinación del pH del suelo se realizó a una profundidad de 20 cm del suelo realizadas en el laboratorio de la UNALM.

3.5.3.2 Capacidad de intercambio catiónico

La determinación de la capacidad de intercambio catiónico CIC se realizó en el laboratorio de la UNALM.

3.5.3.3 Materia orgánica

Para la determinación de la materia orgánica del suelo se tomó cuatro muestras del suelo de 0 a 20 cm de profundidad, luego se tomó una muestra representativa de un kilo por cada muestra, luego se formó dos muestras representativas por condición, para ser sometida a la oxidación húmeda de la muestra de suelo con dicromato de potasio en medio ácido propuesto por Walkley y Black (1934). Todas las muestras fueron enviadas al Laboratorio de Análisis de Suelos y Plantas de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) anexo 4.

3.5.3.4 Cationes cambiabiles

Los cationes cambiabiles se determinaron en laboratorio de la UNALM de las muestras remitidas para su análisis respectivo de Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^{+} , Na^{+} , Al^{+3} y H^{+}

3.6 Diseño estadístico

Para el análisis de datos se utilizó dos diseños estadísticos, el diseño completamente al azar (DCA) se utilizó para las variables de suelo, pH materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico. Un diseño completamente al azar Jerárquico (DCAJ) se utilizó para el análisis de florística, biomasa, banco de semillas, diversidad, temperatura, humedad, porcentaje de germinación y densidad aparente del suelo. Para la prueba de comparación de medias se utilizará la Diferencia Mínima de Significación (LSD)

Modelo aditivo lineal DCA:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$$

Y_{ij} : Observación del i-ésimo tratamiento en la j-ésima medida repetida

μ : Media general

T_i : Efecto del i-ésimo tratamiento

E_{ij} : Error de muestreo.

Modelo aditivo lineal DCAJ:

$$Y_{ijk} = U + T_i + R(T)_{ij} + E_{ijk}$$

Donde:

- Y_{ijk} : Observación del i-ésimo tratamiento
- U : Media poblacional
- T_i : Efecto del i-ésimo tratamiento
- $R(T)_{ij}$: Efecto de la j-ésima unidad experimental dentro del i-ésimo tratamiento (error experimental)
- E_{ijk} : Error residual

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Indicadores de vegetación

4.1.1 Composición florística

La composición florística de los tres tratamientos en estudio correspondientes a tres condiciones de pajonales, muestran similar composición a nivel de familias, con mayor predominancia para las tres condiciones corresponden a las poaceas, en cambio a nivel de especies la condición pobre fue mayor ($P < 0.01$) (figura 14). El mayor número de especies, resultó por la presencia de especies invasoras no deseables que migraron de áreas cercana y al encontrar una comunidad abierta producto de un pastoreo más intenso pudieron establecerse y prosperar, entre ellas gramíneas y hierbas como *Aciachne pulvinata*, *Aciacne acicularis*, *Azorella compacta*, *Werneria caespitosa* y otras con menor presencia.

En relación al número de familias observadas en el presente estudio, Puma (2014) al evaluar la florística en pajonales de condición bueno en la Raya Cuzco registró 7 familias, precisando que las poaceas representan mayor porcentaje en la composición del pastizal, estos resultados son similares al presente trabajo. En otro estudio realizado por Niel (1995) sobre el efecto del pastoreo y tiempos distintos de exclusión, la florística fue de 49 especies de plantas incluyendo un helecho, incrementándose con especies anuales para pastizales con mayor recurrencia de pastoreo, características que ocurren en la condición pobre.

El reporte de Quispe, (2019) en un estudio realizado en Mesapata departamento de Junín, para la época lluviosa, la composición florística estuvo constituida de 14 familias y 38 especies, la mayor representación con 37% fue para las gramíneas. Las especies más dominantes de la comunidad vegetal fueron: *Festuca humilior* y *Calamagrostis vicunarum*. Yarupaitán y Albán (2003) reporta la presencia de 214 especies de plantas comprendidas en 140 géneros y 52 familias. Las familias con más diversidad correspondieron a las Asteraceae con 55 especies y Poaceae con 22 especies, registros realizados en Quilcas Junín en altitudes comprendidas entre los 3 300 hasta los 5 000 msnm. Estos resultados muestran mayor

número de familias y especies con respecto a la florística de Tomas, por tratarse de un registro de especies en mayor amplitud de piso ecológico.

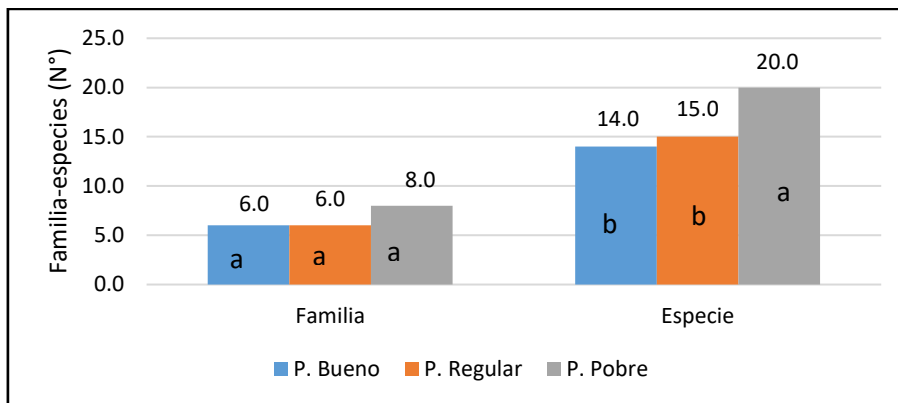


Figura 14: Familias y especies en tres condiciones de pajonales

4.1.2 Diversidad y abundancia relativa

Los resultados mostraron una mayor diversidad ($p < 0.01$) en el área de condición pobre (2.4) ver (figura 15), con respecto a la condición bueno y regular (2.0, 2.0). La condición pobre es más diversa por presentar mayor número de especies producto del pastoreo recurrente, sin embargo, en la mayoría de los ecosistemas naturales la diversidad varía entre 0,5 a 5, aunque su valor normal está entre 2 y 3; los valores inferiores a 2 se consideran bajos en diversidad y superiores a 3 son altos en diversidad de especies. En el presente trabajo, diversidad hallada se encuentra en un valor medio de la escala. La diversidad es un parámetro útil en el estudio de las comunidades ecológicas que expresa la riqueza o número de especies por cada condición y la abundancia relativa de las especies.

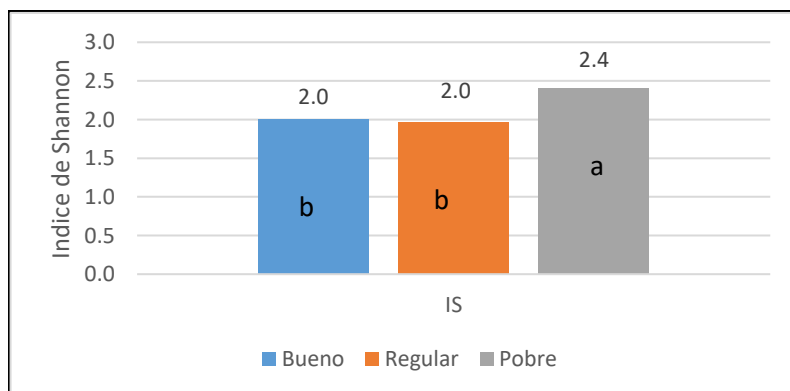


Figura 15: Los valores de diversidad índice de Shannon - Weaver en tres condiciones del pajonal

Sin embargo, la diversidad puede ser modificada por el pastoreo que tiende a favorecer a aquellas especies con amplia tolerancia ecológica como son, las malezas e invasoras de ciclos de vida más cortos, el pastoreo moderado puede incrementar las posibilidades de supervivencia de algunas especies, por consiguiente puede mejorar la diversidad, en muchos casos genera una distribución más homogénea, mientras que en pastizales con exclusión ocurre lo contrario, se promueve la creación de parches, baja la diversidad por el incremento de gramíneas de estrato vertical mayor (Niel 1995). Cuando la condición se deteriora, no solo se pueden observar cambios en florística y diversidad, también en la productividad del pastizal. (Abrigo 2022) al estudiar la diversidad en pajonales de condición regular en Ccollana del distrito de Quiñota de la provincia de Chumbivilcas reporta índice de diversidad de 2,70 siendo superior al presente trabajo para la condición regular; Asimismo Nai *et al.* (2002) al evaluar el efecto del pastoreo sobre la diversidad florística de montaña, uno pastoreado y otro excluido al pastoreo por 10 años. La diversidad de especies fue superior en los sitios pastoreados con valores de 3,60 en relación a los sitios excluidos que presentaron índice 1,28. Estos valores de diversidad florística son superiores para la condición pobre del presente trabajo.

La abundancia relativa es la proporción de una especie o taxón respecto a todas las especies o taxones presentes en un sitio. Las proporciones de individuos que representan una especie con respecto al total de las especies registradas, la abundancia relativa mostro ser diferentes para cada condición (figura 16). Se ha encontrado en potencial de especies con capacidad de incrementar su abundancia con respecto a otros que reduce su frecuencia por efectos antrópicos. El patrón de abundancia relativa por condición del pastizal se muestra gráficamente ordenando las especies de mayor a menor según el número de individuos presentes en cada tratamiento.

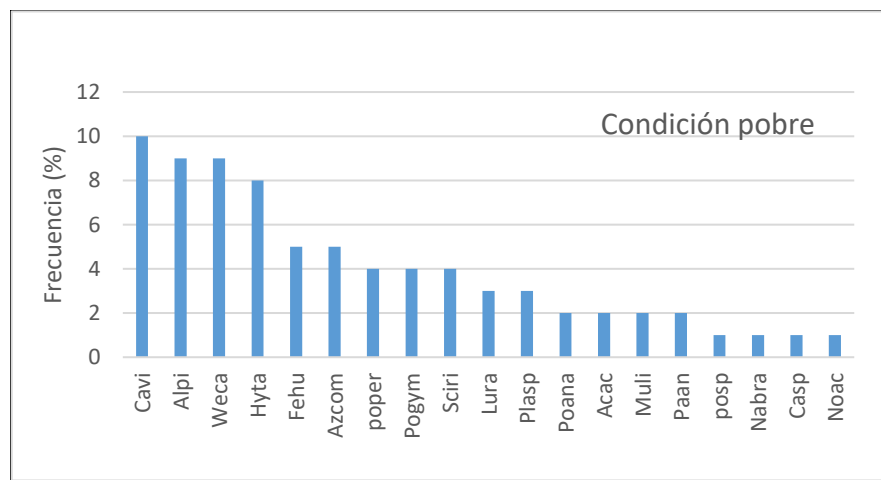
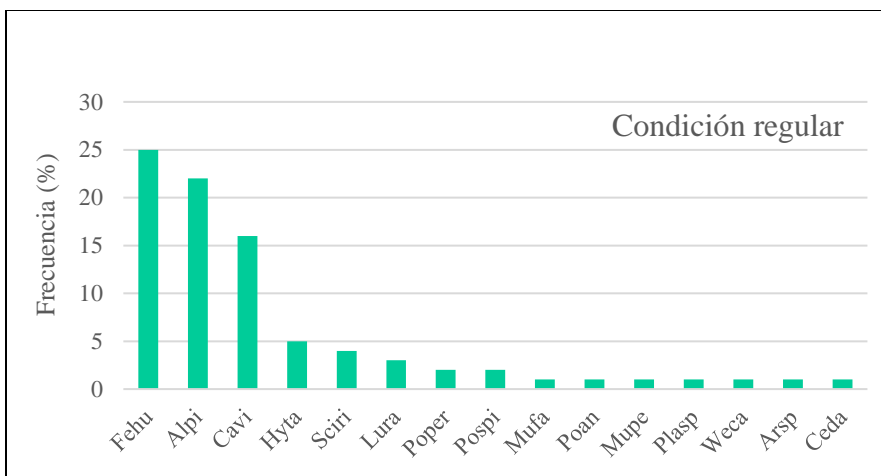
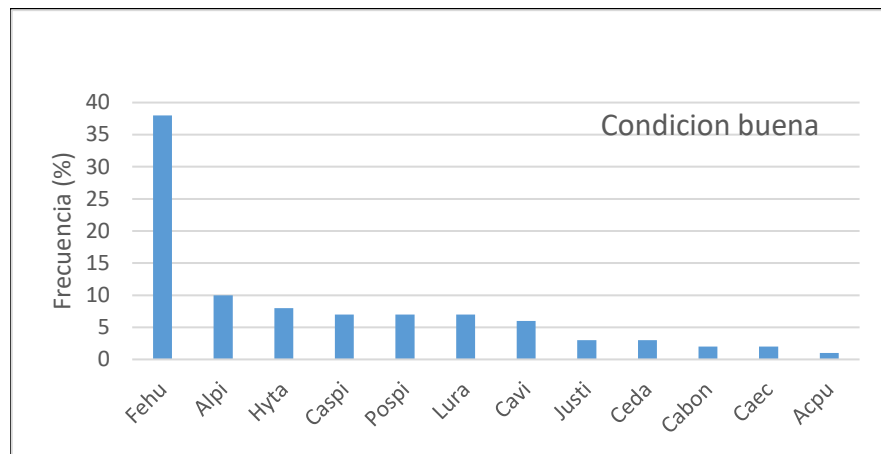


Figura 16: Abundancia relativa en tres condiciones de pajonales

Para la condición buena la especie con mayor frecuencia correspondió a la gramínea *Festuca humilior* (38 %). En la condición regular se observa que la mayor abundancia relativa continua correspondiendo a *Festuca humilior* (25 %), y en esta misma condición la abundancia se incrementa en dos especies más Alchimilla pinnata (22 %) Calamagrostis

vicunarum (16 %), en la condición pobre se reduce la frecuencia de *Festuca Humillior* a (5 %) pasando a un quinto lugar, sin embargo se registraron a otras cuatro especies más, que también están presentes en altos porcentajes *Calamagrostis vicunarum* (10%), *Alchimilla pinnata* (9 %), *Werneria caespitosa* (9 %), *Hypochaeris taraxacoides* (8 %) ampliando su frecuencia relativa con respecto a la condición bueno. Los resultados encontrados indica a medida que cambia la condición el pajonal cambia la frecuencia relativa de abundancia de especies, al cambiar la estructura vertical de la especie *Festuca humillior* por una carga ganadera más intensa, permite incrementar la abundancia de otras especies y cambiar la condición como resultados de la historia de manejo de cada área (figura 16)

Al respecto Pucheta *et al.* (1998) mencionan que el pastoreo moderado produce una distribución espacial de las especies muy homogénea, mientras que la exclusión del pastizal, promueve la aparición de especies dominantes. Además, Tito Quispe (2022) reportó que un pastoreo intenso (80%) en áreas donde está presente *Festuca humilior* y *Calamagrostis vicunarum* la segunda especie desplaza a la primera, (Brysk, 1991) indica la *Festuca humilior* corresponde al de las especies que reducen su productividad rápidamente al incrementarse la intensidad de uso, y sugiere pastoreo de uso moderado. Estos estudios coinciden con lo hallado en el presente trabajo, puesto que en las áreas que corresponden a la condición pobre con historia de pastoreo por usufructo recurrente cambia la especie dominante, adicionalmente aparecen invasoras y anuales lo que incrementa el número de especies por la intensidad de uso del pastizal.

4.1.3 Biomasa y producción forrajera

La cantidad de biomasa en la condición buena fue significativamente superior ($P < 0.01$) con valores ($1\ 732.93\ \text{kgMS./ha}^{-1}$) a la biomasa obtenida para la condición regular y pobre respectivamente (735.55 y $271.83\ \text{kgMS./ha}^{-1}$). Estos resultados son una expresión de la florística de las áreas de estudio, por cuanto en las áreas de condición buena la especie dominante con una presencia del 38 % es *Festuca humilior*, se caracteriza por su porte alto de 27.3 cm en promedio de altura con buen macollaje. En cambio, en la condición regular la presencia de *Festuca humilior* que continúa siendo la dominante desciende a 25 %, lo que afecta significativamente la producción del área en estudio; mientras que en la condición pobre la producción de biomasa es la más baja, por cuanto *Calamagrostis vicunarum* una gramínea de porte bajo pasa a ser la dominante y *Festuca humilior* representa tan solo alrededor del 5 % con 14.75 cm de altura en promedio para esta condición.

Para estimar la producción forrajera se ha calculado el índice forrajero de los registros de las transectas realizadas por condición (Parker 1951). Luego se ha clasificado en especies decreciente o palatables, acrecentantes o poco palatables para cada condición tomándose como referencia las alpacas por ser el animal que representa la zona, para la condición bueno el índice forrajero (IF) fue de (93.5 %) para la condición regular (84.5%) para la condición pobre (64.5%) estos valores se multiplicaron con el rendimiento de biomasa obtenido por el método del cuadrante de (1 732.90; 735.55 y 271.83 kgMS./ha⁻¹), siendo estos valores en rendimiento en forraje disponible en (1,620.26, 621.54 y 175.33 kgMS./ha⁻¹) (figura18), forraje disponible estimado para el consumo del animal, por cuanto estos valores son muy genéricos. La producción tanto de biomasa, producción de forraje y mantillo cambian en forma proporcional a cambio de condición.

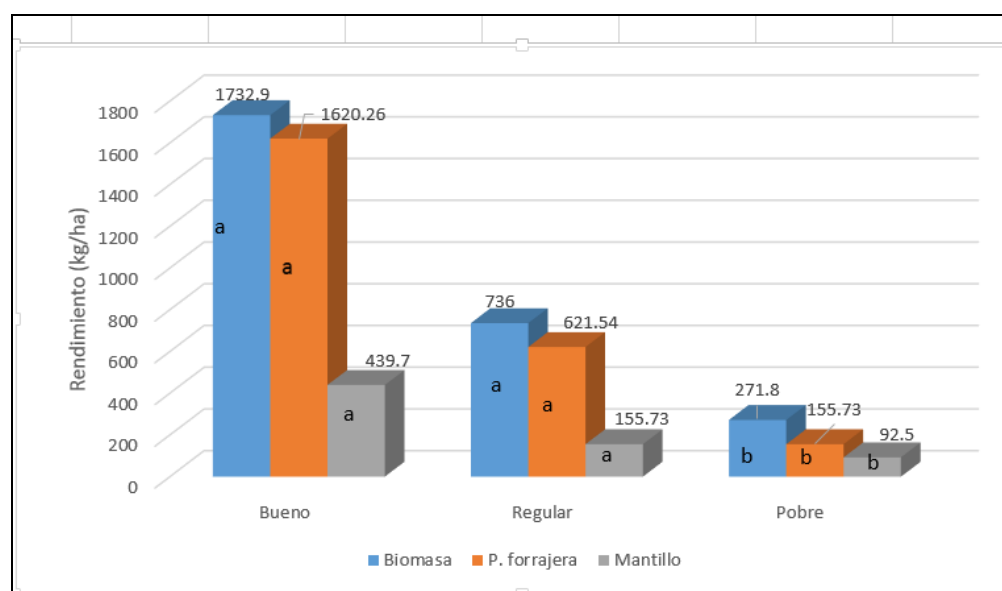


Figura 17: Producción de biomasa, forraje y mantillo en tres condiciones del pajonal

Al respecto Pucheta *et al.* (1998) mencionan sobre la biomasa viva total del pastizal está constituido por plantas perennes, tanto gramínoideas (48%) como rastreras (32%), una pequeña proporción de la biomasa estuvo representada por especies anuales y arrosetadas. Las especies anuales de hábito rastrero se incrementan significativamente al aumentar el tiempo de pastoreo, como también disminuyen la producción de su biomasa por el incremento de especies rastreras. La mayor cantidad de biomasa está relacionado al estado de condición de la vegetación y propiedades del suelo, materia orgánica, la humedad, grado

de compactación y pastoreo moderado, factores que corroboran para el estado de condición bueno.

Yalli (2017) al evaluar la productividad en un ecosistema montañoso de la Cordillera Blanca (Región Ancash) reporta desde el punto de vista de la productividad, para la condición bueno 1 398 kgMS/ha⁻¹, para la condición regular 1 540 kgMS/ha⁻¹ y para la condición pobre 1 226 kgMS/ha⁻¹. Estos reportes es inferior para la condición bueno obtenido en el presente trabajo, sin embargo los valores de productividad de condición regular y pobre es más alto a los encontrado en el presente trabajo. En otro estudio realizado en Puno por Farfán (2012), reporta producción de biomasa para tres condiciones de pastizales, excelente, regular y pobre valores de 1 825, 1 000 y 500 kg.MS./ha⁻¹ respectivamente, estos resultados muestran ser similar para la condición bueno y superior para la condición regular y pobre del presente estudio. La cantidad de biomasa está determinada por la condición, cobertura, especies que los conforman y calidad del suelo, las interacciones de sus factores, también podrían reflejarse en la capacidad de resiliencia a las perturbaciones de un pastizal.

4.1.4 Mantillo

La condición bueno muestra una mayor ($P < 0.05$) acumulación de mantillo con respecto a la condición pobre. El mantillo u hojarasca hallada en la superficie del suelo presenta una tendencia negativa según va cambiando la condición de bueno a pobre, estos valores van de (443.30, 370.55 y 93.00 kg MS/ha⁻¹) para las tres condiciones del pajonal bueno, regular y pobre, respectivamente (figura 17). Los resultados indican que el mantillo está directamente relacionado con la condición y producción de biomasa. El mantillo juega un rol importante en la protección de los suelos, reduciendo la erosión y aumentando la retención de agua, reduce los efectos de las bajas temperaturas, facilita la germinación de nuevas plantas deseables provenientes del banco de semillas. En consecuencia, una acumulación progresiva de residuos vegetales, mantillo u hojarasca son indicadores de mejora de la condición de los pastizales y del ciclo de nutrientes en el suelo. Sin embargo, Zarria *et al.* (2015), mencionan que la cobertura vegetal y el mantillo son críticos cuando el sobrepastoreo es intenso, de modo que, en los procesos de recuperación del pastizal se ven afectadas. Asimismo, otros factores como el grado de compactación, la infiltración de agua, la materia orgánica y la estabilidad del suelo se interrelacionan para promover una adecuada producción de biomasa y mantillo. También el mantillo juega un rol clave en el mantenimiento de las propiedades

físicas del suelo, en su capacidad de almacenamiento de agua, reduce la evapotranspiración del suelo y contribuye a la cadena de detritos (Pierson *et al.* 2007). El pastoreo a intensidades adecuadas (carga moderada) y contemplando el tipo de especie animal que pastorea también influye en la acumulación del mantillo residual (Yalli 2017).

4.1.5 Banco de semillas

Para la determinación del banco de semillas se tomó muestras de suelo en dos estratos del perfil del suelo (0-5 cm y 5-10 cm de profundidad), se observó en términos generales en las tres condiciones un mayor número de semillas en el estrato superior de 0-5 cm de profundidad registrándose (82, 209 y 4 semillas) en promedio para la condición bueno, regular y pobre respectivamente. Sin embargo, se observaron diferencias en el número de semillas por tratamiento. La condición regular registra mayor ($P < 0.01$) semillas con respecto a la condición bueno y pobre, para el mismo volumen de 141.38 cm^3 de muestras de suelo, como se puede observar en la (figura 18), al expresar la cantidad de semilla por metro cuadrado se tiene la cantidad de (28 823, 74 020 y 1 503 semillas/ m^2) para las tres condiciones respectivamente.

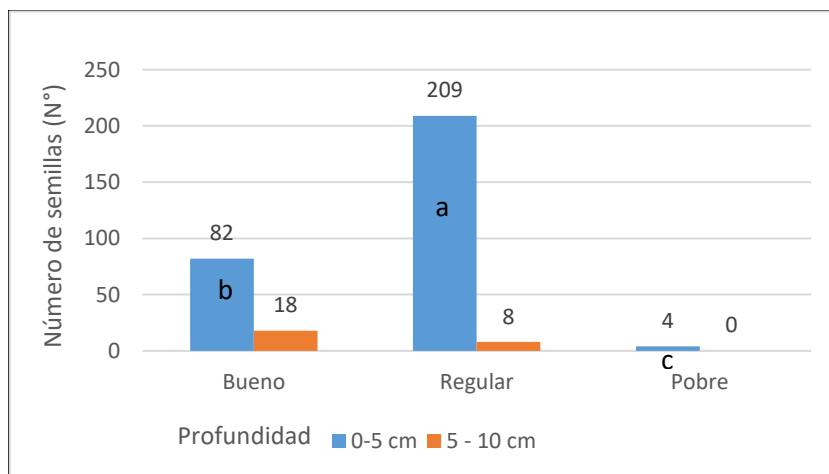


Figura 18: Banco de semillas a dos profundidades de 0 a 5, 5 a 10 cm del suelo

Para el segundo estrato de 5 a 10 cm de profundidad registran mayor cantidad de semillas la condición bueno con respecto a regular y pobre, la cantidad fue de (18, 8 y 0) para las tres condiciones, estos resultados llevando a metro cuadrado (6 366, 2 829 semillas/ m^2) es de suponer que las semillas con mayor peso específico ingresan a mayor profundidad del suelo. Los resultados muestran la mayor acumulación de semillas se localizan en el estrato superior

para las tres condiciones debido a que las plantas tuvieron la oportunidad de formar semillas con respecto a la condición pobre o haya podido ser arrastrados por el agua el aire. Un pastoreo más intenso disminuye el estrato vertical de la planta sin darle oportunidad de formar semillas, las plantas no cumplen su ciclo de crecimiento normal para producir semillas.

Cárdenas *et al.* (2002) en una evaluación de BS en la comunidad vegetal de páramo húmedo del parque nacional de Colombia reportan resultados en densidad de semilla a dos profundidades de 0-5 cm y 5-10 cm para un área perturbada por pastoreo de condición pobre la cantidad de semillas registradas fueron de (39,138 y 17,442/m²) respectivamente, en ambas profundidades estos valores superan a los observados en el presente estudio, esta diferencia podría resultar de la diferencia en clima y especies, por cuanto el estudio de (Cárdenas *et al.* 2002) corresponde a un clima más cálido lo cual estimula la productividad y vigor de las especies. Así mismo, el mismo autor menciona que en todas las zonas muestreadas, alrededor del 70 % de las semillas se localizaron en los primeros 5 cm de suelo, concordantes a los resultados del presente trabajo. Romero *et al* (2016) reportan de la evaluación de BS en áreas disturbadas de bosque, plantaciones y pastizales en Colombia, para pastizales la cantidad de (107,747 semillas/m²); (Tóth y Huse 2013) en otro estudio realizado en bancos de semillas un pastizal en estado regular y un pastizal degradado pobre, las densidades medias de los bancos de semillas reportan bastante similar en los dos tipos de condición de los pastizales (22.800 y 20.200 semillas/m², respectivamente). Este valor es inferior con respecto a la condición regular y resulta superior con respecto a la condición pobre del presente trabajo.

Vechio (2022) al evaluar el banco de semillas del suelo en parcelas excluidas de condición bueno, parcelas en pastoreo rotativo, estos mostraron ser superiores con respecto a las parcelas bajo pastoreo continua pobre (10 625, 4 554, 4 000 semillas/m²) respectivamente. Estos reportes son inferiores para la condición bueno y regular al presente trabajo. Además Thompson (1978), recopila información de trabajos sobre bancos de semillas en Gran Bretaña que oscilan entre las 400 semillas/m², en pastos permanentes hasta las 70.000 semillas/m².

La prueba de germinación estándar es el procedimiento más común para evaluar la calidad fisiológica de un lote de semillas. Para la determinación de la germinación las semillas se

sometieron a condiciones controladas de humedad constante de 85 % y una temperatura de (24°C) durante un tiempo de 20 días de acuerdo a la recomendación del ISTA (2006) para semillas pratenses. Los resultados (Figura 19), mostraron en términos generales para todas las condiciones un mayor porcentaje ($P < 0.05$) de germinación para las semillas procedentes del estrato de 0 – 5 cm comparadas con las procedentes del estrato de 5 – 10 cm de profundidad; estos valores fueron de 13%, 11.5 % y 1% de germinación para la condición bueno, regular y pobre respectivamente.

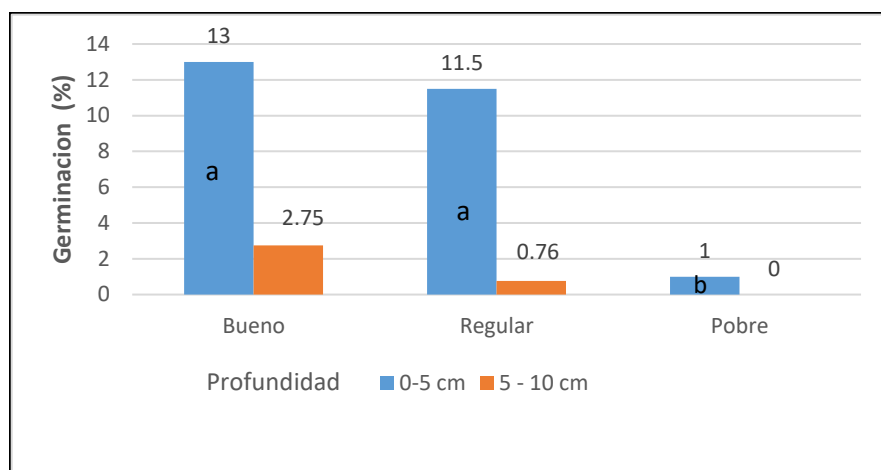


Figura 19: Porcentaje de germinación de semillas a dos profundidades

El porcentaje de germinación para el segundo estrato (5-10 cm) fue superior para la condición bueno con resultados de 2.75 % y mucho menor de 0.76% para la condición regular, la condición pobre no registro semillas, (6 365, 2 829, 0 semillas/m²) la probabilidad del menor porcentaje de germinación en estrato más profundo se podría atribuir al tiempo de almacenamiento y otros factores que hayan influido el valor de germinación.

La fase de madurez de la planta generalmente se completa con el desarrollo de la semilla, la cual podría ser afectada por factores climáticos y de pastoreo. Castro (2019) reporta valores de germinación de semillas cosechadas en plantas en pie, para *Festuca humillior* con porcentaje de germinación (33.7%) seguido por *Calamagrostis vicunarum* (29.3 %) y *Festuca dolichophylla* (18,0 %)., Mamani (2013) reporta valores de germinación de semillas cosechadas de pastos naturales, utilizando un producto hormonal activol para promover la germinación, *Trifolium amabile* (27,19%), *Festuca dolichophylla* (25,45%), *Muhlenbergia ligularis* 3, 3%, *Calamagrostis vicunarum* (1,2 %), y otras especies para las localidades de

Huillcani y Ospicios Ayacucho respectivamente, siendo superior a los resultados del presente trabajo.

Cabe mencionar, para la evaluación del porcentaje de germinación, se hizo un monitoreo desde la emergencia de la radícula hasta la formación de las plántulas, es decir se considera la formación de la primera hoja, así como la formación de las raíces seminales; solamente se contabilizaron las semillas germinadas, así como otras características que mostraron una raíz primaria con adecuado geotropismo y con las primeras hojas verdes y de apariencia sana, se descartaron plántulas anormales.

4.2 Indicadores del estado del suelo

4.2.1 Propiedades físicas

El tamaño y la proporción en que se encuentran las partículas minerales que forman el suelo determinan sus propiedades físicas: textura, estructura, porosidad y color. Este arreglo de partículas del suelo influye significativamente en la capacidad de aireación, infiltración y almacenaje de agua en el suelo, así como en su temperatura y capacidad de intercambio catiónico.

4.2.1.1 Textura

El análisis textural o granulométrico consiste en un conjunto de operaciones útiles para determinar las proporciones cuantitativas de cada fracción granulométrica que presenta un suelo. Conforme a los resultados de análisis del suelo de las áreas seleccionadas por condición del pajonal, se obtuvieron los promedios en porcentajes relativos y la clasificación textural del suelo (tabla 9), observándose que la textura de las tres condiciones está dentro de la clase textural franco arenoso y franco. Sin embargo, se observó una variación en los porcentajes sobre todo de arena y arcilla. El suelo de la condición buena y regular correspondió a la textura franco arenoso (Fr. A.), aun cuando, la condición pobre correspondió a la textura franco (Fr.), la cual resultó de menor porcentaje de arena lo que puede estar relacionado a un suelo de formación más reciente.

Tabla 10: Promedio en porcentaje relativo (arena, limo y arcilla) y clase de textura por condición del pajonal

Condición pajonal	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural
Bueno	55	28	17	Fr.A
Regular	59	31	10	Fr.A.
Pobre	47	36	17	Fr.

Los porcentajes de arena, limo y arcilla encontrados para los suelos de condición buena fueron de (55%, 28% y 17%), respectivamente; de otro lado, los porcentajes para la condición regular (59 %, 31%, 10%) muestran una probable pérdida de arcilla por lixiviación, a pesar de esta pérdida la textura de la condición buena fue también franco arenoso. Los valores de limo y arena resultan ser similares para las tres condiciones, pero el contenido de arcilla muestra ser diferente la condición regular. Si bien es cierto que las proporciones del componente mineral del suelo (arena, limo y arcilla) son determinantes, el componente orgánico constituido por la fracción orgánica del suelo cumple un rol importante en las propiedades del suelo. Huiza y Quispe (2017) al evaluar las propiedades físicas del suelo en pastizales de CIDCS-Lachocc Hunacavelica reportan para pajonales valores para la cancha Chilluapampa y Lazapata (62.3, 27.3, 10.3; 61.66, 25.33, 9.66) para arena, limo y arcilla para la textura (FrA) estos valores resultan ser superiores a los valores encontrados en el presente trabajo.

4.2.1.2 Densidad aparente

Las muestras para analizar la densidad aparente (DA) del suelo fueron obtenidas a una profundidad efectiva de 12 cm. Los resultados (Fig. 20) indican que la densidad aparente del suelo fue para la condición pobre (1.12 g/cc), la menor ($P < 0.01$) densidad aparente corresponde a la condición bueno (0.51), lo que se debe probablemente a un menor impacto del pastoreo y mayor biomasa sobre las propiedades físicas del suelo. Sin embargo, los valores encontrados están dentro de la clasificación de suelos sueltos menores a 1.3 g/cc). La DA está relacionado a la carga animal y el grado de compactación del suelo. Finalmente, los resultados obtenidos indican que la densidad aparente del suelo está proporcionalmente relacionada con la condición del pastizal, observándose que la condición buena muestra la menor densidad aparente lo que favorece principalmente una buena aireación y almacenaje de agua y por lo tanto un escenario que favorece el crecimiento de la vegetación.

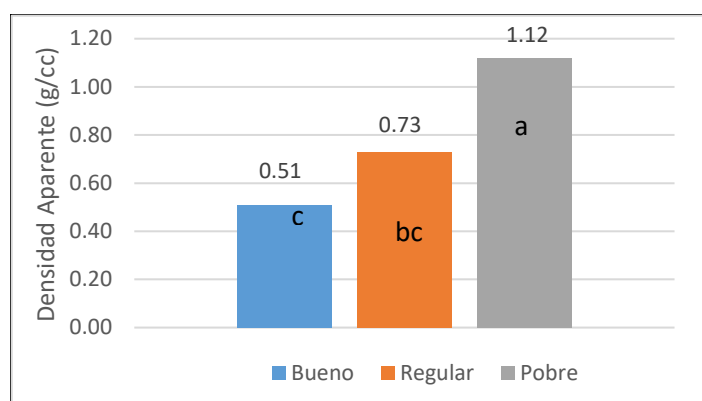


Figura 20: Densidad aparente del suelo en tres estados de conservación

Yalli (2017) reporta 0.88 g/cc de DA en las áreas pastoreadas por vacunos y llamas (0.86 g/cc), también reporto densidades aparentes más altas para pastizales en condición pobre (0.90 g/cc) que en pastizales de condición regular (0.84 g/cc). Estos valores resultan ser superiores a los valores encontrados en el presente trabajo para las condiciones regular y pobre. Tate *et al.* (2004) indican la condición pobre, reducida su cobertura vegetal producto de mayor frecuencia de pastoreo, también está asociada a la menor producción de biomasa del pajonal, menos cantidad de materia orgánica, mayor densidad aparente, baja tasa de infiltración del agua al suelo.

Los valores de DA varían de acuerdo a la textura del suelo es así que valores < 1.2 g/cc, tienen una porosidad alta, mientras suelos con una densidad alta (> 1.3 g /cc) muestran un espacio poroso reducido (Castro y Amézquita 1991). Las diferencias en DA se atribuyen a las fuerzas de compactación ejercida en el suelo por los animales, y el tiempo de perturbación; los mismos autores sostienen que el pisoteo de los animales en los sistemas ganaderos provoca la compactación del suelo modificando notablemente la relación del suelo, aire y agua; la intensidad de tales efectos provocados por el pastoreo en los ecosistemas de pastizales, está estrechamente relacionado a la carga animal. Pinos *et al.* (2022) reportan valores bajos de densidad aparente de (0.67, 0.37 y 0.40 g /cc) para suelos de paramo, de pastoreo y de cultivos respectivamente a un piso que va de 3210 a 3800 msnm.

4.2.1.3 Temperatura

La temperatura del suelo en general mostro la misma tendencia a través de las tres condiciones, la mayor temperatura fue registrada a una profundidad de 5 cm, para luego

observarse un descenso a mayores profundidades (12 y 20 cm). Lo que podría estar influenciando en su mayor temperatura en el perfil superficial dado que el agua es un buen conductor del calor, el patrón general es un reflejo en la hora de muestreo que fue al medio día, cuando la radiación incide perpendicularmente en la superficie del suelo y el calor que ingresa al suelo genera una gradiente de temperatura asociada al agua de la zona superficial la que a mayor profundidad el calor aún no ha sido conducido.

Los resultados de temperatura del suelo (figura 21), fueron a 5 cm. (12.5, 12, 12.7 °C) para las condiciones bueno, regular y pobre respectivamente, mientras que a una profundidad de 12 cm. (9.9, 9.1, 9.7 °C) y para 20 cm. (8.7, 8.3, 8.1 °C); estos valores son similares ($P>0.05$) para una misma profundidad de las tres condiciones bueno, regular y pobre. Sin embargo, no muestran diferencias ($P>0.05$) a diferentes profundidades de 5, 12, 20 cm dentro una misma condición, lo que se deduce a menor profundidad 5.0 cm el suelo tiene mayor temperatura en promedio (12.4 °C), mientras a mayor profundidad la temperatura es menor en (8.3 °C), el suelo es mucho más frío. La temperatura del suelo influye de manera significativa en la aparición de los brotes y el crecimiento de las plantas, el crecimiento de las raíces a menudo está limitado por temperatura de la rizosfera demasiado baja. Esta diferencia de temperatura podría atribuirse a la vegetación que está en su máxima expresión de crecimiento, que los rayos del sol no pueden penetrar a mayor profundidad del suelo por cuanto el muestreo se realizó en época lluviosa.

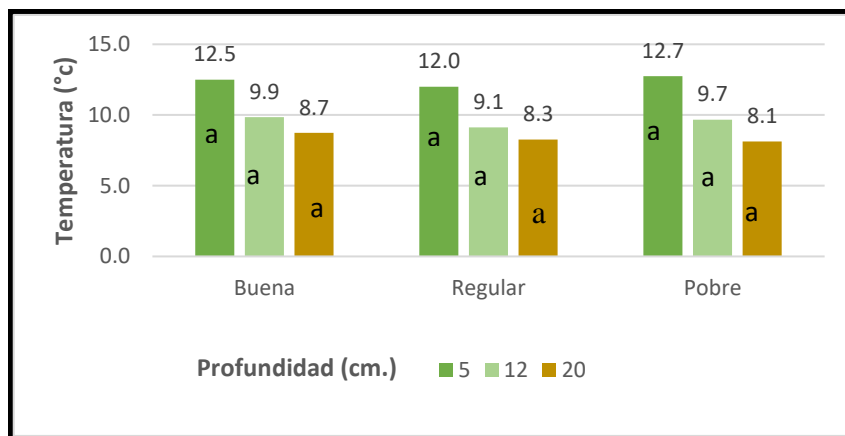


Figura 21: Temperatura de suelo en tres estados de conservación del pajonal

La temperatura del suelo puede variar de acuerdo a la época lluviosa y época seca. Los valores que reporta Ávalos (2006) de 15.6°C promedio para los meses de febrero a mayo, mientras, para los meses de junio a agosto de 11°C esta diferencia se debería esencialmente

al contenido de humedad que es mayor en las épocas lluviosas indica que existe una variación significativa de la temperatura del suelo entre la temporada de lluvias y la temporada seca.

Al comparar estos valores es superior a los encontrados en el trabajo para la época lluviosa. Cada especie tiene en las diferentes etapas de su desarrollo exigencias propias de la temperatura edáfica, también la temperatura tiene que ver con la germinación del banco de semillas (Ibañez 2008). La temperatura atmosférica directamente afecta la habilidad de las plantas para convertir los azúcares durante el crecimiento e indirectamente afecta el crecimiento por cambios en la tasa de microorganismos en el suelo que hacen disponible el nitrógeno para ser asimilado por las plantas a través de la mineralización (Korte 1987). La producción de pasto es superior cuando la temperatura del suelo es alta durante el otoño, invierno e inicio de la primavera (Radeliffe y Baars 1986, citados por Korte 1987). La clasificación de los regímenes de temperatura se hace en base a la temperatura promedio anual del suelo a 50 centímetros de profundidad (que es donde se homogeniza la temperatura del suelo y a mayor profundidad de 50 cm se incrementa). Normalmente la temperatura del suelo es más caliente que la temperatura del aire.

4.2.2 Funciones hidrológicas

4.2.2.1 Humedad

La humedad del suelo evaluada a tres profundidades por tratamiento, mostro las mismas tendencias ($P > 0.05$) entre las condiciones del pajonal, bueno, regular y pobre observándose que la humedad va descendiendo con la profundidad (figura 22). Los valores de humedad encontrados para 5 cm de profundidad fueron de (58, 60, 54 %), valores con la misma tendencia se observaron para la profundidad de 12 cm. (53, 53, 49 %), y para 20 cm. (47, 49, 46 %) para la condición bueno, regular y pobre respectivamente; se observó que a 12 cm de profundidad la humedad es ligeramente mayor el descenso capilar con respecto a 5 y 20 cm de profundidad, probablemente se debieron a que los muestreos realizados fueron en la época lluviosa y el estrato más superficial es la que recibe más precipitación. Yalli (2017) reporta valores de humedad del suelo más bajos de (29, 30, 25 %), para condición bueno, regular, y pobre respectivamente en pastizales evaluados a 15 cm de profundidad, estos valores son inferiores a los encontrados en el presente trabajo, probablemente la baja relación con la materia orgánica, por la estación del año, realizados antes y después del pastoreo en la época seca, y otros factores que haya influye en la humedad del suelo.

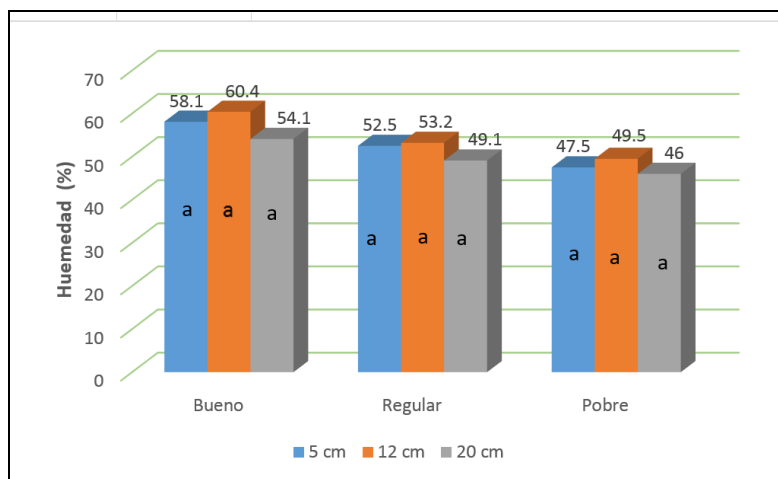


Figura 22: Humedad del suelo a tres profundidades del pajonal

Los reportes de Yaguache (2022) al evaluar durante un año la humedad y almacenamiento de agua en el suelo para cuatro tipos de cobertura en una microcuenca templada de Brasil, indica, los estratos superficiales de 0 a 5 cm y de 5 a 30 cm presentan la menor humedad volumétrica de todo el perfil del suelo, los promedios anuales fue de (6.7 y 7.2 %), respectivamente, mientras que los estratos más profundos de 30 a 50 cm de 50 a 80 cm y de 80 – 100 cm son las que más humedad registraron con (8.8, 12.3 y 12.9 %), respectivamente, con respecto a la cobertura de áreas con bosque nativo presentó mayor tasa de humedad volumétrica con (11.7 %), en segundo lugar con (10.3 %) presenta el suelo con pastizales, mientras que para el suelo cubierto con plantación de *Pinus* sp es (9.8 %) y para el suelo con cultivo agrícola (6.4 %), estas dos últimas coberturas presentan la menor tasa de humedad, el patrón de distribución temporal de lluvias registrado en 12 meses guarda relación con la humedad y almacenamiento de agua en el suelo, estos valores fue calcula como un porcentaje de humedad del volumen total de la muestra del suelo.

4.2.2.2 Tasa de infiltración

Los resultados de la tasa de infiltración inicial mostraron ser superiores ($P < 0.05$) para la condición bueno con mayor tasas de infiltración (13.8 cm/min), para la condición regular (4.0 cm/min) para la condición pobre de (2.0 cm/min), sin embargo la infiltración se detiene a un tiempo transcurrido de 20 minutos, expresando el punto de saturación de la conductividad hidráulica del suelo para las tres condiciones, la mayor tasa de infiltración fue en la condición bueno; esto probablemente se debe a varios factores: textura del suelo, menor grado de compactación (DA), mayor cantidad de mantillo, mayor cobertura y biomasa, aspectos que definitivamente habrían contribuido a mejorar la respuesta hidrológica para la

condición bueno. La disminución de la infiltración en la condición pobre se asocia al grado de compactación del suelo, mayor densidad, baja cantidad de materia orgánica con menos espacios porosos, menor cobertura vegetal, todo esto contribuye al incremento de la escorrentía superficial, lo que genera erosión, disminución del agua disponible para las plantas y otros factores asociados a la condición pobre.

El incremento de los niveles de tasa de infiltración suelen tener resultados directos en la provisión de la humedad del suelo, cobertura, materia orgánica, por lo que se afirma que la cobertura de la superficie del suelo es clave, por el rol que cumple en la absorción de la energía de las gotas de agua de lluvia y de esta forma previniéndola la pérdida de espacios de poros dentro de los cuales puede infiltrarse el agua al suelo; la cobertura reduce la escorrentía superficial, dando más tiempo al infiltrado del agua al suelo. En tal sentido podría mantener la porosidad del suelo gracias al mantillo y materia orgánica, permitiendo la conservación de la humedad disponible para la solución del suelo (FAO 1996).

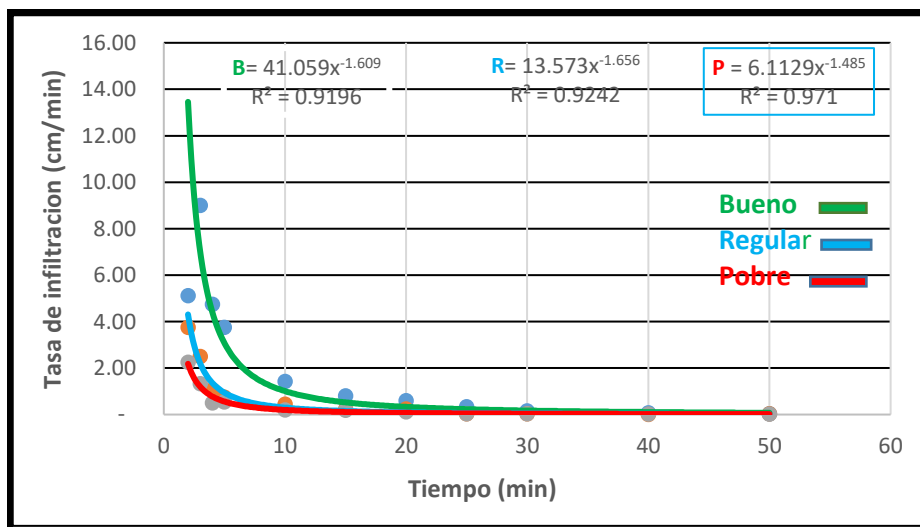


Figura 23: Tasa de infiltración en tres estados de conservación del pajonal

Al respecto Tacuna *et al.* (2021) en un estudio realizado en el cambio en la estructura de la vegetación y función hidrológica en pastizales en pastoreo y descanso reportan valores de infiltración de (6.4, 7.9, 8.1 cm/min) y (9.9, 12.9, 14.1 cm/min) respectivamente, además (Bill *et al.* 2020) al evaluar efectos del pastoreo y función hidrológica en pastizales regular y pobre reporta (0.16 cm/min y 0.12 cm/min) respectivamente. La tasa de saturación alcanzó a los 45 minutos transcurridos la de prueba, mostrando diferencia a los reportes del presente

trabajo. Sin embargo, la mayor velocidad de infiltración del presente trabajo es superiores a los resultados de Tacuna *et al.* (2021) y (Bill *et al.* 2020), las diferencias podrían darse a la estación del año en que se realizó las pruebas. Wilcox *et al.* (1988) mencionan sobre las variaciones de la tasa de infiltración está correlacionada positivamente con los atributos de la vegetación, como la cobertura de área basal, textura, materia orgánica, compactación y pedregosidad superficial del suelo, cantidad de arcilla, pendiente del terreno, densidad de vegetación, intensidad, frecuencia y magnitud de los eventos de precipitación, prácticas adecuadas de manejo y la cantidad de los escurrimientos que van sobre la superficie, todo estos componentes se expresan en mayor infiltración de la vegetación (Mwendera y Saleem 1997).

4.2.3 Propiedades químicas

El análisis de caracterización de los suelos, se realizaron siguiendo los protocolos de análisis que se exige en el Perú, las muestras fueron enviados al laboratorio de análisis de suelo y plantas de la UNALM.

4.2.3.1 pH

Los niveles de pH están referida al grado de acidez, neutralidad o alcalinidad del suelo, dado por la proporción de iones de hidrógeno (H^+) y de oxidrilos (OH^-). Cuando hay mayor presencia de H^+ , la reacción del suelo es ácida.

Los valores de pH de los suelos resultaron ser similares ($P > 0.05$) para las áreas en estudio, estos valores fueron (5.78, 5.64, 5.28) (figura 25) clasificándose como medianamente ácido para la condición bueno y regular, y fuertemente ácido para la condición pobre.

Los resultados obtenidos en pH concuerdan con los valores reportados por Quinto (2004) en el CIDCS-Lachocc, Huancavelica con valores < 5.5 , siendo ligeramente inferior a los reportes del presente estudio. Además, el reporte por Arias (1987) en S.A.I.S. "Pachacútec"-Junín son suelos moderadamente ácidos (5.6 - 6.0), Enríquez (2011) en Pampas-Huancavelica, reporta valores (5,94 a 6,66) estos reportes muestran ser leventes superiores a los suelos de Tomas. En general los suelos altoandinos tienen reacción acida debido la exposición al agua, al oxígeno, al bióxido de carbono y a compuestos orgánicos que incrementan los cationes metálicos (Al^{3+} , Fe^{3+} , Mn^{2+}) que pueden sufrir hidrólisis ácida

(Zapata 2004). Las reacciones acidas ocurren por procesos naturales incluyen factores edáficos, climáticos y biológicos de los suelos de puna (Aguirre 2001).

4.2.3.2 Capacidad de intercambio catiónico

Los valores promedio encontrados para la capacidad de intercambio catiónico (CIC) fueron (32.96, 39.60 y 26.72 meq/100g (Fig. 24) para las condiciones de bueno regular y pobre mostrando ser similares ($P>0.05$); la condición regular es superior a las otras condiciones solo numéricamente. Los valores encontrados son considerados altos, son característicos de suelos orgánicos y/o arcillosos con presencia de sustancias húmicas cargadas negativamente. Estos valores indican el potencial de un suelo para retener e intercambiar nutrientes, reduciendo también la posibilidad de perder los nutrientes con el agua de lluvia. Los valores tienen relación con lo observado en la textura de los suelos, la condición buena y regular, estos presentaron el mismo porcentaje de arcilla (17%), mientras que la textura franca del área de condición pobre presento un (10%) de arcilla, esta diferencia explica en parte la mayor capacidad de intercambio catiónico que muestran las áreas regular y buena. De otro lado los valores de CIC también están relacionados al contenido de materia orgánica Gavilán (2004) que fue esencialmente el mismo para la condición buena y regular (37 y 36%) respectivamente. Similares valores altos de CIC han sido reportados por Alegría F. (2013) para pastizales en Cerro de Pasco (18.56 – 41.12 meq/100g.) y (Huiza 2017) para pajonales del CIDCA Lachocc Huancavelica (24.53 – 25.17 meq/100g.) Estas diferencias se deben al contenido en arcilla y materia orgánica. Los resultados del presente trabajo concuerdan con los reportes de los autores ya mencionados siendo característico de suelos ácidos de los andes.

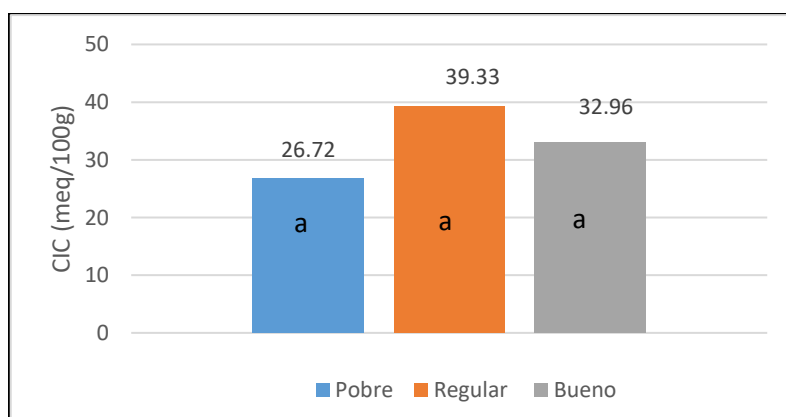


Figura 24: Capacidad de intercambio catiónico en condiciones del pajonal

4.2.3.3 Materia orgánica

La materia orgánica del suelo (MOS) es un complejo de una variada mezcla de sustancias orgánicas incorporadas al suelo, el contenido de materia orgánica en el suelo es controlado por el tipo de vegetación, el clima y la textura del suelo. La materia orgánica presente en los suelos de condición buena y regular fueron más altos ($P < 0.5$), (19.87, 19.36 %) que los encontrados para la condición pobre (9.36 %). Sin embargo, los resultados obtenidos para las tres condiciones muestran alto contenido de materia orgánica en (%), los cuales siguen el patrón de biomasa, donde la condición buena presento mayor biomasa seguida por la condición regular y pobre.

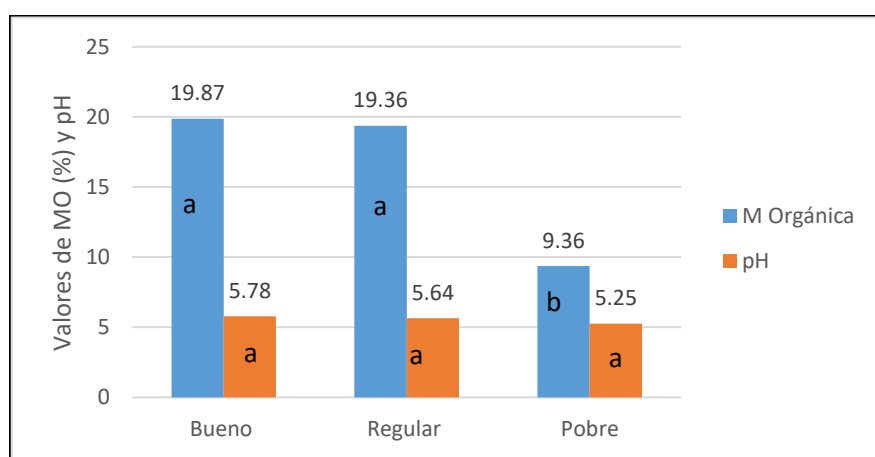


Figura 25: Materia Orgánica del suelo y pH en tres condiciones de pajonales

Los datos reportados por Alegría (2013) para pastizales en Cerro de Pasco son menores a los hallados en el presente estudio (7.7 a 13.3%) sin embargo, estos valores son altos en concordancia a los valores de la tabla de MOS. En cambio Quinto (2004) en estudios conducidos el Centro de Investigación y Desarrollo de Camélidos Sudamericanos CIDCS-Lachocc Huancavelica, encontró MOS con valores más bajos con respecto a la clasificación de medio (2 – 4%); y en los trabajos realizados por Enríquez, F. (2011) en Acraquia reporta (5.87%); igualmente Huiza (2017) al evaluar las propiedades físicas y químicas del suelo en LACHOCC encontró valores en materia orgánica en pajonales de Tucumachay (4.94%), Sorahuaycco (3.50 %), estos reportes se encuentran muy debajo de los hallados en el presente estudio. Estas diferencias podrían deberse a las diferencias en clima, altitud, vegetación, la fisiografía, la naturaleza del material madre y el sistema de manejo. Por otra parte, los altos contenidos de MOS están explicados por la altitud y temperatura de la zona de estudio, a mayor altitud la materia orgánica se incrementa, debido al lento proceso de humidificación

y mineralización de la misma, por baja actividad de los microorganismos del suelo. La materia orgánica varía en función a la profundidad, al estado de conservación, a la cantidad de mantillo, a la topografía del suelo. En relación a la profundidad, en la superficie se encuentra mayor cantidad de materia orgánica en relación a estratos profundos (Áviles y Hernández *et al.* 2009).

4.2.3.4 Cationes cambiables

Los contenidos de los macronutrientes de N, P y K del suelo fueron en promedio de (0.95%, 0.91% y 0.46% N); (6.25, 6.65 y 3.2 ppm P); (240, 237 y 202 ppm K) (anexo 8), para la condición bueno, regular y pobre respectivamente. Los valores de N fueron similares para la condición bueno y regular, y superiores a la condición pobre. Con respecto al P la condición bueno y regular son superiores a la condición pobre, en K se observaron valores estadísticamente similares ($P > 0.05$) solo muestran diferencia numérica; Los valores encontrados para P corresponden a niveles bajos; mientras para el contenido de K corresponde a nivel medio. El nitrógeno total se ha calculado por la relación de (% N total = % M.O./20) según Barrera, J. *et al.* (2007). La característica más común y generalizada de los suelos andinos, es la baja a moderada fertilidad, así como bajos niveles de nitrógeno, fósforo y cationes básicos (SNC 1992).

Estos resultados son similares a los reportados por Enríquez (2011) en estudios conducidos en Pampas Tayacaja, localidad de Acraquia, los reportes muestran alto contenido de N de (0,29%), tiene un alto contenido de P de (23,67 ppm), baja en K (87.52 ppm). Estos resultados son inferiores a los valores encontrados en el presente trabajo. Además Huiza (2017) reporta valores para N, P y K para suelos de pajonales, del CIDCS – Lachocc, valores de (0.12 – 0.50%N); (2.23 – 24.47 ppm P) y (33.33 – 436.33 ppm K) esta diferencia se atribuye al contenido de la M.O. favorece a una mayor disponibilidad y, relativamente, un mayor contenido de los macronutrientes (NPK); la mayor parte del potasio en el suelo se relaciona con la fracción inorgánica del suelo descomposición de rocas compuestas por minerales potásicos (Rojas 2006, Navarro 2003).

V. CONCLUSIONES

1. Al evaluar tres áreas de condición buena, regular y pobre de pajonales, se encontraron diferencias en los indicadores de vegetación. La condición buena superior en producción de biomasa, mantillo, banco de semillas y materia orgánica con respecto a la condición pobre, en las áreas de condición pobre se observó un incremento de la diversidad de especies corroborados por el pastoreo más recurrente.
2. Con respecto a los índices del suelo para las diferentes condiciones del pajonal, la condición bueno muestra mayor materia orgánica, menor densidad aparente, mayor velocidad de infiltración, con respecto a la condición pobre, la condición pobre incremento la densidad aparente, mayor diversidad relacionado con su historia de pastoreo más intenso.
3. Las variables que se mantienen estables en las tres condiciones fueron: el pH, la capacidad de intercambio catiónico, Humedad y temperatura, las variables cambiantes fueron el rendimiento de forraje, mantillo, densidad aparente, diversidad, capacidad de infiltración, banco de semillas, estos cambios contribuyen al cambio de equilibrio en sus componentes de los ecosistemas de los pastizales

VI. RECOMENDACIÓN

1. Realizar estudios incluyendo un mayor número de estados de conservación o condición del pastizal para generar información más precisa acerca de los cambios que ocurren en el ecosistema con el deterioro del mismo.
2. Conducir estudios similares con un mayor número de réplicas enfatizando los parámetros que cambian en mayor magnitud a medida que la condición se deteriora.
3. Realizar estudios que ahonden en el tema del banco de semillas, los cuales podrían incluir diferentes épocas como luego de diseminación de semillas, así como la identificación de las especies.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AOAC.1980. Official Methods of Analysis (13th ed). Association of official Analytical Chemist. Washington D.C. 125p.
- Alegría, Velásquez, F. 2013. Inventario y uso sostenible de pastizales en la zona colindante a los depósitos de relavera de Ocroyoc - Comunidad San Antonio de Rancas – Pasco. Tesis de grado: Mg en Desarrollo Ambiental. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Atilio, 2020. Los recursos naturales, degradación de ecosistemas, área ecología - editorial científica universitaria - universidad nacional de Catamarca ISSN: 1852-3013.
- Alegre, J; García, S; Guerra, P; LAO, C; Vega, R. 2014. Manual de la materia orgánica en los sistemas agroforestales. VLIR-UNALM. 24 p.
- Álvarez-Lopeztell, J; Rivas-Manzano, IV; Aguilera-Gómez, LI; González-Ledesma M. 2016. Diversidad y estructura de un pastizal en el Cerrillo, Piedras Blancas, Estado de México, DOI: [10.1016/j.rmb.2016.06.006](https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.06.006)
- Aguirre, MZ. 2013. Guía de Métodos para medir la Biodiversidad Loja-Ecuador.
- Amlinger, F; Peyr S; Geszti J; Dreher P; Karlheinz, W; Nortcliff, S. 2007. Beneficial effects of compost application on fertility and productivity of soils. Literature Study, Federal Ministry for Agriculture and Forestry, Environment and Water Management, Austria.
- Álvarez-López, Tello; Irma, Victoria Rivas-Manzano; Luis, Isaac; Aguilera-Gómez; Manuel, González-Ledesma. 2016. Diversity and structure of a grassland at El Cerrillo, Piedras Blancas, Estado de México, Mexico Rev. Mex. Biodiv. vol.87 no.3 México sep. 2016.

- Álvarez-Lopezello, J. 2010. Caracterización de un pastizal en «El Cerrillo Piedras Blancas», Toluca, Estado de México. Tesis. Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, Estado de México.
- Alba, López - Herrera, J; Adolfo, Chica-Ruiz; María, Pérez-Cayeyro. 2020. Evaluación de los Servicios Ecosistémicos Costeros en el Marco de los Efectos del Cambio Climático: Caso de Estudio Parque Natural Bahía de Cádiz (España)
- Álvarez, S. 2003. La descomposición de la materia orgánica en humedales: importancia del componente microbiano. *Ecosistemas* 24 (2):17-29.
- Aguirre, TL. 1985. Evaluación de pastizales: mapeos de sitios, determinación de la condición y estimación de la soportabilidad ganadera en la Estación Experimental de Camélidos Sudamericanos La Raya
- Ahumada, JA; Silva, CEF; Gajapersad, K; Hallam, C; Hurtado, J; Martin, E; Andelman, S, J. 2011. Community structure and diversity of tropical forest mammals: data from a global camera trap network. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 366(1578), 2703-2711. doi:10.1098/rstb.2011.0115.
- Azaña, VY. 2017. Evaluación del Efecto de Clausura Sobre la Recuperación de Pastizales Nativos en la Quebrada Llaca, Parque Nacional Huascarán-Ancash Tesis UNSAM. Briske,
- Azaña, Velásquez. 2017. Evaluación del Efecto de Clausura Sobre la Recuperación De Pastizales Nativos En La Quebrada Llaca, Parque Nacional Huascarán-Ancash
- Bestelmeyer, BT; Brown, JR; Havstad, KM; Alexander, R; Chavez, G; Herrick, JE. 2003. Development and use of state-and-transition models for rangelands. *Journal of Range Management* 56: 114–126.

- Buxton, DR; Casler, MD. 1993. Environmental and genetic effects on cell wall composition and digestibility, P. 685-714 In: Forage cell wall Structure and digestibility. 1993 ASA-CSSA-SSSA, 677 Madison, WI 53711, USA.
- Briske, DD. 2017. Sistemas de pastizales: procesos, manejo y desafíos (p. 661). Naturaleza Springer.
- Bonadeo, E; Moreno I; Bongiovanni, M; Marzari, R; Ganum, Gorriz, MJ. 2017. Sistema suelo-planta - Río Cuarto: Uni Río Editora, 2017. Libro digital, PDF - (Pasatextos).
- Briske, DD; Fuhlendorf, SD; Smeins, FE. 2003. Vegetation dynamics on rangelands: a critique of the current paradigms. *J. Appl. Ecol.* 40: 601-614. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.2003.00837.x>
- Baker, H. 1974. The evolution of weeds. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 5, 1-24.
- Briske, DD; Fuhlendorf, SD; Smeins, FE. 2005. State-and-transition models, thresholds and rangeland health: a synthesis of ecological concepts and perspectives. *Rangeland Ecology and Management.* 58: 1–10.
- Briske, DD; Derner, JD; Milchunas, DG; Tate, KW. 2011. An evidenced-based assessment of prescribed grazing practices. In: D. D. Briske [ED.]. Conservation benefits of rangeland practices: assessment, recommendations, and knowledge gaps. Lawrence, KS, USA: Allen Press. p. 22–47.
- Briske, DD. 1991. Developmental morphology and physiology of grasses. In: R. K. Heitschmidt, RK y Stuth, JW (Eds.). *Grazing Management: An Ecological Perspective.* Timber Press, Portland. Pp 85-108.
- Briske, DD. Fuhlendorf, SD; Smeins, FE. 2005. State-and-transition models, thresholds, and rangeland health: A synthesis of ecological concepts and perspectives. *Rangeland Ecology and Management*, 58(1): 1-10. [https://doi.org/10.2111/1551-5028\(2005\)582.0.CO](https://doi.org/10.2111/1551-5028(2005)582.0.CO);
- Bradford, P; Wilcox, FC; Bryant, y Victor, Belaun Fraga. 1987. An Evaluation of Range

Condition on One Range Site in the Andes of Central Perú.

- Buytaert, W; Célleri, R; De Bièvre, B. y Cisneros, F. 2006. Hidrología del páramo andino: propiedades, importancia y vulnerabilidad. Cuenca. Recuperado: http://www.Paramo.org/files/hidrologia_paramo.pdf.
- Bonnesoeur, V; Locatelli, B; Guariguata, MR; Ochoa, Tocachi, BF; Vanacker, V; Mao, Z; y Mathez-Stiefel, S. L. 2019. Impacts of forests and forestation on hydrological services in the Andes: A systematic review. *Forest Ecology and Management*, 433, 569-584.
- Burgos, A. 1991. Efectos del pastoreo de bovinos en las propiedades fisicoquímicas de suelos de ladera en un sistema Silvo pastoril del Valle del Cauca. Universidad Nacional de Colombia Palmira. 80 p.
- Bakker, JP; Bakker, E.S; Rosen, E; Verweij, G.L. y Bekker, RM., 1996. Perspectives of restoration of dry Alvar communities from the seed bank after Juniper encroachment. *J. Veg. Sci.* 7:165–176.
- Bovarnick, A; Alpizar, F; Schnell, C. 2010. La importancia de la biodiversidad y de los ecosistemas para el crecimiento económico y la equidad en América Latina y el Caribe: Una valoración económica de los ecosistemas, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. New York.
- Brady, NC. 1974. *The Nature and Property of Soils*. 8th Ed. Macmillan Publishing Company, Inc., New York, N.Y.
- Camilo, J; Matiz, L; Gilbert RR; Claudia Alfaro-Valero 2019 Modelos de temperatura del suelo a partir de sondeos superficiales y sensores remotos para el área geotérmica de Paipa, Boyacá-Colombia - *Boletín de Geología*, vol. 41, núm. 2, pp. 71-88, 2019.
- Cervantes, R; Sánchez, JM; Alegre, J; Rendón, E; Baiker, JR; Locatelli, B; y Bonnesoeur, V. 2021. Contribución de los ecosistemas altoandinos en la provisión del servicio ecosistémico de regulación hídrica. *Ecología Aplicada*, 20(2), 137-146.

CENAGRO (IV Censo Nacional Agropecuario). 2012. Instituto nacional de Estadística e Informática.

Clements, FE. 1916. Plant succession: an analysis of the development of vegetation. Carnegie Inst. Washington Pub. 242:1-512

Castro, F; Amézquita. 1991 C. E. Sistemas de labranza y producción de cultivos en suelos con limitantes físicos. Suelos Ecuatoriales. 21(1): 21-28, 1991.

Castro, DLC. 2019. Tesis. Momento de cosecha y capacidad de germinación de semillas de tres gramíneas altoandinas (*festuca dolichophylla*, *festuca humilior* y *calamagrostis vicunarum*)” UNALM.

Clements, FE. 1932. Nature and structure of the climax. Journal of ecology 24: 552-584.

CREAF. 2016. Centro de Investigacion Ecologica y Aplicaciones forestales

Chambers, JC; MacMahon, JA. 1994. A day in the life of a seed: movements and fates of seeds and their implications for natural and management systems. *Annual Review of Ecology and Systematics* 25:263-292.

Chandrashekara, UM; Ramakrishnan, PS. 1993. Germinable Soil Seed Bank Dynamics During the Gap Phase of a Humid Tropical Forest in the Western Ghats of Kerala, India. *J. Trop. Ecol.*, 9 (4): 455-467.

Charles, Darwin. 1859. El origen de las especies.

Distel, RA. 2013. Manejo del pastoreo en pastizales de zonas áridas y semiáridas. Revisión bibliográfica. *Revista Argentina de Producción Animal*. 33 (1): 53-64.
<http://ppct.caicyt.gov.ar/index.php/rapa/article/view/3566>.

Dyksterhuis, EJ. 1949. Condition and management of rangeland based on quantitative ecology. *Journal of Range Management* 2: 104–115.

- D'Atri, P. 2007. Pastizales del mundo. Novedades de Biodiversidad en América Latina N° 160. IPS (Inter Press Service) e IFEJ (Federación Internacional de Periodistas Ambientales).
- Easdale. 2021. Bases para una ley de pastizales de regiones áridas y semiáridas de la Argentina <https://doi.org/10.25260/EA.21.31.2.0.1234>
- Flóres, E; Pfsifer, J. 1989. Sheep and alpaca productivity on high Andean rangelands in Peru. *Journal of Animal Science*. 67: 3087-3095.
- FAO, (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación). 2008. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe.
- .
- FAO. 1996. Principios de Manejo de Praderas Naturales. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria – INTA Argentina – y Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. 2da Ed. Santiago, Chile. 273 p.
- FAO. 2011. Adaptación al cambio climático y manejo de riesgos en los andes tropicales. Buenas prácticas sistematizadas en Perú. Encontrado en: www.fao.org/climatechange/68071/es.
- Farfán, LR. 2012. Producción De Pasturas Cultivadas Y Manejo De Pastos Naturales Altoandinos Puno.
- Flórez, A. 2005. Manual de pastos y forrajes altoandinos. Intermediate Technology Development Group ITDG y Oikos Cooperacao e Desenvolvimento. 53 p
- .
- Flores, E. 1993. Naturaleza y usos de los pastos Naturales. Manual de Producción de Alpacas y Tecnología de sus Productos *TTA*. Perú. 23-37 p.
- Flores E. 1991. Manejo y utilización de pastizales. En: Avances y perspectivas del conocimiento de los camélidos sudamericanos. FAO. Santiago, Chile. 429 p

- Flórez, A; Malpartida, E. 1987. Manejo de pradera nativas y pasturas en la región altoandina del Perú. Banco Agrario. Tomo I
- Flores, ER; y Ñaupari, J.A. 2011. Identificación y evaluación de ecosistemas de la cuenca del Río Santa con el uso de Sistemas de Información Espacial. Convenio UICNUNALM. Informe publicado por el Laboratorio de Ecología y Utilización de Pastizales UNALM.
- Flores, ER. (2014). Marco conceptual y metodológico para estimar el estado de salud de los bofedales. Nota Técnica 9. Ministerio del Ambiente. Recuperado de https://mountain.pe/wp-content/uploads/2015/05/HIMAP-TMI_MINAMBID_IMACC_Bofedales_Nota-tecnica-10-04-2015.pdf.pdf.
- Flores, ER; Ñaupari, JA; Tácuna, RE. 2015. La economía del cambio climático en el Perú: ganadería altoandina. C.E. Ludeña y L. Sánchez- Aragón (editores). Banco Interamericano de Desarrollo, Monografía N° 265. Washington D.C.
- Friedel, MH. 1991. Range condition assessment and the concept of thresholds: A viewpoint. *Journal of Range Management* 44: 422–426.
- Francis, CF; Thornes, JB; Romero, Díaz, A; López Bermúdez, F; y Fisher, GC. 1986. Topographic control of soil moisture, vegetation cover and land degradation in a moisture stressed Mediterranean environment. *Catena*, 13:211-225.
- Famiglietti, JS; Rudnicki, JW; y Rodell, 1998. Variability in surface moisture content along a hillslope transect: Rattlesnake Hill, Texas. *Journal of Hydrology*, 210:259- 281.
- Friedel, MH. 1991. Range condition assessment and the concept of thresholds: A viewpoint. *Journal of Range Management* 44: 422–426.
- Fernández, LS; Arévalo, JR; Nascimento, LM; Bermejo, LA. 2012. Long-term vegetation responses to different goat grazing regimes in semi-natural ecosystems: a case study in Tenerife (Canary Islands). AVS DOI:10.1111/j.1654-109X.2012.01211.x
- García, MGC; Ciari G; Gaitan, J; Caruso, N; Nagahama, W; Opazo, V. Nakamatsu,

- García SG. 2018. Influencia de la revegetación con *Festuca humilior* y la incorporación de fertilizantes en la recuperación de pastizales degradados. UNALM.
- Grayson, R; Blöschl, G. 2000. *Spatial Patterns in Catchment Hydrology: Observations and Modelling*. Cambridge University Press, New York, 404 pp
- García, SG. 2018. Influencia de la Revegetación con *Festuca Humilior* y la Incorporación de Fertilizantes en la Recuperación de Pastizales Degradados UNA La Molina.
- Gómez, LJ; White, SWE. 2009. Evaluación del Banco de Semillas del Suelo de Tres Comunidades Vegetales Tesis. Parque Ecológico Municipal Cerro Canta Gallo, Tesis Condega, Estelí, Nicaragua.
- Halfpter, G. 1998. A strategy for measuring landscape biodiversity. *Biology International*, **36**: 3-17.
- Huiza, M; Quispe, T. 2017. Evaluación de las Propiedades Físicas y Químicas del Suelo de los Tipos de Pastizal del Centro de Investigación de Camélidos Sudamericanos Tesis. Lachocc-Huancavelica.
- Harper, JL. 1977. *Population Biology of Plants*. London: Academic Press. pp. 33-111.
- Huyghea, E.D; Kamarb N.E; Wagnerd F; Yeungd S.J; Capiettod A.H; El-Kahwajib L; F. Muscaric F.; Plantea P.D y L. Rostaingb F. 2008) *Erectile Dysfunction in Liver Transplant Patients*.
- Holechek, J; Pieper, RD; Herbel, CH. (2001). *Range management: Principles and practices* (4° ed.). New York, Estados Unidos: Prentice Hall.
- Herbel, CH. 1983. Principles of intensive range improvements. *Journal of range management*. 36(2):140-144.
- Holechek, JL. 1989. *Range inventory and monitoring*. Range management principles. University of New Mexico, USA. 1 – 22 p.

- Horn, HS. 1976. Succession. In R. May (ed.) *Theoretical Ecology: Principles and applications*, Blackwell, London. Pp 187-204.
- Hooda, M. Stewart, E; Fitzgibbon, F; Reid, I; Longstaff, C; Packer, I. 2010. Los nemátodos indicadores útiles de condiciones del suelo. Un informe de las Industrias Rurales de Investigación y Desarrollo Corporación CSIRO Entomología. RIRDC, Kingston, Australia
- ISTA (International Seed Testing Association). 2006. *International rules for seed testing*.
- Johnson, HD. 1985. Physiological responses and productivity of cattle. In: *Stress Physiology in livestock*. Vol. II Ungulates. CRC Press, Inc. Boca Raton. 454pp.
- Jiménez, LS; y Mezquida, T; Marta, Benito CM; Rubio SR. 2007. Cambio en las Propiedades del Suelo por Transformación de Áreas Boscosas Tesis. En *Pastizales En Zamora-Chinchipe (Ecuador)*.
- Korte, C; Chu A; y Field, T. 1987. Pasture production. In.- *livestock feeding on pasture*. Occasional publication N° 10. 145p.
- Lackburn, WH; Thurow, TL; Taylor, CA. 1986. Soil erosion on rangeland. In: *Proceedings Use of cover, soils and weather data in Rangeland Monitoring Symposium*. Society for Range Management, Denver, CO, USA, pp. 31–39.
- López, D; Bran, D; Siffredi, G. 2009. Modelo de estados y transiciones: un enfoque para el manejo y recuperación de los pastizales naturales patagónicos. *Revista Presencia* N° 53, INTA Bariloche.
- Lopes-Mazzetto, JM; Schellekens, J; Vidal-Torrado, P; Buurman, P. 2018. Impact of drainage and soil hydrology on sources and degradation of organic matter in tropical coastal podzols. *Geoderma*. 330: 79–90.

- LUP (Laboratorio de Utilización de Pastizales). 2008. Guía metodológica para la evaluación de pastizales-Documento interno. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, 15 p.
- Loreau, M. 2003. Vinculando biodiversidad y ecosistemas: hacia una teoría ecológica unificadora. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 365: 49-60.
- Lull, HW; y Reinhart, KG. 1955. Soil moisture measurement. U.S.D.A. Southern For.Exp. Sta., NewOrleans, LA., Occas. Paper N° 140.
- Lloyd, C; Cotut, G; Irisarri G; Escobar J. 2017. Análisis de la evolución del clima y los pastizales naturales en el noroeste de la provincia de Chubut, Argentina . *AGRISCIENTIA*, 2017, Vol. 34: 59-69.
- Martín, EC. 2017. Métodos para Medir la Humedad del Suelo para la Programación del Riego.
- Marone, L; Rossi, BE; y Lopez de Casenave, J. 1998. Granivore impact on soil seed reserves in the central Monte desert, Argentina. *Funct. Ecol.* 12: 640–645.
- Márquez, S; Funes, G; Cabido, M; Pucheta, E. 2002. Efectos del Pastoreo Sobre el Banco de Semillas Germinable y la Vegetación Establecida en Pastizales de Montaña del Centro de Argentina Revista.
- McCarty, JP. 2001. Ecological consequences of recent climate change. *Conservation Biology* 15(2):320-331.
- McNaughton, SJ; Oesterheld, DA; Frank y KJ; Williams. 1989. Ecosystem-level Patterns of Primary Productivity andHerbivory in Terrestrial Habitats. *Nature* 341:142-144.
- Márquez, S; Funes G; Cabido M, y Pucheta, E. 2002. Efectos del pastoreo sobre el banco de semillas germinable y la vegetación establecida en pastizales de montaña del centro de Argentina *Revista Chilena de Historia Natural* 75: 327-337, 2002.
- Marschner, H. 1986. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, Harcourt brace Jovanovich Publ.

- Miller, GW; Shigematsu, A; Welkie, GW; Motoji, N; Szlek, M. 1990. Potassium effect on iron stress in tomato. II. The effects on root CO₂-fixation and organic acid formation. *Journal of Plant Nutrition*. 13: 1355-1370
- MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego). 2014. Erosión de los Suelos en el Perú. Cartillas para la conservación del suelo.
- Marcos, H Esdali. 2021. Bases para una ley de pastizales de regiones áridas y semi aridad de Argentina *Ecología Austral* 31:316 – 327 agosto 2021
- MINAM (Ministerio del Medio Ambiente). 2015. Cambio climático en el Perú.
- Mosquera, GM; Marín, F; Stern, M; Bonnesoeur, V; Ochoa-Tocachi, BF, Román-Dañobeytia, F., y Crespo, P. 2022. Avances en la comprensión de la hidrología de los pastizales andinos de altura bajo cambios en el uso del suelo. *Ciencia del Medio Ambiente Total*, 804, 150112.
- Mamani, MG. 2001. Zonificación Ecológica para el Mejoramiento de las Praderas Naturales de la Micro Cuenca Río Negro, Ancash Tesis Msc, Producción Animal, Universidad Nacional Agraria la Malina. Lima. Perú.
- Moore, ID; Burch, GJ; y Mackenzie, DH. 1988. Topographic effects on the distribution of surface soil water and the location of ephemeral gullies. *Trans. Am. Soc. Agrie. Eng.*31: 1098-1107.
- Milton, SJ; y Siegfried, WR. (1994). A conceptual model of arid rangeland degradation. *BioScience*, 44(2): 70-76. doi: <https://doi.org/10.2307/1312204>.
- Merz, B; y Plate, EJ. 1997. An analysis of the effects of spatial variability of soil and soil moisture on runoff. *Water Resour. Res.* 33(12), 2909- 2922.
- Neil, E. 1995. "Biodiversity on rangelands, proceedings of the symposium," *Natural Resources and Environmental Issues*: Vol. 4

- Nyberg, L. 1996. Spatial variability of water content in the covered catchment at Gardsjon, Sweden. *Hydrological Processes*, 10: 89-103.
- Odum, EP; y Barrett, GW. (2006). *Fundamentos de ecología* (5° ed.). México: Thomson.
- ONU (Organización de Naciones Unidas). 2005. *sobre la Restauración de los Ecosistemas*
- Ordaya, C. 2011. Variación poblacional de pastizal de la sub cuenca alta de Shullcas, con relación al suelo y piso altitudinal. Tesis de grado Ingeniero Zootecnista. UNCP.
- Oñate, M. 1991. Caracterización físico química de los suelos de las ares de cultivos marginales en Chimborazo, Riobamba –Ecuador.
- Portillo, Arreguín¹, DM; López, Acosta¹, NP; Barba, Galdámez, DF; y Sánchez, S. 2018. Determinación de propiedades térmicas de los suelos a partir del método de la aguja.
- Pantano, V; Spescha L; Penalba O; Murphy, G. 2014. Influencia de la variabilidad de temperatura y precipitación en la Situación Hídrica del suelo, en la región oriental de secano de la Argentina. *Meteorologica*. Volumen 39 Número 2: 21-36.
- Paruelo, JM. 2011. Valoración de servicios ecosistémicos y planificación del uso del territorio ¿Es necesario hablar de dinero? En Laterra, P., E. Jobbágy y J. Paruelo editores.
- Parker, K. 1951. Method of measuring trend in range conditions on national forest ranges. USDA Forest Service, 26 pp, mixeo.
- Pyke, DA; Herrick, JE; Shaver, P. & Pellant, M. (2002). Rangeland health attributes and indicators for qualitative assessment. *Journal of Range Management*, 55(6): 584-597. <https://doi.org/10.2307/4004002>
- Pucheta, E; Vendramini, F; Cabido M; y Díaz, S. 1998. Estructura y funcionamiento de un pastizal de montaña bajo pastoreo y su respuesta luego de su exclusión.

- Parra, RF; Torres, G. y Ceroni, S. 2004 composición Florística y Vegetación de Una Microcuenca Andina: El Pachachaca - Huancavelica Tesis. *Ecología Aplicada*, 3(1,2), 2004.
- Parker, KW. 1951. A method for measuring trend in range condition on national forest ranges. U.S. Dept. Agr.; Forest Service, Washington, DC. 26 pp.
- Pierson, FB; Blackburn, WH; Van Vactor, SS. 2007. Hydrologic impacts of mechanical seeding treatments on sagebrush rangelands. *Rangeland Ecol. Manage.* 60: 666- 674.
- Quinto, E. 2004. Inventario y Capacidad de Carga Animal del Centro De Investigación de Camélidos Sudamericanos Lachocc. Tesis Grado Ingeniero Zootecnista, Universidad Nacional de Huancavelica - Perú.
- Quispe Mayta; Ruben Willeam 2017. Almacenamiento de carbono en pastizales naturales con y sin práctica de restauración del paraje Lomo Largo – Jauja. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Ratto, SM; González, L; Marbán, L; Giuffré, 1999. Calidad de suelos antrópicos en espacios verdes urbanos. *Gerencia Ambiental* 38:36-40.
- Rehm, S.1986. Okophysilogie den tropischen und subtropischen nutspflanzen en: Rehm 5 (Ed) Gnuindlagen des pflaszenbaues in den tropen u subtropen cerl ulmer Stuttgart 93 – 114.
- Ratto, 2000. Determinación de la capacidad de campo en suelos de textura franco arcilla arenosa en la provincia de Imbabura Ecuador.
- Ratto, S; González, M; Marbán. L; y Giuffré, L. 1999. Calidad de suelos antrópicos en espacios verdes urbanos. *Gerencia Ambiental* 38:36-40.
- Reynolds, SG. 1970. The gravimetric method of soil moisture determination, II. Typical required sample sizes and methods of reducing variability. *Journal of Hydrology*, 11: 274-287.
- Reid, I. 1973. The influence of slope orientation upon the soil moisture regime and its hydrogeomorphological significance. *Journal of Hydrology*, 19: 309-321.

- Salcedo, AP; Solorza, NR. 2008. Estudio de la degradación de Tierras mediante análisis fisiográfico y aplicación de técnicas de teledetección. Cuenca media e inferior del río Guañacos, Departamento de Minas, Provincia del Neuquén. Boletín Geográfico Shannon, C.E. and W. Weaver. 1949. The Mathematical Theory of Communication. University Illinois Press.
- Sokal, R; Rohlf, FJ. 1979. Biometría principios y métodos estadísticos en la investigación biológica. Madrid: Blume.
- Samaniego, J; Galindo, L. 2015. “Escenarios de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero Asociados a Combustibles Fósiles en América Latina: Una aproximación empírica”, inédito.
- SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú). 2012. Consultado el 08 enero del 2013. Disponible: <http://www.senamhi.gob.pe>.
- Simpson, RL; Leck, MA; Parker, T. 1989. Seed bank: general concepts and methodological issues. En: M.A.P. Leck, V.T. Parker; R.L Simpson. (eds). Ecology of soil seed bank. San Diego, California. Academic Press; Inc. San Diego, California. pp. 3-8
- Soza, EL; Mené, SV; Salinas, S. 2017. Revista de la Facultad de Agronomía y Ciencias Agroalimentarias ISSN 2250-6373 (Versión en línea). Volumen VIII – N° 15 y 16 || 2017
- Sanz Gallego, M. 2012. Utilización del cultivo plurianual de patata (*Helianthus tuberosus* L.) para la producción de hidratos de carbono fermentables a partir de los tallos.
- Tácuna, R; Aguirre, L; Flores, E. 2015. Influencia de la revegetación con especies nativas y la incorporación de materia orgánica en la recuperación de pastizales degradados. Ecología Aplicada. Departamento Académico de Biología, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima-Perú. Pp. 191 – 200.

- Tovar, O; Oscanoa, L. 2002. Guía para la identificación de pastos naturales altoandinos de mayor importancia ganadera. Instituto de Montaña. Proyecto FOCAL Obc. Primera edición. Huaraz, Perú.
- Tate, KW; Dudley, DM; Mcdougald, NK; y George, MR. 2004. Effect of canopy and grazing on soil bulk density. *J Range Manage.* 57(4): 411-417.
- Thurow, TL. 1991. Hydrology and Erosion. In: Heitschmidt, R.K., Stuth, J.W. (Eds.), *Grazing Management: An Ecological Perspective*. Timber Press, Portland, OR, USA, pp. 141–159
- Thompson, K; y Grime, JP. 1979. Seasonal variation in the soil seed banks of herbaceous species in ten contrasting habitats. *Journal of Ecology* 67: 893-921
- Tovar, O; Oscanoa, L. 2002. Guía para la Identificación de Pastos Naturales Alto Andinos de Mayor Importancia Ganadera.
- USDA. 1996. Soil survey laboratory methods manual. Soil Survey Investigations. Versión 3. Washington, DC: Department of Agriculture. Report No. 42.
- Van der Valk, AG. 1992. Establishment, colonization and persistence: 60-102 (en) Glenn-Lewin, D.C.; Peet R.K. & Veblen T.T. (eds.) *Plant Sucesión: Theory and prediction*. Chapman & Hill, London.
- Vechio MC; Lissarrague MI; Heguy, B; Mendecino, L; Rodriguez, AM; Golluscio RA. 2022. Efecto del pastoreo sobre el banco de semillas en una estepa de halófitas de la Depresión del Salado. *Ecoligía austral* 30:007 -095 abril 2022
- Whittaker, R. 1972. *Ecólogo de Comunidades*. Disponible en www.revistaecosistemas.net.
- Willson, MF; & Traveset, A. 2000. The ecology of seed dispersal. In: Fenner M (ed) *Seeds: the ecology of regeneration in plant communities*, 2nd edn. CAB International, Wallingford, pp 85–110.
- Whittaker, RH. 1972. Evolución y medición de la diversidad de especies. *Taxón*, 21 (2-3), 213-251.

- Whitford, WG. 1995. Desertification: implications and limitations of the ecosystem health metaphor. In: Rapport, DJ, Gaudet, CL y Calow, P. (Eds), Evaluating and Monitoring the
- Westoby, M; Walker, B; Noy-Meir, I. 1989. Opportunistic management for rangelands not at equilibrium. *J. Range Manage.* 42: 266-274.
- Whittaker, RH. 1975. *Communities and ecosystems*. Second edition. McMillan. New York
- Western, AW; G Blöschl, G y Grayson RB. 1998. Geostatistical characterisation of soil moisture patterns in the Tarrawarra catchment. *J Hydrol.* 205 (1-2): 20-37
- Yaguache, Ordóñez LA. 2022. Humedad y almacenamiento de agua en el suelo en cuatro tipos de cobertura vegetal Universidad Nacional de Loja. *Cienc Tecn UTEQ* (2022) 15(1) p 19-24
- Yalli, B; Flores, E. 2016. Efecto del Tasa de infiltración Pastoreo con Llamas y Vacunos en la Función Hídrica del Pastizal Laboratorio de Ecología y Utilización de Pastizales UNA La Molina.
- Yaranga, R; Custodio, M; Chanamé, F; Pantoja. 2018. Diversidad florística de pastizales según formación vegetal en la subcuenca del río Shullcas, Junín, Perú, Trujillo *Scientia Agropecuaria* 9(4): 511 –517(2018).
- Yeates, GW. 2003. Los nematodos como indicador de suelo: función y biodiversidad, Departamento de Biología y Fertilidad de Suelos, Universidad Columbia, EEUU.
- Zapana, G; Cutisaca, A. 2017. Puno en su tesis “Influencia del Clima Organizacional en el Desempeño Laboral de los Trabajadores de la Dirección Regional de Transportes Comunicaciones Vivienda y Construcción”.

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Características de la zona de estudio



Unidad de producción de alpacas contadera- Tomas



Pajonal de condición ecológica bueno



Evaluación del pastizal con transecta fija.

Anexo 2: Censo de vegetación

REGISTRO CONDICIÓN BUENO (B- 1) FICHA DE TRANSECCION 1

2	3	4	5	6	7	8	9	10
Gese	Pospi	Hyta	Caec		Fehu	Lura	Hyta	Fehu
				M				
12	13	14	15	16	17	18	19	20
Pospi	Alpi	Fehu	Pospi	Pospi	Pospi	Lura	Pospi	Cabon
						D		
22	23	24	25	26	27	28	29	30
Pospi		Fehu	Fehu	Fehu	Fehu	Fehu	Hyta	Pospi
	M							
32	33	34	35	36	37	38	39	40
	Fehu	Cavi	Pospi	Pospi	Cavi	Fehu	Fehu	Fehu
M								
42	43	44	45	46	47	48	49	50
Fehu	Fehu	Pospi	Hyta	Hyta	Cabon	Lura	Fehu	Alpi
52	53	54	55	56	57	58	59	60
Alpi	Fehu	Fehu	Cabon	Cabon	Popper	Fehu	Lura	Lura
62	63	64	65	66	67	68	69	70
Lura	Fehu	Alpi	Cabon	Fehu	Fehu	Fehu	Caspi	Cavi
72	73	74	75	76	77	78	79	80
Fehu	Hyta	Pospi		Fehu	Cabon	Lura	Pospi	Fehu
			M					
82	83	84	85	86	87	88	89	90
Arete	Cavi	Pospi	Pospi		Pospi		Pospi	Lura
				M		M		
92	93	94	95	96	97	98	99	100
Pospi	Pospi	Pospi	Fehu	Cabon	Pospi	Pospi	Cabon	Pospi

ONDICION BUENO (B- 2) FICHA DE TRANSECCION 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ceda	Fehu	Fehu	Fehu	Acpu	Fehu	Fehu		Fehu	Fehu
							M		
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Fehu	Fehu	Fehu	Fehu	Fehu	Lura	Caspi	Caspi	Pospi	Cavi
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Caspi	Cavi	Alpi	Hyta	Cavi	Hyta	Fehu	Fehu	Ceda	Cavi
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Pospi		Justi	Alpi	Fehu	Alpi	Justi	Cabon	Fehu	Caspi
	D								
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
Lura	Caspi	Hyta	Hyta	Hyta	Alpi	Fehu	Cabon	Hyta	
									M
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
Fehu	Alpi	Caec	Lura	Fehu	Fehu	Lura		Fehu	Fehu
							M		
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
Fehu	Lura	Fehu		Alpi	Fehu	Pospi	Alpi	Alpi	Fehu
			M						
71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
Pospi	Fehu	Fehu	Fehu	Justi	Hyta	Caec	Pospi	Pospi	
									M
81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
Cavi	Lura	Lura	Pospi	Hyta	Caspi	Caspi	Alpi	Fehu	Fehu
91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
Fehu	Fehu	Fehu	Ceda	Alpi	Cavi	Fehu	Fehu	Fehu	Fehu

REGISTRO DE CONDICION REGULAR (R- 1) FICHA DE TRANSECCION 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Alpi	Fehu	Fehu	Fehu	Mufa	Alpi	Fehu	Lura	Poan	
									M
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Alpi	Cavi	Lura	Cavi	Fehu	Cavi	Fehu	Fehu	Fehu	Fehu
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Alpi		Alpi	Fehu	Alpi		Alpi		Fehu	poper
	M				L		M		
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Fehu	Cavi	Cavi		Hyta	Alpi	Cavi	Cavi	Cavi	Cavi
			M						
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
Cavi	Cavi	Alpi	Fehu	Cavi	Fehu	Alpi	Sciri	Alpi	Alpi
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
Alpi	Fehu		Fehu	Fehu		Hyta		Arsp	Cavi
		L			M		M		
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
Cavi		Sciri	Plasp	Alpi	Fehu	Mupe	Alpi	Pospi	
	M								M
71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
	Fehu	Fehu	Alpi	Fehu	Fehu		Hyta	Alpi	Hyta
L						L			
81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
Weca	Alpi	Popel	Hyta	Hyta	Cavi	Ceda	Alpi	Alpi	Fehu
91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
Fehu	Fehu		Hyta	Cavi	Alpi	Lura	Alpi	Pospi	
		M							M

REGISTRO DE CONDICION REGULAR (R- 2) FICHA DE TRANSECCION 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Fehu	Alpi	Cavi	Fehu	Fehu	Alpi	Alpi	Hyta	Fehu	
									M
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Hyta		Ceda	Alpi	Fehu	Alpi	Alpi	Fehu	Cavi	Fehu
	M								
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Fehu	Fehu	Fehu	Fehu	Platu	Fehu	Arsp	Caec	Acac	Alpi
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Alpi	Fehu	Alpi	Fehu	Alpi	Fehu		Alpi	Alpi	
						M			M
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
Fehu		Nabra	Oxsp	Alpi	Wepe	Lura	Acac	Orin	Hyta
	L								
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
Cavi	Fehu	Alpi	Fehu	Ceda	Ceda	Fehu	Ceda	Alpi	Hyta
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
Fehu	Fehu	Alpi	Alpi	Fehu	Fehu	Alpi	Alpi	Cavi	
									L
71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
Alpi	Cavi	Caec	Caec	Caec	Caec	Fehu		Fehu	Hyta
							L		
81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
Fehu	Cavi		Alpi		Cavi		Fehu	Fehu	Hyta
		L		M		M			
91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
	Fehu	Caec	Caec	Ceda	Fehu		Fehu		Fehu
M						M		M	

REGISTRO DE CONDICION POBRE (P-1) FICHA DE TRANSECCION 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Cavi		Nabra		Alpi		Weca	Weca	Alpi
D		D		D		L			
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Azcon		Hyta	Weca	Alpi	Weca	Lura	Weca		Azcom
	L							D	
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Fehu	Acac	Plasp	Paan	Plasp	Hyta	Cavi	Cavi	Popper	Acac
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Casp	Scisi	Plasp		Alpi	Popper	Alpi			Sciri
			D				D	D	
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
Sciri	Fehu	Sciri	fehu	Alpi	Hyta		Alpi	Pogyn	Poan
						D			
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
	Azcom		Vavi	Cavi	Alpi		Pogym	Fehu	Azcom
D		D	D			L			
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
Fehu	Pogym		Muli	Hyta	Hyta	Azcom			Lura
		D					M	D	
71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
Pogym	Alpi	Weca	Weca		Weca	Noac	Cavi	Hyta	Lura
				L					
81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
Popper	Hyta	Cavi	Weca	Posp		Popper			Hyta
					L		D	D	
91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
Muli	Alpi			Cavi	Poama	Poana	Cavi	Cavi	D
		D	M						

REGISTRO DE CONDICION POBRE (P- 2) FICHA DE TRANSECCION 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cavi		Desp		Weca	Plase	Cavi	Acac	Nabra	Cavi
	S		S						
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	Nabra	Cavi	Cavi	Cavi	Plase	Azcre	Azcre	Acac	Cavi
L									
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Aredi	Weca	Fehu	Popper	Fehu	Azcom	Hyta		Lura	Cavi
							L		
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Cavi	Cavi	Plase	Hyta	Cavi	Hyta			Plase	Wenu
	D					L	L		
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
	Cavi	Orin	Hyta	Cavi		Acpu	Lua	Fehu	Azcom
L					L				
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
Alpi	Cavi	Acac		Lura	Cavi	Alpi	Agbre	Weca	Orin
			M		L				
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
				Agbre		Acac		Poan	Popper
L	L	L	M		L		D		
71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
Poan	Fehu	Azcom	Fehu	Hyta	Poan	Fehu	Lura	Cavi	
									L
81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
		Acac			Fehu		Fehu	Popper	Popper
L	L		S	S		L			
91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
Vasp	Popper	Cavi	Hyta		Cavi	Alpi	Platu	Cavi	
				L					D

Anexo 3: Composición florística en tres condiciones de pajonales Tomas

FAMILIA	ESPECIES	CLAVE	B-I	B-II	R-I	R-II	P-I	P-II
Poaceae	<i>Festuca humillior</i>	Fehu	30	38	25	32	10	8
Poaceae	<i>Calamagrostis vicunarium</i>	Cavi	4	6	16	7	5	19
Poaceae	<i>Calamagrostis spicigera</i>	Casp	1	7				
Poaceae	<i>Poa perligulata</i>	Poper	1		2		4	5
Poaceae	<i>Poa spicigera</i>	Pospi	25	7	2		-	
Poaceae	<i>Poa gymnantha</i>	Poana	-				4	
Poaceae	<i>Muhlenbergia fastigiata</i>	Mufa			1			
Poaceae	<i>Muhlenbergia ligularis</i>	Muli					2	
Poaceae	<i>Poa annua</i>	Poan			1		2	3
Poaceae	<i>Poa sp.</i>	Posp					1	
Poaceae	<i>Poa candomoana</i>	Poca	1					
Poaceae	<i>Muhlenbergia peruviana</i>	Mupe			1			
Poaceae	<i>Aciachne pulvinata</i>	Acpu		1		1		1
Poaceae	<i>Aciachne acicularis</i>	Acac	-			1	2	5
Poaceae	<i>Agrostis breviculmis</i>	Agbre						2
Poaceae	<i>Nassella brachyphylla</i>	Nabra	-			1	1	2
Poaceae	<i>Dissanthelium rauti</i>	Dira						1
Juncaceae	<i>Luzula racemosa desvaux</i>	Lura	9	7	3	1	3	4
Juncaceae	<i>Juncus stipulatus</i>	Justi		3				
Cyperaceae	<i>Carex bomblandii</i>	Cabo	8	2				
Cyperaceae	<i>Carex ecuadorica</i>	Caec	1	2		8		
Cyperaceae	<i>Carex sp</i>	Casp					1	
Cyperaceae	<i>Scirpus rigidus</i>	Sciri			4		4	
Asteraceae	<i>Hypochoeris taraxacoides</i>	Hyta	7	8	5	6	8	6
Asteraceae	<i>Werneria caespitosa</i>	Weca			1	-	9	2
Asteraceae	<i>Werneria nubigena</i>	Wenu						2
Rosaceae	<i>Alchimilla pinnata</i>	Alpi	5	10	22	21	9	3
Caryophyllaceae	<i>Arenaria sp</i>	Arsp			1	1		
Caryophyllaceae	<i>Arenaria tetragina</i>	Arete	1					
Caryophyllaceae	<i>Arenaria digyna</i>	Aredi	-	-	-	-	-	1
Caryophyllaceae	<i>Cerastium danguyi</i>	Ceda	-	3	1	5		
Caryophyllaceae	<i>Paronichia andina</i>	Paan	-	-	-	-	2	-
Geranaceae	<i>Geranium sessiliflorum</i>	Gese	1	-	-	-	-	-
Plantaginaceae	<i>Plantago sericeae</i>	Plase	-	-	1	-	3	4
Plantaginaceae	<i>Plantago tubulosa</i>	Platu	-	-	-	1		1
Ranunculaceae	<i>Oriethales integrifolia</i>	Orin	-	-	-	1	-	2
Oxalidaceae	<i>Oxalis sp</i>	Oxso	-	-	-	1	-	-
Apiaceae	<i>Azorella compacta</i>	Azcon	-	-	-	-	5	3
Apiaceae	<i>Azorella crenata</i>	Ascre	-	-	-	-	-	2
Malvaceae	<i>Nototriche acaulis</i>	Noac	-	-	-	-	1	-

"Continuación"								
Valerianaceae	Valeriana sp	Vasp	-	-	-	-	-	1
Suelo desnudo		S	1	-	4	4	17	10
Mantillo		M	5	6	7	6	2	2
Roca		R	-	-	-	-	-	-
Musgo		L	-	-	3	3	5	11
Pavimento de erosión		P	-	-	-	-	-	-
Total			100	100	100	100	100	100

Composición florísticas y clasificación de deseabilidad

FAMILIA	ESPECIES	CLAVE	I	II	Total	%	V	O	A	Vic
Poaceae	Festuca humillior	Fehu	30	38	68	34	D	PD	PD	D
Poaceae	Calamagrostis vicunarum	Cavi	4	6	10	5	PD	D	D	PD
Poaceae	Calamagrostis spicigera	Casp	1	7	8	4	PD	D	D	D
Poaceae	Poa perligulata	Poper	1		1	0.5	D	D	D	PD
Poaceae	Poa spicigera	Pospi	25	7	32	16	D	D	D	PD
Poaceae	Poa candomoana	Poca	1	-	1	0.5	D	D	D	D
Poaceae	Aciachne pulvinata	Acpu		1	1	0.5	I	I	I	I
Juncaceae	Luzula racemosa desvaux	Lura	9	7	16	8	PD	D	PD	PD
Juncaceae	Juncus stipulatus	Justi		3	3	1.5	PD	DP	D	I
Cyperaceae	Carex bomblandii	Cabo	8	2	10	5	PD	PD	D	D
Cyperaceae	Carex ecuadorica	Caec	1	2	3	1.5	PD	D	D	D
Asteraceae	Hypochoeris taraxacoides	Hyta	7	8	15	7.5	PD	PD	PD	PD
Rosaceae	Alchimilla pinnata	Alpi	5	10	15	7.5	PD	D	D	D
Caryophyllaceae	Arenaria tetragina	Arete	1		1	0.5	PD	PD	PD	I
Caryophyllaceae	Cerastium danguyi	Ceda	-	3	3	1.5	PD	PD	PD	I
Geranaceae	Geranium sessiliflorum	Gese	1	-	1	0.5	PD	D	D	D
Suelo desnudo		S	1	-	1	0.5	-	-	-	
Mantillo		M	5	6	11	5.5				
Roca		R	-	-	-					
Musgo		L	-	-	-					
Pavimento de erosión		P	-	-	-					
Total			100	100	200	100				

Fuente: Cabrejo 2017; Mucha 2013; Florez 2005, Mamanr 2001, Huerta 2001.

Anexo 4: Producción forrajera y amantillo

**REGISTRO DE BIOMASA Y MANTILLO TOMAS
CONDICION BUENO (B-1)**

Cuadrante	Biomasa Aérea			Mantillo		
	Peso verde (g)	Peso seco (g)	Peso en (%)	Peso Húmedo (g)	Peso seco (g)	Peso en (%)
1	540.00	318.68	51.20	133.00	102.76	77.27
2	422.00	188.45	44.87	80.00	20.68	25.86
Promedio	481.00	235.56	48.03	106.50	61.00	51.56
Ren/Ha	4810.0 kg	2355.6		1065	610	

**REGISTRO DE BIOMASA Y MANTILLO TOMAS
CONDICION BUENO (B-2)**

Cuadrante	Biomasa Aérea Campo			Mantillo		
	Peso verde (g)	Peso seco (g)	Peso en (%)	Peso Húmedo (g)	Peso seco (g)	Peso en (%)
1	200.00	91.66	45.83	50.00	23.38	46.66
2	270.00	130.38	48.38	50.00	30.50	61.11
Promedio	235.00	111.02	47.10	50.00	26.94	53.88
Ren/Ha.	2350 kg	1110.2		500.0 kg	269.4	

**REGISTRO DE BIOMASA Y MANTILLO TOMAS
CONDICION REGULAR (R-1)**

cuadrante	Biomasa Aérea Campo			Mantillo		
	Peso verde (g)	Peso seco (g)	(%)	Peso Húmedo (g)	Peso seco (g)	(%)
1	135.00	64.98	48.14	35.00	17.50	50.00
2	140.00	58.32	41.66	100.00	41.00	40.00
Promedio	137.50	61.65	44.90	67.50	29.25	45.00
Ren/Ha.	1355 kg	616.5		675	292.5	

**REGISTRO DE BIOMASA Y MANTILLO TOMAS
CONDICION REGULAR (R-2)**

Cuadrante	Biomasa Aérea			Mantillo		
	Peso verde (g)	Peso seco (g)	Peso en (%)	Peso Húmedo (g)	Peso seco (g)	Peso en (%)
1	85.00	35.64	41.93	50.00	22.72	45.45
2	280.00	135.46	48.38	134.00	67.00	50.00
Promedio	182.50	85.55	45.15	92.00	44.86	47.72
Ren/Ha.	1825.00	855.50		920.00	448.60	

**REGISTRO DE BIOMASA Y MANTILLO TOMAS
CONDICION POBRE (P-1)**

Cuadrante	Biomasa Aérea			Mantillo		
	Peso verde (g)	Peso seco (g)	Peso en (%)	Peso Húmedo (g)	Peso seco (g)	Peso en (%)
1	30.00	14.49	48.30	10.00	6.00	60.00
2	95.00	42.94	45.20	20.00	12.20	61.00
Promedio	62.50	28.71	46.75	15.00	9.00	60.50
Ren/Ha.	625.00	287.10		150.00	90.00	

**REGISTRO DE BIOMASA Y MANTILLO TOMAS
CONDICION POBRE (P-2)**

Cuadrante	Biomasa Aérea			Mantillo		
	Peso verde (g)	Peso seco (g)	Peso en (%)	Peso Húmedo (g)	Peso seco (g)	Peso en (%)
1	45.00	20.36	45.30	10.00	5.80	58.00
2	70.00	30.94	44.20	22.00	13.20	60.00
Promedio	57.50	25.65	44.75	16.00	9.50	59.00
Ren/Ha.	575.00	256.50		160.00	95.00	

**Anexo 5: Banco de semillas
BANCO DE SEMILLAS 0-5 CM.**

CONDICIÓN	BUENO	REGULAR	POBRE
Repetición 1	131	204	6
	129	210	4
Repetición 2	34	215	3
	32	208	4
Promedios	BUENO	REGULAR	POBRE
	81.5	209.3	4.25

BANCO DE SEMILLAS DE 5-10 CM.

CONDICIÓN	BUENO	REGULAR	POBRE
Repetición 1	30	4	0
	17	5	0
Repetición 2	14	12	0
	10	9	0
Promedios	BUENO	REGULAR	POBRE
	17.75	7.5	0

**GERMINACION DE SEMILLAS DE LEGUMINOSAS EN PAPEL
BANCO DE SEMILLAS 0-5 CM.**

CONDICIÓN	BUENO	REGULAR	POBRE
Repetición 1	25	20	0
	5	4	1
Repetición 2	19	21	1
	3	1	2
prom. %	13	11.5	1

BANCO DE SEMILLAS DE 5-10 CM.

CONDICIÓN	BUENO	REGULAR	POBRE
Repetición 1	1	0	0
	9	3	0
Repetición 2	1	0	0
	0	0	0
prom.	2.75	0.76	0

Anexo 6: Análisis de suelos en tres condiciones de pajonales



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
Departamento : LIMA
Distrito :
Referencia : H.R. 64075-098C-18

Provincia : YAUYOS
Predio : COMUNIDAD TOMAS
Fecha : 10/07/18

Fact.: 2005

Número de Muestra Lab	Claves	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables meq/100g				Suma de Cationes Bases	% Sat. De Bases		
								Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺			Al ³⁺ + H ⁺	
8769	B-1	5.72	0.30	0.00	15.80	3.4	191	47	34	19	Fr.	26.72	18.80	2.00	0.35	0.16	0.10	21.41	21.31	80
8770	B-2	5.59	0.32	0.00	21.93	9.1	289	63	22	15	Fr.A.	39.20	20.80	2.50	0.66	0.20	0.15	24.31	24.16	62
8771	R-1	6.56	0.26	0.00	20.05	5.6	261	55	34	11	Fr.A.	40.32	25.50	4.48	0.53	0.11	0.00	30.63	30.63	76
8772	R-2	5.00	0.14	0.00	16.68	7.7	213	63	28	9	Fr.A.	38.88	18.60	3.53	0.58	0.11	0.00	22.83	22.83	59
8773	P-1	5.50	0.11	0.00	8.87	4.0	207	51	32	17	Fr.	27.20	10.40	3.32	0.56	0.17	0.30	14.75	14.45	53
8774	P-2	5.06	0.09	0.00	9.85	2.2	198	43	40	17	Fr.	26.24	5.42	2.33	0.54	0.19	1.70	10.18	8.48	32

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso



Saúl García Bendejū
Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM - Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622 e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

Anexo 7: Características físicas y químicas de los suelos de Tomas-Yauyos

Características	Bueno	Regular	Pobre
pH (1:1)	5.65	5.78	2.28
C.E dS.m ⁻¹	0.31	0.20	0.10
CO ₃ (%)	0.00	0.00	0.00
Nt (%)	0.44	0.91	0.46
MO (%)	15.86	18.36	9.36
P (ppm)	6.25	6.65	3.10
K (ppm)	240	237	202
Clase textural	Fr.FA	Fr.A.	Fr.
CIC (meq/100g)	32.96	39.60	26.72
Ca (meq/100g)	19.80	22.05	7.91
Mg (meg/100g)	2.25	4.03	2.82
K (meg/100g)	0.50	0.55	0.55
Na (meq/100g)	0.18	0.11	0.18
Al+H (meq/100g)	0.12	0.00	1.00

Fuente: Laboratorio de análisis de suelo, plantas, aguas y fertilizantes UNALM 2018.

Anexo 8: Densidad aparente del suelo en gr/cm³

REGIATRO DE DENSIDAD APARENTE DEL SUELO					
Estado de conservación		Muestras (PSS)	Volumen del cilindro	Densidad Aparente	Promedio/ condición
Condición bueno	B - 1	60	75.39	0.79	0.5
		65	75.39	0.86	
		57	75.39	0.75	
		40	75.39	0.53	
		20	75.39	0.26	
	Promedio			0.63	
	B - 2	45	75.39	0.59	
		22	75.39	0.29	
		35	75.39	0.46	
		23	75.39	0.3	
19		75.39	0.25		
Promedio			0.37		
Condición Regular	R - 1	48	75.39	0.63	0.72
		76	75.39	1	
		35	75.39	0.46	
		47	75.39	0.62	
		47	75.39	0.62	
	Promedio			0.66	
	R - 1	57	75.39	0.75	
		52	75.39	0.68	
		75	75.39	0.99	
		67	75.39	0.88	
50		75.39	0.66		
Promedio			0.79		
Condición Pobre	P - 1	81	75.39	1.07	1.11
		105	75.39	1.39	
		99	75.39	1.31	
		104	75.39	1	
		95	75.39	1.37	
	Promedio			1.23	
		90	75.39	1.19	
		70	75.39	0.92	
		75	75.39	0.99	
		68	75.39	0.88	
78		75.39	1.03		
Promedio			1		

Anexo 9: Tasa de infiltración

**REGISTRO DE TASA DE INFILTRACION – TOMAS
CONDICION BUENO (B- 1)**

N°	Tiempo (min) (A)	Tiempo acum. (min)	Lectura (cm.)	Diferencia (B)	Infiltración (mm/min) (B/A)
1	1	1	188		
2	1	2	159	6.0	3
3	1	3	120	39.0	13
4	1	4	100	29.0	7.25
5	15	5	85	23.0	4.6
6	5	10	63	22.0	2.2
7	5	15	47	20.0	1.3
8	5	20	24	16.0	0.8
9	5	25	20	15.0	0.6
10	5	30	12.5	7.5	0.25
11	10	40	11	4.0	0.1
12	10	50	5	1.5	0.03

**REGISTRO DE TASA DE INFILTRACION – TOMAS
CONDICION BUENO (B-2)**

N°	Tiempo (min) (A)	Tiempo acum. (min)	Lectura (cm.)	Diferencia (B)	Infiltración (mm/min) (B/A)
1	1	1	81		
2	1	2	67	14.5	7.25
3	1	3	52	15.0	5.00
4	1	4	43	9.0	2.25
5	15	5	28.5	14.5	2.90
6	5	10	22	6.5	0.65
7	5	15	18	4.0	0.27
8	5	20	10	8.0	0.40
9	5	25	8	2.0	0.08
10	5	30	6	2.0	0.07
11	10	40	3.5	2.5	0.06
12	10	50	2	1.5	0.03

**REGISTRO DE TASA DE INFILTRACION – TOMAS
CONDICION REGULAR (R-1)**

N°	Tiempo (min) (A)	Tiempo acum. (min)	Lectura (cm.)	Diferencia (B)	Infiltración (mm/min) (B/A)
1	1	1	55.5		
2	1	2	46	9.5	4.75
3	1	3	35.5	10.5	3.50
4	1	4	31	4.5	1.13
5	15	5	25.5	5.5	1.10
6	5	10	20	5.5	0.55
7	5	15	16.5	3.5	0.23
8	5	20	10	6.5	0.33
9	5	25	8.5	1.5	0.06
10	5	30	8	0.5	0.02
11	10	40	7.5	0.5	0.01
12	10	50	5	2.5	0.05

**REGISTRO DE TASA DE INFILTRACION – TOMAS
CONDICION REGULAR (R-2)**

N°	Tiempo (min) (A)	Tiempo acum. (min)	Lectura (cm.)	Diferencia 4	Infiltración (mm/min) (B/A)
1	1	1	31		
2	1	2	25.5	5.5	2.75
3	1	3	21	4.5	1.5
4	1	4	17	4.0	1
5	15	5	15	2.0	0.4
6	5	10	11.5	3.5	0.35
7	5	15	8	3.5	0.23
8	5	20	5	3.0	0.15
9	5	25	4.5	0.5	0.02
10	5	30	3	1.5	0.05
11	10	40	2.5	0.5	0.01
12	10	50	1.5	1.0	0.02

**REGISTRO DE TASA DE INFILTRACION – TOMAS
CONDICION POBRE (P-1)**

N°	Tiempo (min) (A)	Tiempo acum. (min)	Lectura (cm.)	Diferencia (B)	Infiltración (mm/min) (B/A)
1	1	1	30.5		
2	1	2	25.5	5.0	2.5
3	1	3	21.5	4.0	1.33
4	1	4	16.5	3.0	0.75
5	15	5	15.5	3.0	0.6
6	5	10	12.5	3.0	0.3
7	5	15	9.5	3.0	0.2
8	5	20	7	2.5	0.125
9	5	25	6	1.0	0.04
10	5	30	5	1.0	0.03
11	10	40	3.5	1.5	0.0375
12	10	50	2.5	1.0	0.02

**REGISTRO DE TASA DE INFILTRACION – TOMAS
CONDICION POBRE (P-2)**

N°	Tiempo (min) (A)	Tiempo acum. (min)	Lectura (cm.)	Diferencia (B)	Infiltración (mm/min) (B/A)
1	1	1	22		
2	1	2	18	4.0	2
3	1	3	14	4.0	1.333
4	1	4	13	1.0	0.25
5	15	5	10.5	2.5	0.5
6	5	10	9.5	1.0	0.1
7	5	15	7	2.5	0.167
8	5	20	5	2.0	0.1
9	5	25	4	1.0	0.04
10	5	30	3	1.0	0.033
11	10	40	2.5	0.5	0.0125
12	10	50	2	0.5	0.01

Anexo 10: Registro de humedad TDR

CONDICION BUENO (B-1)

Profundidad De suelo (cm)	Medidas repetidas TDR, B- 1				Promedio en %
	1	2	3	4	
5	65.00	61.00	54.70	54.70	58.85
12	65.90	68.90	68.00	53.20	64.00
20	51.00	51.00	55.10	48.40	51.38

**REGISTRO DE HUEMDAD TDR
CONDICION BUENO (B-2)**

Profundidad De suelo (cm)	Medidas repetidas TDR, B- 1				Promedio en %
	1	2	3	4	
5	59.6	61.6	39	68.9	57.3
12	64.8	69.8	66.6	61.5	65.7
20	57.6	56.8	55.4	57.7	56.9

**REGISTRO DE HUEMDAD TDR
CODICION REGULAR (R-1)**

Profundidad De suelo (cm)	Medidas repetidas TDR, R- 1				Promedio en %
	1	2	3	4	
5	58.10	55.20	49.90	54.30	54.40
12	51.50	63.70	51.40	55.50	55.53
20	48.70	54.30	44.80	49.30	49.27

**REGISTRO DE HUEMDAD TDR
CONDICION REGULAR (R-2)**

Profundidad De suelo (cm)	Medidas repetidas TDR, R- 2				Promedio en %
	1	2	3	4	
5	55.70	50.80	47.30	48.80	50.65
12	57.20	51.00	47.10	48.10	50.85
20	56.20	49.00	47.00	43.40	48.90

**REGISTRO DE HUEMDAD TDR
CONDICION POBRE (P-1)**

Profundidad De suelo (cm)	Medidas repetidas TDR, P- 1				Promedio en %
	1	2	3	4	
5	38.00	39.00	42.90	42.40	40.58
12	39.50	43.40	44.50	46.30	43.43
20	43.20	41.50	43.70	42.90	42.83

**REGISTRO DE HUEMDAD TDR
CONDICION POBRE (P-2)**

Profundidad De suelo (cm)	Medidas repetidas TDR, R- 1				Promedio en %
	1	2	3	4	
5	58.10	55.20	49.90	54.20	54.40
12	51.50	63.70	51.40	55.40	55.53
20	48.70	54.30	44.80	49.30	49.27

Anexo 11: Registro de datos de temperatura del suelo

CONDICION BUENO (B-1)

Profundidad De suelo (cm)	Medidas repetidas			Promedio T°
	1	2	3	
5	12.50	12.50	12.00	12.33
10	10.00	10.00	10.00	10.00
20	9.00	9.00	8.80	8.93

**REGISTRO DE DATOS DE TEMPERATURA DEL SUELO
CONDICION BUENO (B-2)**

Profundidad De suelo (cm)	Medidas repetidas			Promedio T°
	1.00	2.00	3.00	
5	13.00	12.50	12.50	12.66
10	9.50	9.80	9.80	9.70
20	8.00	8.80	8.80	8.53

**REGISTRO DE DATOS DE TEMPERATURA DEL SUELO
CONDICION REGULAR (R-1)**

Profundidad De suelo (cm)	Medidas repetidas TDR, R- 1			Promedio T°
	1.00	2.00	3.00	
5	12.00	13.00	12.50	12.50
12	10.00	10.00	10.00	10.00
20	9.00	8.80	8.50	8.77

**REGISTRO DE DATOS DE TEMPERATURA DEL SUELO
CONDICION REGULAR (R-2)**

Profundidad De suelo (cm)	Medidas repetidas TDR, R- 2			Promedio T°
	1	2	3	
5	11.50	11.50	11.50	11.50
12	8.00	8.50	8.25	8.25
20	7.50	8.00	7.75	7.75

**REGISTRO DE DATOS DE TEMPERATURA DEL SUELO
CONDICION POBRE (P-1)**

Profundidad De suelo (cm)	Medidas repetidas			Promedio T°
	1.00	2.00	3.00	
5	14.00	12.50	13.00	13.16
10	10.00	9.00	10.00	9.66
20	8.50	8.00	8.00	8.16

**REGISTRO DE DATOS DE TEMPERATURA DEL SUELO
CONDICIONPOBRE (P-2)**

Profundidad De suelo (cm)	Medidas repetidas			Promedio T°
	1.00	2.00	3.00	
5	14.00	12.50	10.50	12.33
10	10.00	10.00	9.00	9.66
20	8.00	8.30	8.00	8.10

Anexo 12: Análisis y prueba de comparación de medias

ANOVA Materia orgánica del suelo DCA

Fuente	GL	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
cond	2	114.4567000	57.2283500	6.88	0.0757 *
Error	3	24.9471000	8.3157000		
Total	5	139.4038000			

DLS SISTEMA

A	18.865	2	B	
B	A	18.365	2	R
B	9.360	2	P	

ANOVA pH del suelo DCA

source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
cond	2	0.28363333	0.14181667	0.31	0.7540 ns
error	3	1.36930000	0.45643333		
Total	5	1.65293333			

DLS SISTEMA

A	5.7950	2	R
A	5.6550	2	B
A	5.2800	2	P

ANOVA CIC suelo DCA

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
cond	2	165.9477333	82.9738667	3.14	0.1840 ns.
Error	3	79.3728000	26.4576000		
Total	5	245.3205333			

DLS SISTEMA

A	39.600	2	R
A	32.960	2	B
A	26.720	2	P

ANOVA Diversidad de especies DCAJ

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
cond	2	76.16666667	38.08333333	35.15	0.0083 **
rep(cond)	3	3.25000000	1.08333333	0.57	0.657 ns
Error	6	11.50000000	1.91666667		
Total	11	90.91666667			

DLS SISTEMA

A	19.5000	4	P
B	15.2500	4	R
B	13.5000	4	B

ANOVA Densidad aparente DCAJ

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
cond	2	1.88762000	0.94381000	30.30	<.0001**
Error	24	0.74752000	0.03114667		
Total	29	2.97152000			

Duncan SISTEMA

Duncan

A	1.1150	10	P
B A	0.7290	10	R
B	0.5080	10	B

ANVA Biomasa en materia seca DACJ

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
cond	2	6094375.902	3047187.951	13.09	0.0065**
rep(cond)	3	1971564.935	657188.312	2.82	0.1292
Error	6	1396312.490	232718.748		
Corrected Total	11	9462253.327			

DLS SISTEMA

A	1843.9	4	B
A	735.6	4	R
B	121.8	4	P

ANVA Banco de semillas 0-5 cm DCAJ

Analisis de varianza

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
cond	2	85750.16667	42875.08333	13.64	0.0312 *
rep(cond)	3	9431.50000	3143.83333	384.96	<.0001
Error	6	49.00000	8.16667		
Corrected Total	11	95230.66667			

A 209.25 4 R

B 81.50 4 B

B 4.25 4 P

ANVA Banco de semillas de 50 10 cm DCAJ

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
cond	2	635.1666667	317.5833333	19.54	0.0024*
rep(cond)	3	168.2500000	56.0833333	3.45	0.0919
Error	6	97.5000000	16.2500000		
Corrected Total	11	900.9166667			

A 17.750 4 B

A

B A 7.500 4 R

B

B 0.000 4 P