

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN ANIMAL**



**“EVALUACIÓN DEL ESTADO DE SALUD DE
PASTIZALES ALTOANDINOS EMPLEANDO TÉCNICAS
MULTIVARIADAS”**

Presentada por:

CYNTHIA PATRICIA CABREJO SÁNCHEZ

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

Lima - Perú

2019

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

ESCUELA DE POSGRADO

**“EVALUACIÓN DEL ESTADO DE SALUD DE
PASTIZALES ALTOANDINOS EMPLEANDO TÉCNICAS
MULTIVARIADAS”**

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

Presentada por:

CYNTHIA PATRICIA CABREJO SÁNCHEZ

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Ph.D. Julio Alegre Orihuela
PRESIDENTE

Ph.D. Enrique Flores Mariazza
ASESOR

Ph.D. Lucrecia Aguirre Terrazas
MIEMBRO

Ph.D. Javier Ñaupari Vásquez
MIEMBRO

Mg.Sc. Clodomiro Miranda Villagómez
CO-ASESOR

Dedicatoria

*A mis padres Jorge y Mirtha,
que siempre me apoyaron a lo largo de este proceso
y por quienes agradezco a Dios cada día.*

Mi infinito amor a ellos.

*A mis hermanos Jorge, Víctor y Vanessa, y a mi tía Chela
por su permanente motivación.*

A mis tíos y primos que nunca dejaron de alentarme.

*A mis queridos sobrinos Brianna y Darién
por ser una fuente de inspiración.*

*Y a mis familiares que se encuentran con Dios,
que siempre velan por sus seres queridos*

Agradecimientos

A Dios, por las bendiciones que todos los días me concede.

Al programa de becas CIENCIACTIVA CONCYTEC, CONVENIO N° 036 – 2015 FONDECYT por la subvención de estudios de Maestría en Producción Animal de la UNALM.

Al PhD. Enrique Flores Mariazza, por su asesoría, enseñanzas y consejos para poder llevar a cabo esta investigación y para mi vida profesional.

Al PhD. Bill Yalli por su contribución y esmero durante el levantamiento de datos en campo.

A la PhD. Lucrecia Aguirre, PhD. Javier Ñaupari y demás miembros del equipo técnico, y administrativo del Laboratorio de Ecología y Utilización de Pastizales por su apoyo y motivación.

A los administradores y productores de la Comunidad Campesina Santa Ana en Huancavelica, CC Los Andes y CC Cordillera Blanca en Áncash, CC Tomas en Lima y a la Cooperativa Comunal Racco en Pasco, por su interés y aporte en esta investigación.

Al Instituto de Montaña por su aporte en la fase de campo en la región Áncash.

A mis amigos y compañeros de la maestría en Producción Animal y Nutrición, y doctorado en Ciencia Animal por siempre dar ánimos, palabras de estímulo e inspiración.

Y a todos aquellos que con solo una palabra de aliento, recargaron mi energía para perseverar.

ÍNDICE GENERAL

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISION DE LITERATURA.....	3
2.1 El Ecosistema Pastizal	3
2.1.1 Estructura y Función.....	3
2.1.2 Procesos Ecológicos	5
2.1.3 Servicios ecosistémicos	9
2.2 Modelos de Dinámica de la Vegetación	13
2.2.1 Clímax – Pastizal	14
2.2.2 No Equilibrio	15
2.2.3 Estados y Transiciones	15
2.3 Evaluación y Monitoreo de Salud del Pastizal	18
2.3.1 Métodos para Estimar la Condición y Tendencia del pastizal.....	19
2.3.2 Técnicas Multivariadas	31
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	33
3.1. Localización de las Áreas de Evaluación	33
3.2. Método Pyke o Estado de Salud del Pastizal - IIRH	34
3.3. Descripción de Variables	38
3.3.1. Cobertura basal de: Vegetación, Mantillo, Musgo y Liquen, Suelo Desnudo y Pavimento de Erosión	39
3.3.2. Vigor de Gramínea Importante	41
3.3.3. Cobertura Aérea de Gramínea Importante.....	43
3.3.4. Biomasa Aérea.....	44
3.3.5. Mantillo	45
3.3.6. Diversidad botánica: grupos funcionales y plantas perennes	46

3.3.7. Plantas invasoras.....	47
3.3.8. Mortalidad de Plantas	49
3.3.9. Tasa de infiltración	49
3.3.10. Materia orgánica	51
3.3.11. Densidad del suelo.....	52
3.4. Análisis de Sensibilidad de Variables	54
3.5. Técnicas Multivariadas.....	54
3.5.1. Análisis Discriminante Lineal	54
3.5.2. Análisis de Regresión Logística Multinomial	58
3.6. Validación Técnicas Multivariadas	63
3.7. Comparación de funciones estimadas por las técnicas multivariadas	63
3.7.1. Matriz de Confusión	64
IV. RESULTADOS Y DISCUSION	68
4.1. Estado de Salud del Pastizal	68
4.1.1. Fase de entrenamiento	68
4.1.2. Fase de validación	69
4.2. Análisis de Sensibilidad de Variables	70
4.2.1. Cobertura Basal de Vegetación	70
4.2.2. Cobertura Basal de Mantillo.....	71
4.2.3. Cobertura de Musgo y Liquen	72
4.2.4. Cobertura Basal de Suelo Desnudo	73
4.2.5. Cobertura de Pavimento de Erosión	74
4.2.6. Vigor de Gramínea Importante.....	75
4.2.7. Cobertura Aérea de Gramínea Importante.....	76
4.2.8. Biomasa	77

4.2.9. Mantillo	77
4.2.10.Diversidad Botánica de Grupos Funcionales.....	78
4.2.11.Diversidad Botánica de Plantas Perennes.....	79
4.2.12.Plantas Invasoras	80
4.2.13.Mortalidad de Plantas	81
4.2.14.Materia Orgánica	81
4.2.15.Densidad Aparente	82
4.2.16.Tasa de Infiltración.....	83
4.3. Análisis Estadístico Multivariado.....	86
4.3.1. Análisis Discriminante Lineal	86
4.3.2. Análisis Regresión Logística Multinomial.....	94
4.4. Validación y Comparación de Funciones.....	97
4.5. Análisis de la Función Seleccionada	99
V. CONCLUSIONES.....	108
VI. RECOMENDACIONES.....	109
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	110
VIII. ANEXOS	119

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1: Indicadores y atributo asociado en el Método Pyke o Estado de Salud del Pastizal - IIRH.....	35
Tabla 2: Resumen de indicadores y la frecuencia de sus calificaciones por atributo - Método Pyke o Estado de Salud del Pastizal	37
Tabla 3: Rangos de categorías de atributos - Método Pyke o Estado de Salud del Pastizal	38
Tabla 4: Rangos de categorías de estado de salud del pastizal - Método Pyke o Estado de Salud del Pastizal.....	38
Tabla 5: Variables en estudio y el método para su evaluación en campo.....	39
Tabla 6: Aspectos y claves consideradas en el registro de observaciones de los censos de vegetación – Método Tres Pasos de Parker.....	41
Tabla 7: Altura clímax de especies altoandinas del género <i>Festuca</i> elegidas como importantes.....	42
Tabla 8: Escala de coberturas de Daubenmire	43
Tabla 9: Categoría de edad y coloración en mayor proporción de la biomasa aérea.....	49
Tabla 10: Obtención de tasa de infiltración	51
Tabla 11: Resumen de estado de salud (actual) por área de evaluación, fase de entrenamiento	68
Tabla 12: Resumen de estado de salud (actual) por área de evaluación de pastizales, fase de validación (género <i>Festuca</i>)	69
Tabla 13: Resumen de estado de salud (actual) por área de evaluación de pastizales, fase de validación (otros géneros de gramíneas)	70

Tabla 14: Resumen de análisis de correlación y regresión lineal simple de variables y estado de salud.....	85
Tabla 15: Variables seleccionadas por el estadístico Lambda de Wilks.....	86
Tabla 16: Variables seleccionadas por el paquete Boruta.....	87
Tabla 17: Resumen de poder discriminante de variables independientes.....	89
Tabla 18: Resumen de evaluación de funciones discriminantes.....	91
Tabla 19: Resumen de Coeficientes de Funciones Discriminantes	93
Tabla 20: Lista de variables seleccionadas por el método Selección hacia atrás (<i>Backward</i>)	94
Tabla 21: Resumen de Evaluación de Funciones de Regresión Logística Multinomial....	95
Tabla 22: Resumen de Coeficientes de Funciones de Regresión Logística Multinomial	96
Tabla 23: Resumen de estado de salud predicho – Fase de entrenamiento	97
Tabla 24: Resumen de estado de salud predicho – Fase de validación (género <i>Festuca</i>)	98
Tabla 25: Resumen de estado de salud predicho – Fase de validación (otras especies)....	98
Tabla 26: Variables del modelo elegido y su relación con las variables del método Pyke o Estado de Salud del Pastizal - IIRH.....	100

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1: Estructura de los sistemas ecológicos.....	4
Cuadro 2: Representación de un ecosistema natural sin subsidio	6
Cuadro 3: Dinámica de la desertificación: amenazas e impactos en los servicios ecosistémicos de los pastizales (SE)	12
Cuadro 4: Influencia del estado de salud sobre la estabilidad social y económica	13
Cuadro 5: Modelo clásico de respuesta de la vegetación frente a la presión de pastoreo de Dyksterhuis (1948), basado en el modelo de sucesión lineal de Clements (1936)	14
Cuadro 6: Modelo conceptual de Estados y Transiciones (STM).....	16
Cuadro 7: Índice de salud del pastizal 1 – 5 en relación al modelo paso a paso de degradación del pastizal basado en Milton et al. (1994)	17
Cuadro 8: Estados transicionales del ecosistema de bofedal.....	18
Cuadro 9: Atributos y sus indicadores del Método Salud del Pastizal (IIRH).....	23
Cuadro 10: Ecuación para hallar puntaje de un atributo	36
Cuadro 11: Fórmula para hallar vigor	42
Cuadro 12: Ecuación para cálculo de materia seca	45
Cuadro 13: Fórmula de índice de diversidad de Shannon	47
Cuadro 14: Disposición de cuadrantes en el método Whittaker.....	48
Cuadro 15: Fórmulas para hallar la densidad aparente del suelo	53
Cuadro 16: Estructura de función discriminante lineal	55
Cuadro 17: Estructura de función discriminante lineal	55
Cuadro 18: Determinación de número de ecuaciones	56
Cuadro 19: Fórmula para hallar estadístico de Lambda de Wilks.....	57

Cuadro 20: Fórmula para hallar el coeficiente Eta o Correlación Canónica	58
Cuadro 21: Funciones de regresión lineal múltiple (1) y logística binomial (2).....	60
Cuadro 22: Función de regresión logística multinomial	62
Cuadro 23: Fórmulas para hallar los estados de salud reales y los predichos	65
Cuadro 24: Fórmulas para hallar la tasa de buena clasificación (Exact o TBC) y mala clasificación (TMC)	66
Cuadro 25: Fórmulas para hallar la sensibilidad (Sens), especificidad (Espec), precisión o valor predictivo positivo (Prec) y valor predictivo negativo (VPN).....	67

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1: Equipo infiltrómetro.....	50
Figura 2: Proceso de instalación de cilindro metálico en el perfil del suelo	53
Figura 3: Matriz de confusión. NS = No saludable, R = Riesgo, S = Saludable	65
Figura 4: Representación gráfica de la obtención de sensibilidad (Sens), especificidad (Espec), precisión (Prec) y valor predictivo negativo (VPN) en la matriz de confusión.....	66

ÍNDICE DE ANEXOS

	Página
Anexo 1: Formato de Registro de Relevamiento Rápido	119
Anexo 2: Formato de Categorización de Indicadores - Método Estado de Salud del Pastizal (IIRH)	120
Anexo 3: Formato de Registro de especies botánicas halladas en el censo por transecta	121
Anexo 4: Formato de Registro de Altura Foliar (Vigor) – Método Tres Pasos de Parker – Hoja 3	122
Anexo 5: Formato de Registro de Estimación de Cobertura Vegetal Aérea	122
Anexo 6: Formato de Registro de Biomasa Aérea	123
Anexo 7: Formato de Registro de Mantillo	123
Anexo 8: Lista General de Grupos Funcionales y Periodo de Vida de Especies de Plantas: Áncash	124
Anexo 9: Lista General de Grupos Funcionales y Periodo de Vida de Especies de Plantas: Huancavelica	126
Anexo 10: Lista General de Grupos Funcionales y Periodo de Vida de Especies de Plantas: Lima.....	127
Anexo 11: Lista General de Grupos Funcionales y Periodo de Vida de Especies de Plantas: Pasco.....	129
Anexo 12: Formato de Registro de Nuevas Especies Encontradas en Cuadrantes de Tamaño Creciente – Método Whittaker	130
Anexo 13: Formato de Registro de Mortalidad de Plantas.....	130
Anexo 14: Formato de Registro de Tasa de Infiltración	132

Anexo 15: Exploración de Puntajes de Estado de Salud del Pastizal – Fase de entrenamiento	133
Anexo 16: Exploración de Puntajes de Estado de Salud del Pastizal – Fase de validación (género <i>Festuca</i>)	134
Anexo 17: Exploración de Puntajes de Estado de Salud del Pastizal – Fase de Validación (otros géneros)	135
Anexo 18: Análisis de Sensibilidad de Cobertura Basal de Vegetación: Exploración de datos.....	136
Anexo 19: Análisis de Sensibilidad de Cobertura Vegetal: Regresión Lineal Simple.....	137
Anexo 20: Análisis de Sensibilidad de Cobertura Vegetal: Correlación.....	138
Anexo 21: Análisis de Sensibilidad de Cobertura de Mantillo: Exploración de datos	139
Anexo 22: Análisis de Sensibilidad de Cobertura de Mantillo: Regresión Lineal Simple	140
Anexo 23: Análisis de Sensibilidad de Cobertura de Mantillo: Correlación.....	141
Anexo 24: Análisis de Sensibilidad de Cobertura de Musgo y Liquen: Exploración de datos.....	142
Anexo 25: Análisis de Sensibilidad de Cobertura de Musgo y Liquen: Regresión Lineal Simple	143
Anexo 26: Análisis de Sensibilidad de Cobertura de Musgo y Liquen: Correlación.....	144
Anexo 27: Análisis de Sensibilidad de Cobertura de Suelo Desnudo: Exploración de datos	145
Anexo 28: Análisis de Sensibilidad de Cobertura de Suelo Desnudo: Regresión Lineal Simple	146
Anexo 29: Análisis de Sensibilidad de Cobertura de Suelo Desnudo: Correlación.....	147

Anexo 30: Análisis de Sensibilidad de Cobertura de Pavimento de Erosión:	
Exploración de datos	148
Anexo 31: Análisis de Sensibilidad de Cobertura de Pavimento de Erosión:	
Regresión Lineal Simple	149
Anexo 32: Análisis de Sensibilidad de Cobertura de Pavimento de Erosión:	
Correlación	150
Anexo 33: Análisis de Sensibilidad de Vigor de Gramínea Importante:	
Exploración de datos	151
Anexo 34: Análisis de Sensibilidad de Vigor de Gramínea Importante:	
Regresión Lineal Simple	152
Anexo 35: Análisis de Sensibilidad de Vigor de Gramínea Importante: Correlación.....	153
Anexo 36: Análisis de Sensibilidad de Cobertura Aérea de Gramínea Importante:	
Exploración de datos	154
Anexo 37: Análisis de Sensibilidad de Cobertura Aérea de Gramínea Importante:	
Regresión Lineal Simple	155
Anexo 38: Análisis de Sensibilidad de Cobertura Aérea de Gramínea Importante:	
Correlación	156
Anexo 39: Análisis de Sensibilidad de Biomasa Aérea: Exploración de datos.....	157
Anexo 40: Análisis de Sensibilidad de Biomasa Aérea: Regresión Lineal Simple.....	158
Anexo 41: Análisis de Sensibilidad de Biomasa Aérea: Correlación.....	159
Anexo 42: Análisis de Sensibilidad de Mantillo: Exploración de datos	160
Anexo 43: Análisis de Sensibilidad de Mantillo: Regresión Lineal Simple	161
Anexo 44: Análisis de Sensibilidad de Mantillo: Correlación	162
Anexo 45: Análisis de Sensibilidad de Diversidad Botánica de Grupos Funcionales:	
Exploración de datos	163

Anexo 46: Análisis de Sensibilidad de Diversidad Botánica de Grupos Funcionales:	
Regresión Lineal Simple	164
Anexo 47: Análisis de Sensibilidad de Diversidad Botánica de Grupos Funcionales:	
Correlación	165
Anexo 48: Análisis de Sensibilidad de Diversidad Botánica de Plantas Perennes:	
Exploración de datos	166
Anexo 49: Análisis de Sensibilidad de Diversidad Botánica de Plantas Perennes:	
Regresión Lineal Simple	167
Anexo 50: Análisis de Sensibilidad de Diversidad Botánica de Plantas Perennes:	
Correlación	168
Anexo 51: Análisis de Sensibilidad de Plantas Invasoras: Exploración de datos	169
Anexo 52: Análisis de Sensibilidad de Plantas Invasoras: Regresión Lineal Simple	170
Anexo 53: Análisis de Sensibilidad de Plantas Invasoras: Correlación	171
Anexo 54: Análisis de Sensibilidad de Mortalidad de Plantas: Exploración de datos	172
Anexo 55: Análisis de Sensibilidad de Mortalidad de Plantas: Regresión Lineal Simple	173
Anexo 56: Análisis de Sensibilidad de Mortalidad de Plantas: Correlación	174
Anexo 57: Análisis de Sensibilidad de Materia Orgánica: Exploración de datos	174
Anexo 58: Análisis de Sensibilidad de Materia Orgánica: Regresión Lineal Simple	176
Anexo 59: Análisis de Sensibilidad de Materia Orgánica: Correlación	177
Anexo 60: Análisis de Sensibilidad de Densidad Aparente: Exploración de datos	178
Anexo 61: Análisis de Sensibilidad de Densidad Aparente: Regresión Lineal Simple ...	179
Anexo 62: Análisis de Sensibilidad de Densidad Aparente: Correlación	180
Anexo 63: Análisis de Sensibilidad de Tasa de Infiltración: Exploración de datos	181
Anexo 64: Análisis de Sensibilidad de Tasa de Infiltración: Regresión Lineal Simple ...	182

Anexo 65: Análisis de Sensibilidad de Tasa de Infiltración: Correlación.....	183
Anexo 66: Coeficientes de las Funciones Discriminantes – Variables Completas	184
Anexo 67: Coeficientes de las Funciones Discriminantes – Lambda de Wilks	185
Anexo 68: Coeficientes de las Funciones Discriminantes – Paquete R Boruta	186
Anexo 69: Resultados de Matriz de Confusión de Modelo Seleccionado – Fase de entrenamiento	187
Anexo 70: Resultados de Matriz de Confusión de Modelo Seleccionado – Fase de validación (género <i>Festuca</i>).....	188
Anexo 71: Resultados de Matriz de Confusión de Modelo Seleccionado – Fase de validación (otras especies)	189

RESUMEN

Los ecosistemas, como los pastizales, proporcionan diversos servicios ecosistémicos en beneficio de la sociedad incluyendo a un gran número de familias rurales a nivel global. Pese a ello, se encuentran en riesgo por la degradación y desertificación de tierras causadas por un conjunto de factores biofísicos y socioeconómicos. Por lo tanto, hay una necesidad por generar herramientas más precisas y de menor subjetividad para estudios que puedan proveer información oportuna sobre la salud del pastizal. El presente estudio tuvo por objetivo principal reducir el sesgo observacional del método Pyke o Estado de Salud del Pastizal (Interpreting Indicators of Rangeland Health - IIRH) mediante la incorporación de variables cuantitativas posibles de medir a través de instrumentos de precisión y métodos de menor complejidad. Además, se identificó las variables más sensibles a los cambios de estado de salud y generó un modelo matemático basado en el uso de las técnicas multivariadas, regresión logística y análisis discriminante lineal, para predecir la salud del pastizal y validarlo de acuerdo con el método Pyke. Las evaluaciones se localizaron en pajonales de diferentes estados de salud en ecosistemas altoandinos de las regiones Huancavelica, Áncash, Lima y Pasco. En estas áreas se evaluaron 17 variables cuantitativas asociadas a los atributos del pastizal, y en base a ellas, se generaron modelos matemáticos empleando las técnicas multivaridas antes mencionadas. La validación se realizó en pastizales localizados en las mismas regiones de la evaluación inicial. Se obtuvo que la técnica multivariada que generó el modelo con mayor precisión en la estimación, con respecto al método Pyke, fue el análisis discriminante lineal en su fase de entrenamiento y validación. Se concluyó que las variables que detectaron con mayor sensibilidad los cambios de estado de salud y, a la vez, de mayor influencia en la predictibilidad del modelo elegido, fueron cobertura basal de vegetación, pavimento de erosión y suelo desnudo. El método Pyke estima con precisión la salud del pastizal a través de la evaluación de los procesos ecológicos, pero no permite que pueda ser usado en proveer información de tendencia por su carácter cualitativo. Las técnicas multivariadas, de naturaleza cuantitativa, permiten estimar la tendencia en un enfoque ecológico, por consiguiente, debería usarse en combinación con el método Pyke.

Palabras claves: pastizales, salud del pastizal, tendencia, técnicas multivariadas, análisis discriminante

ABSTRACT

Rangeland ecosystems provide a wide diversity of ecosystem services to society benefit, including a huge number of rural families worldwide. However, they are at risk by degradation and desertification of lands caused by biophysical and socioeconomic factors. Therefore, there is a necessity of more accurate and less subjective tools for studies that can provide appropriate information about the state of rangeland health. The main objective of this study was to reduce the observational bias of Pyke or State of Rangeland Health (Interpreting Indicators of Rangeland Health – IIRH) method through the addition of quantitative variables that are able to be measure with precision implements and less complex methods. In addition, the most sensitive variables to changes between states of rangeland health were identified and a mathematical model was generated by multivariate techniques as logistic regression and linear discriminant analysis in order to predict rangeland health and validate it accordingly to Pyke's estimation. The evaluation zones were located in High Andean grasslands in different states of health in Huancavelica, Ancash, Lima and Pasco regions. In these areas 17 quantitative variables associated to rangeland attributes were evaluated and used to generate a mathematical model with the multivariate techniques before mentioned. Validation was performed in areas of rangelands located in the same regions of the initial evaluation. The linear discriminant analysis was the multivariate technique which generated the model with the highest accurate, according to results of Pyke method, during training and validation phase. In conclusion, the variables that were the most sensitive to changes between states of rangeland health and the most influential in the predictability of the model were basal vegetation cover, erosion pavement and bare soil. Pyke method precisely estimates rangeland health through the evaluation of ecological processes, but it cannot determine trend because of its qualitative form of evaluation. Multivariate techniques, which require quantitative data, permit estimate trend with an ecological approach, so they should be used in combination with Pyke method.

Key words: rangeland, rangeland health, trend, multivariate techniques, discriminant analysis

I. INTRODUCCIÓN

Los pastizales tienen una gran importancia ecológica, económica, social, cultural y política gracias a su aporte de bienes y servicios ecosistémicos en beneficio de poblaciones urbanas y rurales (Recharte *et al.*, 2002; Angerer *et al.*, 2015; Flores, 2015). Sin embargo, es desde el siglo pasado que los pastizales se han visto amenazados por el aceleramiento de procesos globales de degradación de tierras y desertificación, cambio climático y pérdida de biodiversidad, producto de las complejas interacciones entre agentes causales en los que resalta el impacto de inadecuadas intervenciones antropogénicas como sobrepastoreo, cambio de uso de suelo y otros (Pimentel & Kounang, 1998; McGranahan *et al.*, 2013; UNCCD, 2014; Angerer *et al.*, 2015). Entre los ecosistemas de pastizal más sensibles a la degradación por sus rangos de precipitación muy escasos e irregulares, sumados a la variabilidad interanual, están los que se localizan en zonas áridas y semiáridas que tienen precipitaciones que llegan a superar los 800 mm anuales (MINAM, 2011).

Durante el siglo pasado hubo un gran avance en el estudio del ecosistema pastizal ante la curiosidad de conocer la dinámica de la vegetación en respuesta a las perturbaciones para predecir las variaciones de la vegetación. Con ello, se elaboraron nuevos conceptos que contribuyeron al desarrollo de teorías y a su vez, a la construcción de modelos para explicar procesos ecológicos involucrados a la degradación. En ese contexto, se desarrolló la teoría de sucesión (Clements, 1916); décadas después, conceptos clementsianos como el estado clímax fueron la base de la teoría de equilibrio, regida por el pastoreo como la principal fuerza de perturbación; y más reciente, la teoría de no equilibrio que considera a las variables de comportamiento estocástico como agentes de perturbación, generando varios estados estables y transiciones. A partir de la teoría de sucesión, se generó el *range model*; de la teoría del equilibrio, métodos para evaluar la condición del pastizal; y de la teoría del no equilibrio, modelos sobre umbrales y transiciones (Briske *et al.*, 2003, 2005; Vetter, 2005; King y Hobbs, 2006) que surgieron a partir de estudios en pastizales de zonas áridas y semiáridas frente a la progresiva pérdida de productividad secundaria y diversidad como consecuencia de la degradación (Milton *et al.*, 1994).

Alrededor del 40% de la superficie del Perú se ve constituida por tierras semiáridas, incluyéndose bajo estas características a los ecosistemas de montaña por contar con precipitaciones entre los 200 a 1000 mm/año concentradas en un 70% entre los meses de diciembre y marzo (MINAM, 2011). Además, de acuerdo con Flores (2015), un alto porcentaje de los pastizales altoandinos refleja serias alteraciones en el conjunto de subsistemas, como la Vulnerabilidad Socio Ecosistema que para el escenario climático 2050 se agravarían las consecuencias. Ante esta situación, es de vital importancia tomar acción generando conocimientos y herramientas adaptados, mediante la investigación, a la realidad de los pastizales altoandinos. Siendo una alternativa para este propósito, la generación de modelos conceptuales y predictivos, de la mano de técnicas estadísticas como los multivariados. De esa forma, poder generar metodologías que faciliten cuantificar información sobre los componentes del ecosistema pastizal, para lograr conocer el estado de salud de este, de un modo menos subjetivo.

La presente investigación tiene por objetivo reducir el sesgo observacional del método Pyke o Estado de Salud del Pastizal – IIRH mediante la incorporación de variables cuantitativas posibles de medir a través de instrumentos de precisión y métodos de menor complejidad. Asimismo, conocer las variables más sensibles a los cambios de estado de salud y generar un modelo matemático basado en el uso de las técnicas multivariadas regresión logística y análisis discriminante para predecir el estado de salud del pastizal, y su validación con respecto a la estimación del método Pyke.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1 El Ecosistema Pastizal

Más del 40% de la superficie terrestre está ocupada por pastizales localizados principalmente en regiones áridas y semiáridas, formando distintos ecosistemas (Peters *et al.*, 2013; Angerer *et al.*, 2015). Los pastizales son definidos como tierras que poseen comunidades nativas de plantas, en algunos casos introducidas (Pellant *et al.*, 2005), y empleados principalmente para el pastoreo además, en actividades agronómicas y bajo manejo ecológico (Allen *et al.*, 2011; Society for Range Management, 1999 citado por Angerer *et al.*, 2015). Predominantemente se encuentran formando sabanas, matorrales, desiertos, tundras, comunidades alpinas y humedales (Society for Range Management, 1999 citado por Pellant *et al.*, 2005; Allen, 2011). Los pastizales son la fuente de una amplia variedad de bienes y servicios ambientales en beneficio de la humanidad, sin embargo, se han visto amenazados principalmente por la propia actividad humana y consecuencias ambientales generadas a partir de ella (Angerer *et al.*, 2015; Lawley *et al.*, 2016; Briske *et al.*, 2017).

2.1.1 Estructura y Función

Los ecosistemas o sistemas ecológicos están conformados por un conjunto de componentes interrelacionados, es decir, los organismos vivos en relación con su medio ambiente físico y químico (Barnes *et al.*, 1991). Por ello, Ahmadpour *et al.* (2017) mencionan que los ecosistemas poseen dos atributos, estructura y función. Por estructura se comprende a todos los componentes físicos que constituyen al ecosistema y su distribución espacial en él (Ahmadpour *et al.*, 2017). Barnes *et al.* (1991) y Holechek *et al.* (1995) agregan que los componentes bióticos (vivos) se clasifican de acuerdo a sus estrategias para adquirir energía y nutrientes a partir de los componentes abióticos (no vivos).

Las estrategias más básicas son de los autótrofos que obtienen la energía de la transformación de la energía solar a química a través de la fotosíntesis y de los heterótrofos que adquieren la energía de la ingesta de otros organismos. El grupo de los autótrofos o productores que

incluye a todas las especies de plantas productoras de clorofila (plantas de tejidos verdes), mientras que los heterótrofos o consumidores a todos los animales y microorganismos (Barnes *et al.*, 1991; Holechek *et al.*, 1995). En el Cuadro 1 se indican los elementos que forman parte de la estructura de los ecosistemas.

Cuadro 1: Estructura de los sistemas ecológicos

Componente Abiótico		
Radiación	Suelo	
Clima	Geografía	
Atmósfera	Fuego	
Componente Biótico		
<u>Organismo</u>	<u>Función</u>	
Plantas	Productores	} Autótrofos
Herbívoros	Consumidores primarios	
Carnívoros	Consumidores secundarios	} Heterótrofos
Descomponedores	Consumidores primarios, secundarios y terciarios	

FUENTE: Adaptado de Barnes *et al.*, 1991

Por otro lado, Ahmadpour *et al.* (2017) mencionan que el concepto de función es más amplio. Algunos investigadores lo definen como el total de bienes y servicios proveídos a la humanidad por los ecosistemas y otros, le dan un énfasis en su intervención en los procesos ecológicos y el funcionamiento de los ecosistemas. Por ejemplo, en el Cuadro 1 se puede observar la función que cumplen los organismos dentro de la cadena alimenticia y el proceso del flujo de energía.

De acuerdo con Ahmadpour *et al.* (2017), la variedad de ideas sobre las funciones de los componentes, se debe a la gran diversidad de funciones que presentan en los ecosistemas. Ahmadpour *et al.* (2017) agregan, que esta diversidad de funciones se da porque cada ecosistema en un estado dado, presenta una estructura particular donde los componentes se relacionan de una forma compleja, lo que le permite desarrollar ciertas funciones. Por ello, se puede mencionar que un mismo ecosistema puede generar múltiples funciones dependiente de su estado de salud.

2.1.2 Procesos Ecológicos

Los procesos ecológicos son la fuente de múltiples servicios ecosistémicos que la sociedad demanda a los pastizales (Briske *et al.*, 2017). Las interacciones entre las funciones de cada componente (estructura) del ecosistema pastizal se integran generando los procesos ecológicos. Son dos los procesos ecológicos claves: *flujo de energía y ciclo de nutrientes* (Holechek *et al.*, 1995). Pero existen otros que se han ido dando e intensificando por causas naturales o por la presión del hombre sobre los recursos del ecosistema: *alteración del flujo de energía por la cadena del detritus; redistribución y transformación de nutrientes; modificación de microclimas; alteración de propiedades físicas e hidrología del suelo; desestabilización de las interacciones* (Barnes *et al.*, 1991), contribuyendo a los procesos de degradación y desertificación.

La transferencia de energía a través de la cadena alimenticia en un ecosistema se denomina flujo de energía, que cumple la primera y segunda ley de termodinámica. La energía luminosa del sol es captada por gramíneas, hierbas y arbustos, y transformada por el proceso de fotosíntesis en energía química almacenada en plantas de tejido verde (productividad primaria). Siguiendo los niveles de la cadena alimenticia, los herbívoros ganan energía almacenada al consumir y digerir tejidos de plantas, pudiendo ser consumidos por carnívoros (productividad secundaria) o pasar directamente a la cadena del detritus mediante la descomposición (Cuadro 2). Sin embargo, en cada nivel trófico la energía es disipada en energía térmica (calor) mediante la respiración, excreción y muerte, impidiendo que esta pueda ser recuperada y reusada. Por ello, el flujo de energía es una vía de un solo sentido y que debe recargarse continuamente por la energía solar. Menos del 1% de la cantidad de energía solar usable que llega a la planta es usada para la fotosíntesis (Barnes *et al.*, 1991; Holechek *et al.*, 1995; Odum y Warrett, 2006).

El ciclo de nutrientes o también llamado ciclos biogeoquímicos es cuando los elementos químicos, incluyendo aquellos esenciales para la vida (carbono, nitrógeno, fósforo, etc.), tienden a circular en la biósfera a través de vías específicas que van desde el medio ambiente (atmósfera, suelo, rocas) a los organismos y viceversa (Holechek, 1995; Odum y Warrett, 2006). Los nutrientes esenciales influyen en la captura inicial y flujo de energía en los ecosistemas (Barnes *et al.*, 1991). Entre los factores que influyen en el ciclaje de nutrientes de la materia orgánica están temperatura y humedad (abióticos); la relación carbono-nitrógeno en la actividad de descomposición microbiana, la cantidad de mantillo incorporado por unidad de tiempo al ecosistema y la tasa a la cual se descompone. La pérdida de nutrientes en sistemas al pastoreo se da principalmente por volatilización, lixiviación, erosión del suelo y remoción de ganado del sistema. Entre los factores ambientales que afectan la alta variabilidad de la pérdida de nutrientes están la solubilidad de nutrientes, química y morfología del suelo, clima y topografía (Barnes *et al.*, 1991; Odum y Warrett, 2006).

El impacto del hombre y del ganado, a través del pastoreo, va más allá del efecto directo de defoliación de la vegetación, incluye además a los procesos asociados a los efectos indirectos que influyen en el crecimiento de las plantas y composición de la comunidad. El pastoreo, y actividades relacionadas a ello, pueden causar la modificación de microclimas y propiedades hidrológicas al reducir la acumulación de mantillo y cobertura del suelo por la vegetación, resultando en el incremento de suelo desnudo. Asimismo, pudiendo resultar en condiciones microclimáticas más tibias y secas en el suelo, y aire que faciliten el aumento de plantas perennes pero de corto periodo de vida, anuales y xerofíticas adaptadas a tales condiciones de vida, dependiendo de la intensidad y duración de la perturbación (Barnes *et al.*, 1991). Además, la reducción de la cobertura vegetal expone al suelo a la erosión por el agua (gota de agua de lluvia, escorrentía) y energía eólica (incremento de la velocidad del viento a nivel del suelo). A su vez, la compactación por pisoteo puede reducir la infiltración en el suelo e intensificar los daños por erosión, comprometiendo a la germinación y la supervivencia de gramíneas perennes (Barnes *et al.*, 1991; Pimentel y Kounang, 1998).

La presencia de herbívoros al pastoreo influyen en el ingreso, salida y transformación de nutrientes en el ecosistema, debido a que la defoliación afecta la reserva de nutrientes en la biomasa aérea y raíz, y pudiendo perjudicar su desarrollo. Asimismo, la variación en

abundancia y forma de los nutrientes puede contribuir a cambios en la composición de la comunidad y en la calidad, cantidad y dinámicas en la descomposición del mantillo (Barnes *et al.*, 1991). Por otro lado, los nutrientes básicos para las plantas como nitrógeno, fósforo, potasio y calcio se pueden perder durante procesos de erosión. Comúnmente los suelos erosionados contienen tres veces más la cantidad de nutrientes que las tierras de las cuales fueron extraídos (Lal, 1980 y Young, 1989 citados por Pimentel y Kounang, 1998). Sin embargo, el ganado al pastoreo tiene un papel importante en la mejora y mantenimiento de la fertilidad del suelo, pudiendo contribuir en el ciclaje de nutrientes, mediante heces y orina, al mantener reservas de nutrientes orgánicos mineralizables cerca a la superficie del suelo y facilitar su accesibilidad a plantas y microorganismos (Botkin y Wu, 1981 citados por Barnes *et al.*, 1991).

Otros impactos de los herbívoros al pastoreo y la actividad humana tienen que ver con procesos relacionados a las dinámicas de la comunidad de plantas. En el caso de *competencia*, las distintas preferencias del ganado usualmente generan diferentes frecuencias e intensidades de defoliación, además de pisoteo y adición de estiércol, que en consecuencia producen cambios en las interacciones competitivas entre las de mayor y menor preferencia. La respuesta de las plantas puede variar de acuerdo a la carga animal y posición topográfica. Por ello, aunque existan especies con distintos nichos, el pastoreo puede regular la abundancia y *diversidad* de la especies, de acuerdo a la duración e intensidad de la perturbación según la tolerancia de las plantas a la defoliación y al nivel de utilización. El impacto también se refleja en las *dinámicas de la población y productividad* al regular la natalidad de plantas, rebrote y mortalidad. Parámetros de población en plantas tales como, cambios en el área basal, abundancia relativa y composición de especies en sistemas al pastoreo, son indicadores de procesos en la composición de la comunidad a nivel de planta individual y comunidad (Barnes *et al.*, 1991).

Otro proceso es el *cambio de la abundancia entre plantas gramíneas y arbustiva*, el cual es un proceso natural progresivo que ha sufrido una aceleración en los últimos 150 años aproximadamente (Barnes *et al.*, 1991; Wilcox y Huang, 2010; Birhane *et al.*, 2017). Las plantas arbustivas son parte del ecosistema en la mayoría de pastizales alrededor del mundo (Liu *et al.*, 2013). Sin embargo, perturbaciones en el medio han dado paso al cambio de pajonales y savanas según reportes a nivel global. Entre los factores, y la interacción de ellos, que favorecerían la dominancia de las arbustivas está el pastoreo intenso al impactar

sobre aquellas gramíneas, pseudogramíneas o herbáceas que son deseables para el ganado. Otros factores son la reducción de la frecuencia de fuego (quemadas prescritas o incendios forestales) y el facilitar condiciones de dispersión y germinación de semillas de arbustivas (Barnes *et al.*, 1991; Archer y Olafur, 2000; Wilcox y Huang, 2010; Hibbard *et al.*, 2011; Birhane *et al.*, 2017). Se ha reportado que la reducción de la funcionalidad del ecosistema, a través de sus procesos, está asociado con la invasión de arbustos (Birhane *et al.*, 2017).

Entre otros posibles factores causantes, estarían los relacionados al cambio climático como la alteración de la frecuencia, cantidad y estacionalidad de las lluvias (Barnes *et al.*, 1991; Archer y Olafur, 2000; Hibbard *et al.*, 2011), controversialmente, el nivel de CO² atmosférico (Archer *et al.*, 1995; Hibbard *et al.*, 2011; Liu *et al.*, 2013); factores edáficos como textura del suelo, cantidad de nutrientes y humedad también contribuirían a la invasión de las plantas arbustivas. La invasión de arbustos y árboles ha sido tradicionalmente considerado negativo, no solo por la variación de la productividad en el pastizal de las plantas palatables para el ganado, al reducir la capacidad de carga sino también por la dificultad generada para el manejo de este, y el impacto sobre los procesos ecológicos, biogeofísicos e hidrológicos (Barnes *et al.*, 1991; Wilcox y Huang, 2010; Liu *et al.*, 2013; Birhane *et al.*, 2017). Por otro lado, este no es el caso de arbustales, como tipo de vegetación nativa, que están mejor adaptados a las condiciones bióticas y abióticas, y que cumplen un rol clave en la producción primaria, ciclo de nutrientes, estabilización del suelo y provisión de hábitat para la vida silvestre (Barnes *et al.*, 1991) y como combustible y material estructural para la población humana (Birhane *et al.*, 2017).

2.1.3 Servicios ecosistémicos

Los servicios ecosistémicos son los beneficios económicos, sociales y ambientales, directos e indirectos, obtenidos a partir del buen funcionamiento de los ecosistemas tales como la regulación hídrica en cuencas, mantenimiento de la biodiversidad, secuestro de carbono, belleza paisajística, formación de suelos y provisión de recursos genéticos, entre otros (MINAM, 2014). Los componentes de la naturaleza son aprovechados, consumidos o empleados para producir específicos beneficios medibles para la humanidad como alimento, fibra, agua, plantas medicinales, minerales, recreación, etc. (Peters *et al.*, 2013; Angerer *et al.*, 2015; Escobedo *et al.*, 2015 citado por Lohani *et al.*, 2016). Los servicios ecosistémicos pueden agruparse en servicios de provisionamiento, regulación, culturales y de soporte (Cuadro 3). Son importantes porque le conceden bienestar del hombre,

asimismo, porque son la fuente de ingreso económico de un quinto de la población mundial, especialmente de los que viven en países en vías de desarrollo (Peters *et al.*, 2013; Angerer *et al.*, 2015).

Sin embargo, por las mismas razones, su vulnerabilidad ha sido puesta en peligro con el tiempo, poniendo en riesgo su sostenibilidad funcional en muchos casos. Las diversas amenazas son de origen antrópico o natural y pueden llevar al pastizal a un estado de degradación. La degradación y desertificación son procesos causados por un complejo conjunto de factores biofísicos y socioeconómicos, donde diferentes arreglos de estos afectan a países de primer mundo y en vías de desarrollo de diferente manera y magnitud. Las dinámicas de uso de las tierras y el cambio de uso de ellas puede causar cambios en los servicios ecosistémicos (Birhane *et al.*, 2017). No obstante, pastizales ubicados en zonas áridas y semiáridas están adaptados a la alta variabilidad climática, ya que han sido formados por la influencia de perturbaciones como sequías, pastoreo y fuego, pero es de manera más reciente que estos procesos se han visto más frecuentes y de intensidades más dramáticas por la intervención de la actividad humana (Milton *et al.*, 1994; Angerer *et al.*, 2015; Ruppert *et al.*, 2015 citado por Oomen *et al.*, 2016).

Además, con las predicciones sobre el incremento e intensificación de los efectos del cambio climático (IPCC, 2013) sumado al incremento demográfico, causarán un marcado aumento en la presión de demanda de recursos (Oomen *et al.*, 2016). La competencia por el uso de tierras (Ej. Agricultura expansionista), el sobrepastoreo, eventos climáticos extremos y cambios socioeconómicos están causando la degradación de pastizales en muchas partes del mundo. La alteración de los ecosistemas a causa de la degradación se ve traducido en una influencia negativa en el almacenamiento de carbono a nivel de suelo; biodiversidad; producción de forraje; incremento de especies invasivas no nativas; fragmentación de reservas hidrológicas; erosión por agua y viento, la influencia de la superficie del suelo (partículas suspendidas por acción del viento) en las concentraciones químicas atmosféricas y en las concentraciones de los cuerpos de agua (erosión de rocas y afloramientos rocosos antes rodeados de vegetación o cubiertos por glaciares, por arrastre de partículas por acción del agua o depósito de ellas por el viento); y el clima (McGranahan *et al.*, 2013; Peters *et al.*, 2013; Angerer *et al.*, 2015).

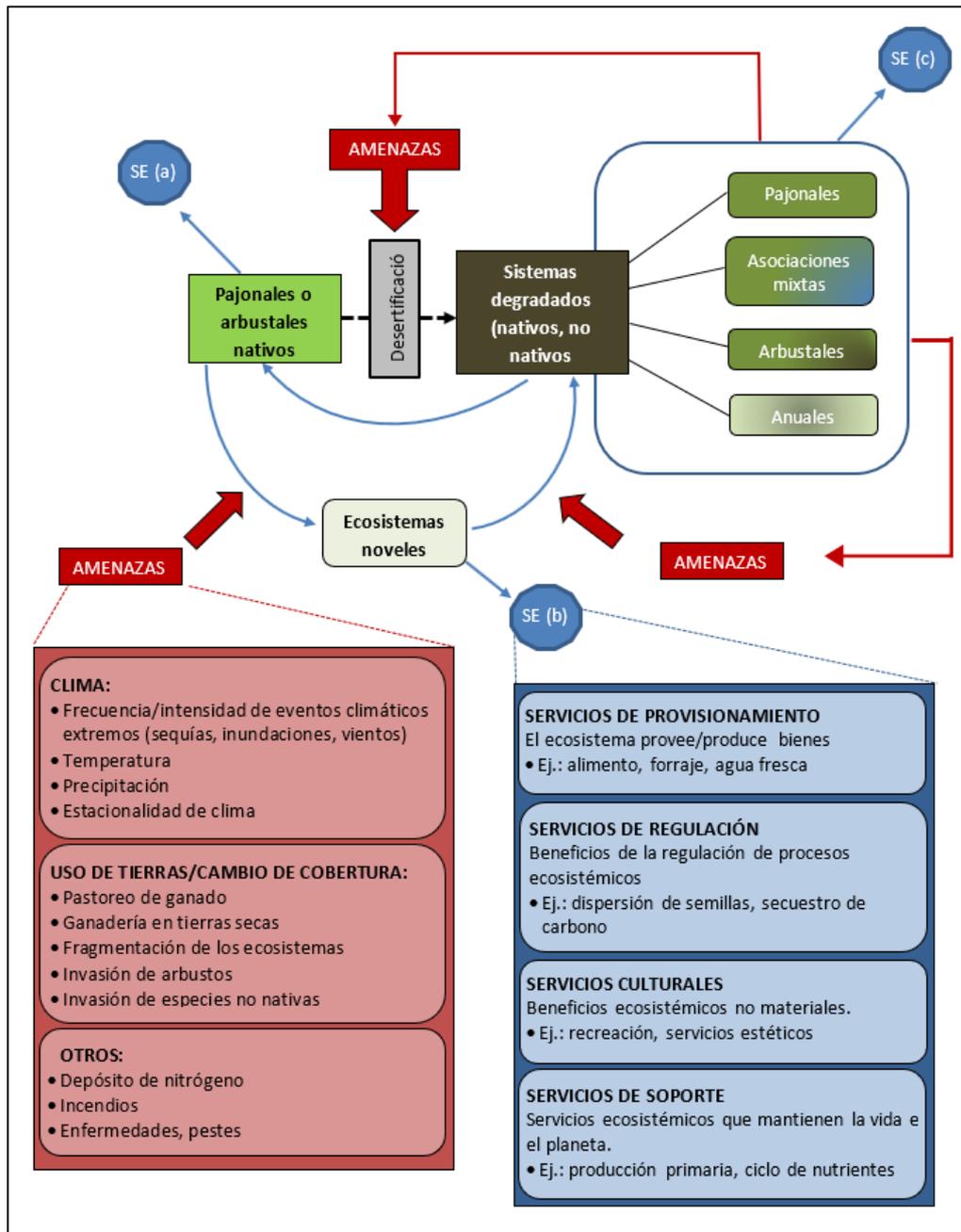
De acuerdo a Angerer *et al.* (2015), un pastizal degradado es aquel, que desde la perspectiva del concepto de salud del pastizal (Pellant *et al.*, 2005; Pellant *et al.*, 2008; Printz, *et al.*, 2014), es calificado como un pastizal *no saludable* o que presenta evidencia de que se está afectando la salud del paisaje en general. Por otro lado, un pastizal *saludable* será aquel que posea la sostenibilidad de sus servicios ecosistémicos como producción de forraje que dependerá de una limitada erosión del suelo, una efectiva captura, almacenamiento y liberación de agua, y el mantenimiento de la productividad y resiliencia de comunidades biológicas (Pellant *et al.*, 2005; Damdinsuren *et al.*, 2008; Flores, 2014; Cabrejo, 2017). Es mencionado por McGranahan *et al.*(2013), que cuando las perturbaciones superan la capacidad de resiliencia de los ecosistemas, estos ven reducida su estabilidad y funcionalidad causando que el pastizal cambie a estados catastróficos.

La desertificación es el resultado de la acumulación de amenazas al ecosistema, que interactúan en tiempo y espacio, y que pueden intensificarse con el clima a nivel regional (Cuadro 3). Peters *et al.* (2013) diagramaron el efecto retroalimentativo de la degradación en pajonales, savanas y arbustales nativos, que conlleva a que den paso a estadios de degradación en pajonales, invasión de otros grupos funcionales (dominancia de especies xerofíticas, asociaciones mixtas), arbustales dominados por especies no palatables en suelos degradados, y situaciones similares que causan la proliferación de plantas anuales en suelos degradados. En todos los casos existe la producción de servicios ecosistémicos, pero llegando al punto en que no se presentan los mismos, ni en cantidades ni magnitudes iguales, con respecto a los generados por las comunidades nativas o iniciales.

Así como el ecosistema produce servicios positivos también produce negativos que reducen la producción e incrementan los costos de producción, pero son los servicios ecosistémicos netos (servicios ecosistémicos positivos menos los servicios ecosistémicos negativos) aquellos que afectan el bienestar del ecosistema al impactar en su salud y su habilidad de soportar las necesidades humanas (Lohani *et al.*, 2016; Birhane *et al.*, 2017). Los servicios ecosistémicos netos comprende a los servicios ecosistémicos que poseen mercado y los que no, de una unidad de tierra. Estos servicios incluyen a todos los costos tangibles e intangibles, y a los beneficios que los humanos obtienen de los ecosistemas. Estimar los bienes y servicios ecosistémicos es de gran relevancia para protegerlos, ya que se obtendría información medible que contribuiría a comprender la dinámica de los

ecosistemas, su salud e integridad, asimismo, como un sustento para la toma de decisiones en el manejo sostenible de las tierras (Lohani *et al.*, 2016).

Cuadro 3: Dinámica de la desertificación: amenazas e impactos en los servicios ecosistémicos de los pastizales (SE)

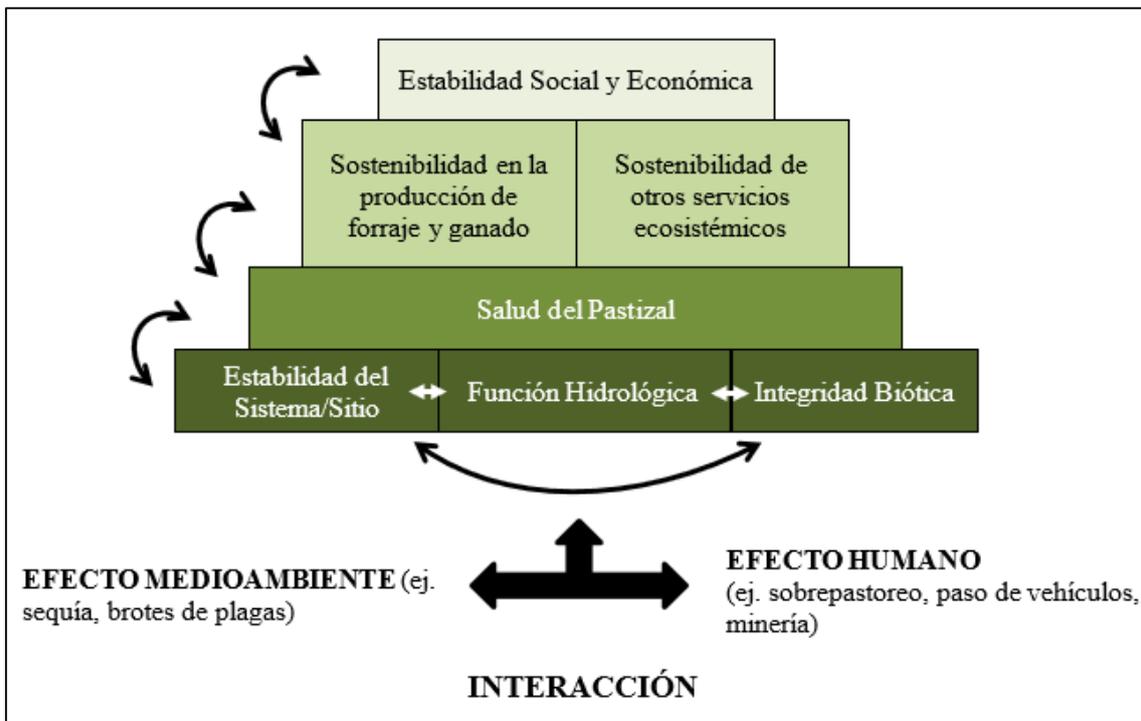


FUENTE: Adaptado de Peters *et al.*, 2013

En el Cuadro 4, Damdinsuren *et al.* (2008) esquematiza en una pirámide retroalimentativa la estabilidad social y económica de Mongolia, que tiene por cimientos al estado de salud del pastizal, dependiendo del grado en el que se presenten la *estabilidad sistema/sitio*,

función hidrológica e integridad biótica (funcionalidad de atributos), y que a su vez se ven afectados por los cambios en la estabilidad social y económica de la sociedad.

Cuadro 4: Influencia del estado de salud sobre la estabilidad social y económica



FUENTE: Adaptado de Damdinsuren, 2008

2.2 Modelos de Dinámica de la Vegetación

Durante el siglo pasado hubo un gran avance en el estudio del ecosistema pastizal y un mayor entendimiento sobre la aceleración de procesos de degradación en estos ecosistemas. Desde la primera mitad del siglo pasado, a través de la investigación se contribuyó a la elaboración de nuevos conceptos que aportaron al desarrollo de teorías, y a su vez de la construcción de modelos conceptuales con el objetivo de explicar los procesos ecológicos vinculados a la degradación y desertificación (Briske, *et al.* 2003, 2008; King *et al.*, 2006). Entre las teorías claves que contribuyeron a la construcción de modelos conceptuales y metodologías de evaluación, están la teoría de sucesión de Clements (Clements, 1917; Milton *et al.*, 1994) y las teorías de equilibrio y no equilibrio que aparecieron varias décadas después, que en la actualidad se encuentran bajo debate (Briske *et al.*, 2003; Vetter, 2005).

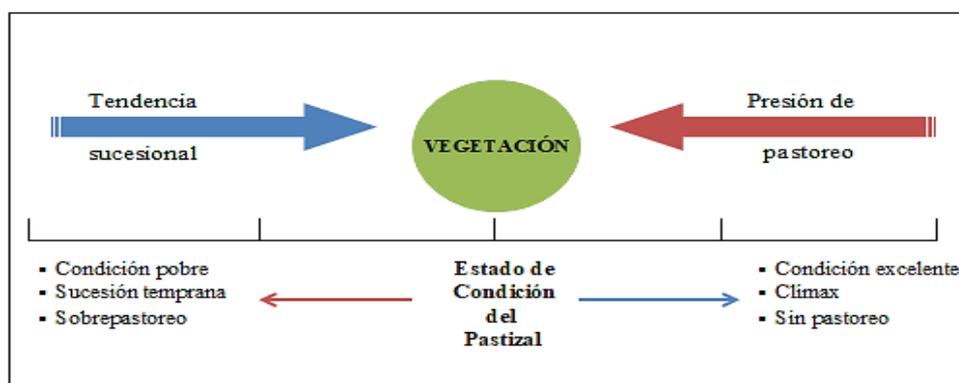
Debido a que los ecosistemas de pastizal son dinámicos y cambian constantemente (Holechek *et al.*, 1995). Los cambios en la vegetación han sido de interés de investigadores

en el campo de la ecología de pastizales, con el propósito de predecir variaciones en respuesta a perturbaciones y consecuentemente, conocer cuáles serían las prácticas adecuadas de manejo. Por dinámica de vegetación se entiende a los cambios que esta sufre en composición, riqueza y abundancia, y haciendo que su apariencia luzca como un mosaico formado por parches, producto de los distintos niveles de sucesión como respuesta a una perturbación (Briske *et al.*, 2003; King *et al.*, 2006). En ese contexto, es que los cambios involucrados en aspectos de la vegetación durante los procesos de degradación han sido conceptualizados en modelos de dinámica de la vegetación (Milton *et al.*, 1994).

2.2.1 Clímax – Pastizal

Durante la primera mitad del siglo pasado se construyó el modelo Pastizal (*Range Model*), también llamado modelo Sucesión o Clementsiano, y se rige por la teoría de sucesión de Clements que considera al pastoreo como una de las principales causas de cambios en la vegetación (Milton *et al.*, 1994; Briske *et al.*, 2003). De acuerdo con Milton *et al.* (1994), este modelo propone que la vegetación al ser perturbada regresa a un estado estable predecible, conocido como clímax cuando está bajo un conjunto de condiciones climáticas dadas. La representación de este modelo se encuentra en la Cuadro 5, en el que las flechas de la parte inferior indican la dirección que toma la condición del pastizal, según la fuerza natural de sucesión y el efecto contrario de la presión de pastoreo.

Cuadro 5: Modelo clásico de respuesta de la vegetación frente a la presión de pastoreo de Dyksterhuis (1948), basado en el modelo de sucesión lineal de Clements (1936)



FUENTE: Briske *et al.*, 2003

A partir de este modelo conceptual, se desarrollaron otros modelos, teorías y conceptos a lo largo de las décadas siguientes hasta la actualidad. Entre ellos, Dyksterhuis en 1949,

desarrolló un modelo que establecía la relación entre la intensidad de pastoreo con la composición de la comunidad de plantas según los tipos: decrecientes, acrecentantes e invasoras. Posteriormente, el modelo conceptual Sucesión fue empleado de base para la construcción de la teoría de Equilibrio. Es por ello, que la teoría de Equilibrio considera al pastoreo como la principal fuerza de perturbación del pastizal y es el estímulo para que se presente la sucesión de especies, pero tras entrar en descanso (suprimir la perturbación), el pastizal retornará a su estado inicial clímax mediante una regulación interna del sistema. La teoría del Equilibrio sirvió de fundamento para la creación de métodos de evaluación de la condición del pastizal, que consideran al estado clímax como condición excelente. (Briske, *et al.* 2003)

2.2.2 No Equilibrio

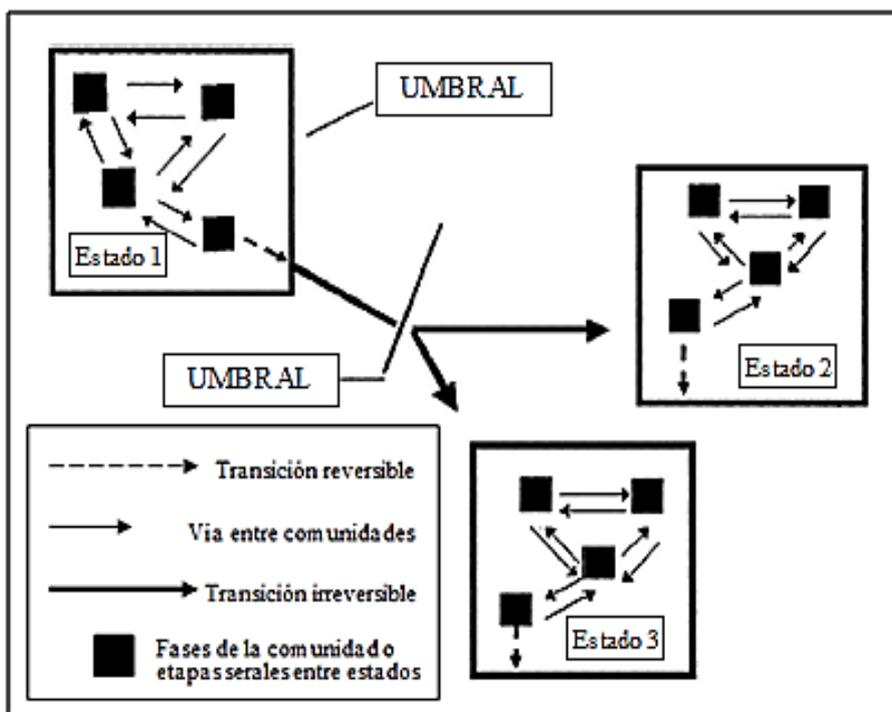
De acuerdo con Milton *et al.*, 1994 y Briske *et al.*, 2003, la teoría No Equilibrio fue desarrollada más recientemente se rige en que los ecosistemas son impulsados por las perturbaciones significativas de los agentes abióticos de comportamiento estocástico, como las variaciones climáticas, que consecuentemente produce cambios en la vegetación. Además, según esta teoría, el ecosistema tiene una limitada capacidad de regulación interna ante las perturbaciones y causa que el ecosistema no tenga un solo estado estable sino varios, y entre estos, transiciones. Esta teoría ha sido el principio de modelos desarrollados en las últimas décadas, como Umbrales (*threshold*) y, Estados y Transiciones (*state-and-transition*) que incluye conceptos de umbrales también. A diferencia de la teoría Equilibrio, la teoría No Equilibrio considera que los agentes bióticos no generan un efecto significativo (Briske *et al.*, 2003).

2.2.3 Estados y Transiciones

Según Lohani *et al.* (2016), los modelos de estados y transiciones son un poderoso modelo conceptual desarrollado por el Servicio de Conservación de Recursos Naturales (NRCS) y el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) para cada sitio ecológico de su país, destinado para al manejo de pastizales a través del establecimiento del potencial de las comunidades de vegetación, la descripción de la transición inducida por manejo de una comunidad vegetal a otra y los beneficios esperados proporcionados por los varios comunidades vegetales potenciales. Estos modelos son herramientas realmente efectivas para transmitir y compartir ideas sobre los cambios en la vegetación, y contribuir a la toma de decisiones en el manejo de pastizales.

El Cuadro 6 muestra un modelo conceptual de Estados y Transiciones (STM) en el que cada estado está representado por las cajas más grandes con bordes más resaltantes, estos pueden incluir varias comunidades de plantas que están indicadas por las cajas más pequeñas de color negro. Por lo que cada estado indica que, en cada uno de ellos, las comunidades de plantas pueden cambiar según el manejo que sea ejercido y otros factores desencadenantes, siendo estos cambios reversibles, hasta que cruzan un umbral y dejan de serlo. Los STM pueden ser potencialmente usados como marcos conceptuales cuantitativos para integrar el valor de los servicios ecosistémicos en los planes de conservación (Lohani *et al.*, 2016).

Cuadro 6: Modelo conceptual de Estados y Transiciones (STM)

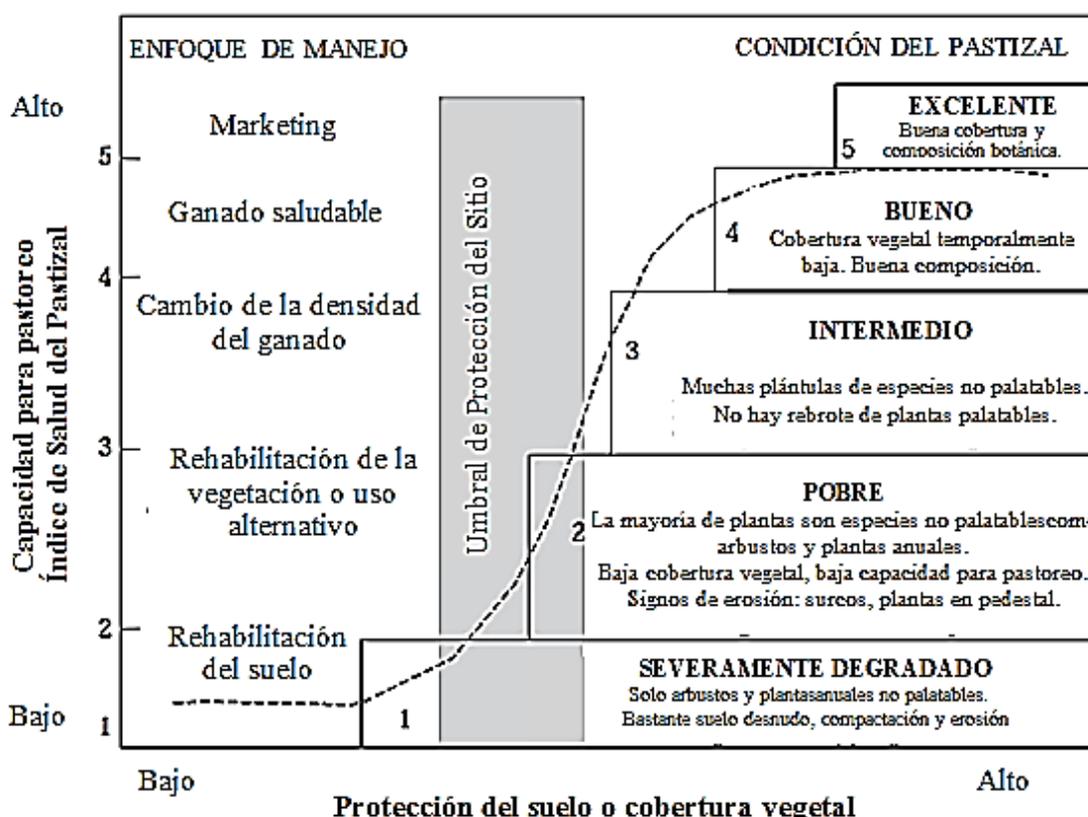


FUENTE: Adaptado de Lohani *et al.*, 2016

Antes del desarrollo de los STM, Milton *et al.* (1994, 1998) elaboró un modelo sobre degradación del pastizal (Cuadro 7), desarrollado especialmente para ecosistemas áridos y semiáridos que incorpora mecanismos de los modelos anteriormente mencionados es el modelo de degradación paso a paso. Este modelo considera que la degradación se da a través de cuatro pasos clave, siendo el punto de inicio un estado arbitrario de condición en el que la producción secundaria se presenta en un máximo posible, de igual proporción la biodiversidad silvestre que soporta, y el último, la desertificación. El modelo se basa en la teoría de no equilibrio, y además indica a qué nivel se deben dar las prácticas de

recuperación y rehabilitación, y algunas opciones de esta. Recalcando que un pastizal degradado en sus últimos pasos es mucho más caro que uno en los primeros, además que su precio en el mercado no es rentable. Finalmente, que tras superar el paso uno de degradación (durante años secos) la productividad secundaria se altera irreparablemente (Milton *et al.*,1994).

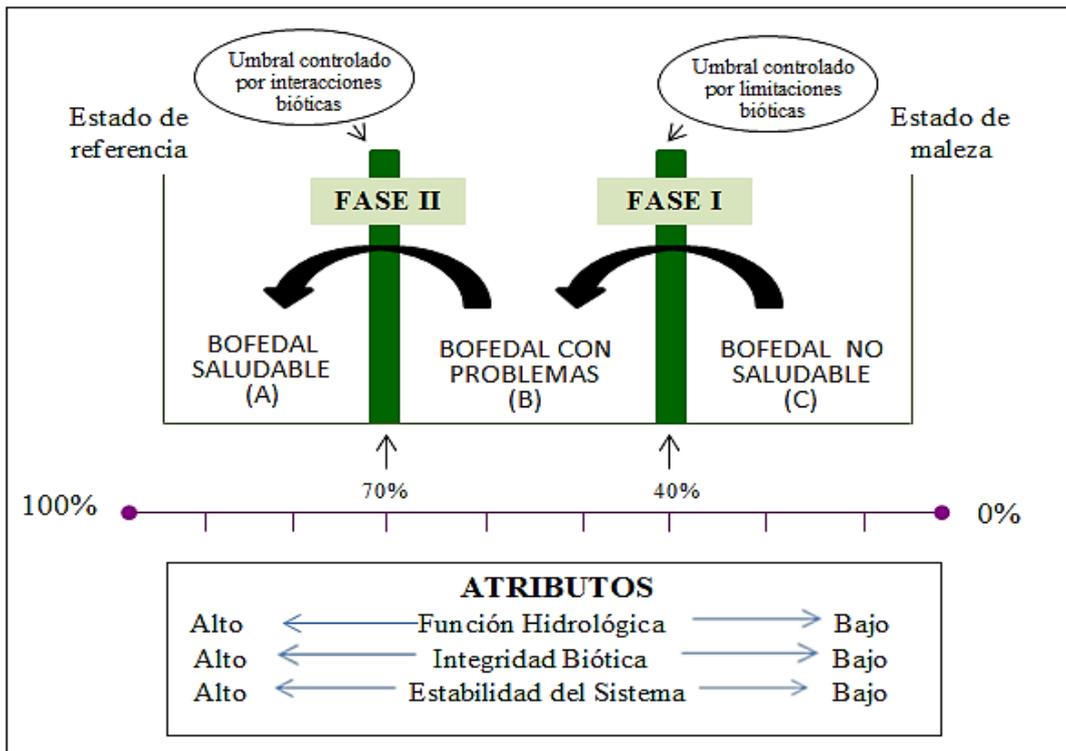
Cuadro 7: Índice de salud del pastizal 1 – 5 en relación al modelo paso a paso de degradación del pastizal basado en Milton et al. (1994)



FUENTE: Adaptado de Milton *et al.*, 1998

De acuerdo a Flores (2014), los umbrales son valores críticos que establecen el límite entre dos categorías o estados de conservación. Existen dos tipos de umbrales: el umbral biótico, que define los niveles mínimos que se encuentran los procesos ecológicos como la capacidad reproductiva, acumulación de biomasa, etc; el umbral abiótico, que define los niveles mínimos en que se encuentra la salud del suelo (Cuadro 8).

Cuadro 8: Estados transicionales del ecosistema de bofedal



FUENTE: Adaptado de Flores, 2014

2.3 Evaluación y Monitoreo de Salud del Pastizal

La evaluación de pastizales es el proceso de determinar el estado de los recursos naturales que lo componen. Los datos que describen los atributos de la vegetación se recaban mediante el muestreo como parte de un programa de inventario y monitoreo. Un inventario está definido por la evaluación de un área, objeto o individuo para obtener información como composición, condición o valor, para propósitos específicos como planificación, evaluación o manejo (USDA Forest Service, 2009 citado por Ruyle y Dyess, 2010). Los inventarios establecen el estado de los recursos del pastizal en un momento dado en el tiempo (NRC, 1994). Por otro lado, el monitoreo es la colección y análisis de observaciones repetidas o mediciones para evaluar cambios en condición y progreso hacia un objetivo de manejo, en el tiempo (NRC, 1994; USDA Forest Service, 2009 citado por Ruyle y Dyess, 2010). El monitoreo de pastizales se emplea usualmente para evaluar la respuesta a un programa de manejo de un sitio. Tales cambios solo pueden ser detectados mediante mediciones en una serie de tiempo (Muir y McClaran, 1997).

2.3.1 Métodos para Estimar la Condición y Tendencia del pastizal

Según Bedell y Cox (1994), la condición del pastizal es un antiguo concepto. Dyksterhuis (1949) y Dyksterhuis (1958) citado por Holecheck (1995) y, Ruyle y Dyess (2010) mencionan que desde un enfoque ecológico, la condición del pastizal es el grado de alejamiento de este de su estado clímax o comunidad vegetal potencial o histórica. Además, que la condición *excelente* representaría el clímax y la condición *pobre*, el más alejado del clímax. Bedell y Cox (1994), y Holeckeck (1995) determinan que la condición del pastizal se divide en las siguientes clases: *pobre*, *regular*, *buena* y *excelente*. Humphrey (1962) citado por Holeckeck (1995) y Cabrejo (2017) mencionan que en algunas ocasiones se puede agregar una quinta categoría, la cual puede ser *muy pobre*.

La salud del pastizal es un concepto más avanzado y surgió como opción alterna al de condición (NRC, 1994; Pellant *et al.*, 2005; Pellant *et al.*, 2008); se define como el grado en el que se encuentra la estructura y función del ecosistema (Flores, 2014), es decir, el grado en el que la integridad del suelo (NRC, 1994; Pellant *et al.*, 2005; Pellant *et al.*, 2008), vegetación (Pellant *et al.*, 2008), agua (Pellant *et al.*, 2008) y aire (Pellant *et al.*, 2008), de igual modo, los procesos ecológicos como el ciclo del agua (Printz *et al.*, 2014), flujo de energía y ciclaje de nutrientes, de los ecosistemas de pastizal, están balanceados (Pellant *et al.*, 2008) y son sostenibles (NRC, 1994; Printz *et al.*, 2014; Pellant *et al.*, 2008). Por integridad se refiere al mantenimiento de los atributos funcionales característicos de un lugar, incluyendo su variabilidad en condiciones normales (USDA, 1997 citado por Pellant *et al.*, 2005). Asimismo, establece la capacidad de resistencia a efectos destructivos de malas prácticas de manejo o perturbaciones naturales (NRC, 1994).

El concepto de tendencia fue inicialmente empleado en la década de los 70 por la Sociedad de Manejo de Pastizales (SRM) y consistió en la dirección que toma el cambio de la condición del pastizal (Holechek, 1995). Para Ruyle y Dyess (2010) y, Bedell y Cox (1994), la tendencia es la dirección del cambio de un atributo observado en el tiempo, por efecto o resultado del manejo y hasta cierto punto, del clima. Según Pellant *et al.*, (2005) la tendencia es la determinación de la dirección de la comunidad de plantas y suelos en el presente, en relación a una comunidad que existió en el pasado, y a la comunidad vegetal que a lo largo de un periodo se dirige al clímax histórico. La tendencia del pastizal es denominada también como el incremento, declinación o no aparente, cuando el pastizal se

dirige hacia el clímax, lejos del clímax o al parecer sin cambios, respectivamente. (Bedell y Cox, 1994; Ruyle y Dyess, 2010).

- **Métodos para determinar la condición y salud del pastizal:**

- **Método Tres Pasos de Parker**

Este método fue desarrollado en los años 50 y probablemente es uno de los métodos de evaluación y monitoreo del manejo en un pastizal, más conocido. El método Tres Pasos de Parker fue creado para proporcionar un método evaluación e interpretación basada en la comprensión de la dinámica de la vegetación en un momento dado. Sin embargo, el registro de datos no solo es de la vegetación, sino también, de los atributos del suelo. Este método colecta información cuantitativa y cualitativa, y además otorga una forma de puntuación técnica para determinar el estatus de los recursos del pastizal (Ruyle y Dyess, 2010).

El puntaje de la condición obtenido en el método Parker está basado en el concepto *clementsiano* de sucesión, de acuerdo al alejamiento de la vegetación del estado clímax, como producto de la retrogresión causado por el pastoreo (Westoby *et al.* 1989 citado por Ruyle y Dyess, 2010). El método permite obtener información complementaria como abundancia de especies de plantas, composición, cobertura del suelo, entre otros. La aplicación del método Tres Pasos de Parker consiste en el establecimiento de una transecta de 100 puntos, para el censo de vegetación, mantillo, roca, pavimento de erosión o suelo desnudo, usando una vara con un anillo de $\frac{3}{4}$ de pulgada de diámetro a un extremo con el que se hace las lecturas (Ruyle y Dyess, 2010).

En gabinete, las especies de plantas se clasifican según deseabilidad del ganado. Después, se hallan los valores porcentuales de *especies deseables* (y se multiplica por 0.5), *índice forrajero* que resulta de la suma de las especies deseables más las poco deseables (y se multiplica por 0.2), la *cobertura de la vegetación* que resulta de la suma de las especies deseables, poco deseables e indeseables, más los valores del censo de mantillo y musgo (y se multiplica por 0.2) y el *índice de vigor* que resulta de la altura promedio de una especie importante con respecto a su altura en clímax y se evaluó cada 10 puntos de la transecta (y se multiplica por 0.1) (Ruyle y Dyess, 2010). Finalmente, se suman los valores de los indicadores y se comparan con una

escala de uno a 100 divide en cinco bloques de estado de salud: *excelente, bueno, regular, pobre y degradado* (de mayor a menor puntaje). El estudio se complementa con fotografías del pastizal (Ruyle y Dyess, 2010).

○ **Método Milton o Modelo de Degradación de Tierras**

Esta metodología se desarrolló en Sudáfrica por Milton *et al.*, (1998) para determinar el estado de salud de pastizales de tipo de vegetación arbustiva. Este método surgió por el interés de en la sostenibilidad de la ganadería en los pastizales de la meseta Karoo y por el surgimiento de políticas de reordenamiento de los sistemas de manejo. De acuerdo con Milton *et al.*, (1998), este método está basado en el concepto de umbral de conservación de la Sociedad de Manejo de Pastizales y en el modelo degradación paso a paso del pastizal de Milton *et al.* (1994),

La metodología forma parte de una guía de ejecución rápida, fácil, interesante y efectiva, dirigida a manejadores de tierras, ganaderos a mediana y mayor escala.

La guía de evaluación tiene por objetivo que los ganaderos se familiaricen con prácticas para mantener la fertilidad del suelo y productividad de los pastizales a través del uso sostenible de sus múltiples recursos. También, de generar la sensibilización sobre el valor de la diversa flora y fauna de los pastizales del Karoo y motivar a la población a que determinen la condición y tendencia de sus propios pastizales (Milton *et al.*, 1998).

El evaluación es visual y considera cinco criterios para estimar la salud del pastizal: *valor forrajero* (porcentaje de especies palatables), *intensidad de pastoreo* (uso de plantas palatables), *indicadores de perturbación* (presencia de malezas, plantas anuales o matas), *regeneración de plántulas* (proporción de especies deseable más poco deseable/ indeseable) y, *salud del suelo y hábitat* (cobertura vegetal de acuerdo a lo esperado en bofedal, pajonal, césped de puna y tolar; signos positivos como mantillo y cubierta vegetal; signos negativos como plantas en pedestal, pavimento de erosión y raíces expuestas). Los indicadores se suman y divide entre cinco, para luego ser contrastado con un rango de puntaje del uno al cinco de los estados de salud: *excelente, bueno, regular, pobre y degradado* (que va de mayor a menor) (Milton *et al.*, 1998).

○ **Método Pyke o Estado de Salud del Pastizal – IIRH**

También llamado método Interpreting Indicators of Rangeland Health (IIRH) (Pyke *et al.*, 2002; Pellant *et al.*, 2005; Printz *et al.*, 2014). La técnica consiste en usar 17 indicadores cualitativos relacionados al potencial dentro de un sitio ecológico para calificar el grado de alejamiento de este, y de ese modo, de una manera rápida poder evaluar tres atributos de la salud del pastizal (estabilidad del sistema (sitio/suelo), función hidrológica, integridad biótica) (Pyke *et al.*, 2002; Pellant *et al.*, 2005; Pellant *et al.*, 2008; Printz *et al.*, 2014). Se usa el término atributo para describir un componente de un ecosistema que no puede ser directamente medido, pero sí lo puede ser de manera aproximada a través de un grupo de indicadores observables (Pyke *et al.*, 2002; Pellant *et al.*, 2005; Printz *et al.*, 2014).

Los atributos son: *estabilidad del sitio/suelo*, es la capacidad de un sitio para delimitar la redistribución y pérdida de los recursos del suelo (incluyendo nutrientes y material orgánico) por causa del agua y viento (Pellant *et al.* 2005); *función hidrológica*, es la capacidad de un sitio para capturar, almacenar y liberar parte del agua de lluvia, escurrimientos y deshielo (cuando sea el caso), resistir la reducción de esta capacidad y recobrarla después de un proceso de degradación (Pellant *et al.* 2005); *integridad biótica*, es la capacidad de un sitio para mantener las características funcionales y estructurales de las comunidades biológicas en un contexto de variabilidad normal, y además, tras sufrir la pérdida de este atributo, puedan recuperarse al cese de la perturbación (Pellant *et al.*, 2005). Los atributos y sus indicadores asociados están en el Cuadro 9.

Cuadro 9: Atributos y sus indicadores del Método Salud del Pastizal (IIRH)



FUENTE: Adaptado de University of Idaho, 2012

Descripción de los 17 indicadores:

- (1) *Erosión por surcos*: Son pequeños canales que generalmente se presentan rectos y no necesariamente siguen la microtopografía, como lo hacen los patrones de escorrentía. Se forman debido a la compleja interacción de gotas de lluvia, agua de escorrentía y las características de la superficie del suelo. El potencial se incrementa con el grado de perturbación (pérdida de la cobertura del suelo) y pendiente (Pellant *et al.*, 2005).

- (2) *Patrones de flujo de agua*: Son las vías que el agua (cuando esta se acumula) sigue en su movimiento sobre la superficie del suelo durante una lluvia o deshielo (escorrentía). El agua de escorrentía se presenta usualmente después de lluvias intensas debido a que la superficie del suelo impide la infiltración o porque se excede su capacidad de hacerlo. Son controlados por el tipo de coberturas: intercepciones basales de plantas vivas o muertas, corteza criptogámica, mantillo persistente, grava, rocas (Pellant *et al.*, 2005). La erosión por agua de escorrentía ha sido identificada

como la transportación más importante de sedimentos en pastizales (Tiscareño-López, *et al.*, 1993 citado por Pellant *et al.*, 2005).

- (3) *Plantas en pedestal*: Son rocas y plantas que aparecen elevadas como resultado de la pérdida de suelo por erosión de agua o viento. Las terracetas son acumulaciones de suelo atrás de obstáculos (rocas, planta, etc.) causados por movimiento del agua (no viento). A medida que el movimiento del suelo por agua se incrementa, las terracetas aumentan en número o tamaño y el área de depósito del suelo se incrementa (Pellant *et al.*, 2005).
- (4) *Suelo desnudo*: Es suelo orgánico o mineral que es susceptible a la erosión a causa del golpe de las gotas de lluvia (Morgan, 1986 citado por Pellant *et al.*, 2005). Es lo opuesto a la cobertura basal vegetal, mantillo, grava, roca y corteza criptogámica. La cantidad de suelo desnudo puede variar estacionalmente dependiendo del impacto sobre la vegetación (utilización por herbívoros), cantidad de mantillo (pérdida por pisoteo) y anualmente debido al clima (sequías, precipitaciones que sobrepasan el promedio, etc.) (Anderson, 1974, Gutiérrez y Hernández, 1996 citado por Pellant *et al.*, 2005). El suelo desnudo es un indicador directo de la susceptibilidad del sitio a la aceleración de la erosión por agua o viento.
- (5) *Cárcavas*: Son aberturas o cortes en el suelo producto del movimiento del agua en la superficie. Las cárcavas pueden formarse de manera natural, pero también como resultado de sobrepastoreo, huellas de autos, vías de drenaje, etc., que pueden acelerar su formación y expansión (Morgan, 1986; citado por Pellant *et al.*, 2005).
- (6) *Áreas que han sido limpiadas/ depositadas por el viento*: Las áreas que presentan erosión eólica presentan también espacios que parecen barridos donde las finas partículas del suelo han sido removidas, en algunos casos dejando sólo grava, rocas o raíces expuestas en la superficie del suelo (Anderson, 1974 citado por Pellant *et al.*, 2005). Mientras más alta es la vegetación es mayor la tasa de depósito, así árboles y arbustos en los ecosistemas de pastizal actúan como fuentes de depósito. El suelo removido es redistribuido en áreas de acumulación (depósitos eólicos) las cuales se incrementan en tamaño y superficie dependiendo del grado de incremento de la erosión eólica (Pellant *et al.*, 2005).

- (7) *Movimiento de mantillo*: Es el grado y cantidad de movimiento (redistribución) del mantillo (material vegetal muerto que esta en contacto con la superficie del suelo). Es un indicador del grado de erosión por agua y/o aire existente en el sitio. La redistribución de mantillo dentro de un área pequeña en un sitio es indicativo de menor erosión, mientras que el movimiento de mantillo fuera del sitio es indicativo de erosión severa. La capacidad inherente del movimiento del mantillo en un suelo está en función de su pendiente y estabilidad geomórfica. La cantidad de mantillo movido varía dependiendo de la cantidad de suelo desnudo típico de la comunidad vegetal y la intensidad de los eventos climáticos (Pellant *et al.*, 2005).
- (8) *Resistencia de la superficie del suelo a la erosión*: La resistencia depende de la estabilidad de la estructura del suelo (debido a la cobertura (corteza, vegetación, etc.), microtopografía y variabilidad espacial (Morgan, 1986 citado por Pellant *et al.*, 2005). La estabilidad de la superficie del suelo es clave para este indicador, y para esto es necesario, materia orgánica en el suelo completamente incorporada a los agregados de la superficie del suelo, dando adhesión por su descomposición a la superficie del suelo y corteza biológica o criptogámica, que se desarrolla bajo la superficie del suelo. La presencia de uno o más de estos factores es un buen indicador de la resistencia de la superficie del suelo a la erosión (Pellant *et al.*, 2005).
- (9) *Pérdida del suelo o degradación*: es un indicador de la pérdida del potencial del sitio. El suelo de la superficie, y cerca a esta, tiene el más alto contenido de nutrientes y materia orgánica, que generalmente controlan la máxima tasa de infiltración, además siendo esencial para el éxito en del establecimiento de plántulas (Wood *et al.*, 1997 citado por Pellant *et al.*, 2005). Cuando la erosión se incrementa, la pérdida de materia orgánica de la superficie del suelo aumenta, resultando en una subsiguiente degradación de la estructura del suelo. La degradación estructural se refleja como un horizonte más masivo, homogéneo y está asociado con una reducción de la tasa de infiltración (Warren *et al.*, 1986 citado por Pellant *et al.*, 2005).
- (10) *Composición de la comunidad de plantas y distribución relativa de la infiltración y escorrentía*: Los cambios en la composición de las comunidades de plantas, forma de crecimiento, distribución y tipo de vegetación, influyen en la habilidad de un sitio

ecológico para capturar y almacenar el agua de la lluvia. Los patrones de enraizamiento de las plantas, producción de mantillo, procesos de descomposición asociados, área basal y distribución espacial pueden afectar la infiltración y/o escorrentía (Pellant *et al.*, 2005).

(11) *Capa de compactación*: Se refiere al endurecimiento de la capa cercana a la superficie del suelo, producto del impacto continuo en la superficie de este (el paso de vehículos y maquinaria, pisoteo de herbívoros, etc.). La compactación se vuelve un problema cuando comienza a limitar el crecimiento de las plantas (Wallace, 1987 citado por Pellant *et al.*, 2005), la infiltración del agua o el proceso del ciclo de nutrientes (Hannink *et al.*, 1993 citado por Pellant *et al.*, 2005). El suelo húmedo o saturado es más fácil de compactar que el suelo seco. La compactación del suelo es un cambio estructural, no un cambio en textura (Pellant *et al.*, 2005).

(12) *Grupos funcionales o estructurales*: Son conjuntos de plantas que debido a su morfología, tipos de raíces, tipos de fotosíntesis, habilidad de fijación de nitrógeno o ciclos de vida, se encuentran agrupadas en un mismo sitio ecológico (Chapin, 1993). La composición y diversidad funcional son los principales factores que explican la productividad, porcentaje de nitrógeno en plantas y penetración de luz. La composición funcional tiene un gran impacto sobre los procesos ecológicos y entre los factores que alteran esa composición, están la invasión de especies, depósito de nitrógeno, perturbaciones frecuentes, fragmentación de ecosistemas, remoción de especies (eliminación de depredadores, etc.) y prácticas de manejo que pueden tener un fuerte efecto en los procesos del ecosistema (Pellant *et al.*, 2005).

(13) *Mortalidad de plantas*: Es la proporción de plantas muertas o decadentes en la comunidad comparado a lo que se esperaría para el sitio, bajo regímenes normales de perturbación. Por ello, es un indicador de la dinámica de poblaciones de la comunidad. Si no se diera el reclutamiento de plantas nuevas y las plantas existentes estuvieran muriendo o están ya muertas, la integridad de la comunidad decae y otras plantas indeseables (malezas o invasoras) se incrementarían. Un pastizal saludable tiene una mezcla de categorías por edades (Stoddard, *et al.* 1975 citado por Pellant *et al.*, 2005). La mortalidad de plantas va a variar ampliamente dependiendo de los eventos de perturbación (fuego, sequía, etc.) (Pellant *et al.*, 2005).

- (14) *Cantidad de mantillo*: El mantillo es cualquier componente muerto de la planta (de especies nativas o exóticas) que esta en contacto con la superficie del suelo. El mantillo proporciona la fuente principal de materia orgánica al suelo y la materia prima para el ciclo de nutrientes. El mantillo también contribuye al microclima y disponibilidad de alimento a los microorganismos. La cantidad de mantillo ayuda también a darle cierta resistencia al suelo contra la erosión. El mantillo ayuda a disipar la energía de las gotas de lluvia y el escurrimiento, por lo que reduce el potencial de transporte de sedimentos (Hester *et al.*, 1997 citado por Pellant *et al.*, 2005). El mantillo esta directamente relacionado al clima y al grado de utilización de la biomasa cada año (Pellant *et al.*, 2005).
- (15) *Producción anual*: La producción primaria es la conversión de la energía solar a energía química mediante el proceso de fotosíntesis. La producción anual es la cantidad neta de biomasa aérea producida por una planta vascular durante un año. La biomasa aérea (producción anual) es un indicador de la energía capturada por plantas y su disponibilidad para consumidores secundarios en un ecosistema bajo ciertas características climáticas. La producción potencial cambia con la comunidad o sitio ecológico (Whittaker, 1975 citado por Pellant *et al.*, 2005), diversidad biológica (Tilman y Downing, 1994 citado por Pellant *et al.*, 2005) y latitud (Cooper, 1975 citado por Pellant *et al.*, 2005). La producción anual del área de interés es comparada con el potencial del sitio o área de referencia. No se debe incluir material senescente en la producción anual. Todas las plantas deben de incluirse, nativas o introducidas (Pellant *et al.*, 2005).
- (16) *Plantas invasoras*: Este indicador incluye todas las plantas que sus poblaciones se han incrementado por encima de lo normal, no necesariamente son tóxicas ni exóticas. Las plantas invasoras pueden incluyen plantas tóxicas, que causan un impacto económico y ecológico, no nativas y nativas. Los reportes históricos y fotografías pueden aportar información sobre la distribución histórica de las plantas invasoras. Las plantas invasoras pueden influir en el tipo del ecosistema y en la abundancia de las especies, sus interrelaciones y en el proceso a través del cual, la energía y nutrientes se mueven a través del ecosistema. Estos impactos pueden influir tanto en organismos como en las propiedades físicas del sitio ecológico (Olson, 1999

citado por Pellant *et al.*, 2005). Las especies invasoras pueden afectar negativamente un sitio al incrementar el uso del agua o por una rápida extracción de nutrientes.

(17) *Capacidad reproductiva de las plantas perennes*: La producción adecuada de semillas es esencial para mantener las poblaciones de plantas cuando la reproducción sexual es el mecanismo principal para el reemplazo de plantas en el sitio. Sin embargo, la producción anual de semillas en plantas perennes es muy variable, debido a que el crecimiento reproductivo ocurre en forma estacional (White, 1979 citado por Pellant *et al.*, 2005), la producción de inflorescencias es la medición básica de reproducción sexual en plantas y los rebrotes para la reproducción vegetativa. En plantas que se reproducen vegetativamente, el número y distribución de hijuelos o rizomas es cuantificado en relación a las estructuras reproductivas en plantas perennes del área de referencia. Solo las plantas nativas con semilla son utilizadas como indicador; las plantas invasoras no se consideran en esta evaluación (Pellant *et al.*, 2005).

El protocolo de evaluación está diseñado para: ser usado solo por personal de experiencia en área de estudio; proveer una evaluación preliminar de la estabilidad del sistema, función hidrológica e integridad biótica, dentro de un sitio ecológico; dar a conocer conceptos fundamentales de ecología del pastizal a un público bastante variado; mejorar la comunicación entre grupos afines al área de pastizales y discutir sobre propiedades, y procesos críticos en ecosistemas; seleccionar sitios ecológicos de monitoreo; identificar áreas en potencial riesgo de degradación o donde se presentara un problema con los recursos naturales. Por el contrario, el protocolo de la evaluación no está diseñado para: identificar causas de perturbaciones al ecosistema; ejecutar prácticas de mejora de manera independiente; realizar el monitoreo y determinar tendencia de sitios ecológicos.

Una herramienta empleada en el protocolo del método de Estado de Salud (IIRH) es el estado de referencia de los sitios ecológicos evaluados. El estado de referencia es donde las capacidades funcionales (potencialidad de un sitio ecológico) representadas por la estabilidad del sitio/suelo, función hidrológica e integridad biótica están presentándose cerca de un estado óptimo, bajo un régimen de perturbación normal. Para obtener el estado de referencia de un sitio ecológico, es necesario recopilar la descripción del sitio ecológico,

datos de salud del suelo y el conocimiento de expertos (experimentados manejadores de tierras y ecológicos especialistas en ecosistemas altoandinos) (University of Idaho, 2012).

Pellant *et al.*, (2005) y Pellant *et al.*, (2008), aclaran que el método Estado de Salud (Interpreting Indicators of Rangeland Health - IIRH) continuará desarrollándose, a medida que el conocimiento sobre la dinámica de los pastizales a nivel mundial se profundice, y por consiguiente, el concepto de salud del pastizal.

- **Métodos para determinar la tendencia del pastizal:**

Algunas de las metodologías para determinar la tendencia de los pastizales altoandinos son:

- **Método Colorado State University**

Este método es considerado por el USDA Soil Conservation Service en el Manual de Pastizales (National Range Handbook) del año 1964 (Bonham, 2013). Los indicadores en este método evalúan cinco capacidades del recurso vegetal, mantillo y suelo, que son la *reproducción* de las plantas: producción de rebrotes, varias plantas, tallos sanos, rizoma, estolones; *proporción residual y grado de utilización* de especies forrajeras; *cambios en la composición* de las plantas deseables e indeseables para el ganado; *vigor de las plantas*: plantas robustas, no mueren y bien enraizadas; y la *condición de la superficie del suelo*: sin signos de erosión acelerada, signos de anteriores procesos de erosión y formación de costras.

Cada indicador es evaluado a través de dos opciones, una que refleja la presencia favorable del indicador y la otra representada en un estado perjudicial para el pastizal. Cada opción de los indicadores tiene un puntaje, pudiéndose solo elegir una por indicador. Posteriormente, se suma el puntaje de los indicadores y se obtiene un total, que de ser mayor o igual a 12 significa que la tendencia del pastizal es de incremento, de lo contrario, si resulta menor a 12 quiere decir que la tendencia está declinando (LEUP, 2013; Cabrejo, 2017).

○ **Método Arizona State University**

Este método determina la tendencia teniendo en cuenta a la florística, mantillo, y suelo del ecosistema pastizal, a través de seis indicadores como la *presencia de plántulas jóvenes; existencia de hojarasca o mantillo en el suelo; erosión laminar y cárcavas, existencia de plantas en pedestal; vigor de las plantas: número de cabezas florales, altura de planta, cantidad y longitud de las hojas, y longitud de los rizomas y estolones; composición del pastizal: variedad de plantas perennes; presencia de malezas por debajo del 20%*.

Para ejecutar este método se hace uso de una guía simple que permite evaluar los indicadores mediante un cuestionario de respuestas dicotómicas. Finalmente, de obtener un mayor número de preguntas respondidas afirmativamente, excepto sobre el indicador erosión, la tendencia del pastizal fue catalogada como *mejorando*, contrariamente, cuando se obtuvieron más respuestas negativas, con excepción de la pregunta sobre erosión, la tendencia del pastizal fue establecida como *declinando*, y al ser respondidas las preguntas en proporción similar, la tendencia evidenciaba ser *estable* (Terrel, 2012; Cabrejo, 2017).

○ **Método Universidad Nacional Agraria La Molina**

El método fue desarrollado por los investigadores Enrique Flores y Sabina Pillaca en el año 2008. El método utiliza una ficha de calificación donde está 10 indicadores de la vegetación y suelo del pastizal, estos son: *proporción de especies deseables, proporción de material verde, número de macollos reproductivos y en buenas condiciones, estructura de plantas, diversidad de plantas perennes, altura de plantas, volumen de plantas, notoriedad de suelo desnudo y pavimento de erosión, proporción de plantas indeseables y grado de cobertura con hojarasca y mantillo*. En la ficha de calificación, los 10 indicadores se presentaron en dos grupos, el A y B, en cada uno de ellos están incluidos los 10 indicadores, pero en el grupo A están los indicadores con una orientación positiva mientras en el grupo B presentan una orientación negativa.

A su vez, están presentes dos columnas, una (I) con un signo positivo (+) y otra (II) con un signo negativo (-). Las calificaciones de los indicadores del grupo A fueron colocadas en la columna I (+), por otro lado, las de los indicadores del grupo B

fueron colocadas en la columna II (-). La calificación para cada indicador fue del 1 al 5, es decir, de +1 a +5 para la columna I y de -1 a -5 para la columna II. Después de la calificación, se suman las columnas I y II por separado, y luego se comparan los resultados entre sí. Si el resultado de la primera columna es mayor que el de la segunda entonces la tendencia de la condición del pastizal está mejorando, si en caso los resultados hubieran sido lo contrario, se diría que la tendencia es regresiva; de resultar el mismo puntaje para ambas columnas, el pastizal se encuentra estable (Pillaca, 2008 y Cabrejo, 2017).

2.3.2 Técnicas Multivariadas

El análisis multivariado consiste en todos aquellos métodos estadísticos que analizan simultáneamente medidas múltiples (más de dos variables) de cada individuo. Es decir, son una extensión de los análisis univariados (análisis de distribución) y bivariados (clasificaciones cruzadas, correlación, análisis de varianza y regresiones simples) que se consideran como tal, en caso todas las variables son aleatorias y están interrelacionadas (Hair *et al.*, 1999). Las técnicas multivariadas son consideradas una alternativa de metodología eficiente, cuantitativa y de mayor precisión para la estimación de la condición del pastizal, asimismo de la identificación de estados sucesionales en el pastizal, desde estados serales hasta el clímax o cerca a este. Entre las técnicas más usadas en el estudio de ecosistema de pastizales son componentes principales, análisis factorial, clúster, métodos de regresión, análisis discriminante (Zare Chahouki *et al.*, 2010).

Se han usado las técnicas multivariadas con el propósito de identificar las especies botánicas que mejor discriminarían los estados sucesionales, posteriormente se prueban los porcentajes de error de estimación de estados ecológicos o sucesionales y la mejor combinación es aquella que genera menor porcentaje (Uresk, 1990). De acuerdo a Mosley *et al.*, 1986, con el propósito de estimar la condición del pastizal a partir de la composición botánica, se empleó la técnica multivariada de análisis Discriminante a datos de muestreo de frecuencias. En un estudio realizado por McGranahan *et al.*, 2013, con ese propósito se busca categorizar comunidades de plantas por estados de degradación en base a tres factores de degradación biofísicos y florísticos, para ello, se empleó métodos multivariados. Para predecir los patrones existentes en la composición de la comunidad (reflejado en estados de vegetación) se consideró como variables: la abundancia de una

especie de planta considerada como invasora (nombre común: festuca alta), historial de pastoreo y cantidad de abono orgánico del suelo.

Asimismo, la elaboración de un modelo en base a los estados de vegetación hallados y los factores significativos, guiado del modelo de estados y transiciones, como herramienta para identificar las posibles rutas entre estados que tomaría la vegetación en casos de degradación y restauración. En 1991, Pamo *et al.* hallaron la condición del pastizal que se obtuvo mediante el método del Servicio de Conservación de Suelos (SCS) basado en composición botánica con respecto al clímax, y se halló que la condición de las transectas se comprendió en tres: pobre, regular y buena. Los datos de biomasa área se promediaron por especie y por transecta, y se usó la técnica multivariada cluster. A través del cluster se clasificaron tres grupos y a través de sus diferencias entre la proporción de perennes y herbáceas, se les asignó nombres de estados serales: bajo, medio y alto. Según las transectas clasificadas en cada grupo del cluster, se pudo hallar por estado seral la cantidad de biomasa de cada una de las cinco especies botánicas principales. También se hicieron pruebas univariadas para hallar diferencias significativas entre las cantidades de biomasa de cada estado sucesional del cluster.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

La parte metodológica de la investigación consistió en evaluar 17 variables de los componentes vegetación, agua y suelo de pastizales altoandinos en 44 áreas de pastizal localizados en las regiones Huancavelica, Áncash, Lima y Pasco. Los sitios evaluados cuentan con un historial de uso para el pastoreo de ganado de varias especies. Asimismo, se encontraron algunas áreas en situación de descanso, permitiendo incluir datos de pastizales con distintos estados de salud determinados mediante el método Pyke o Estado de Salud del Pastizal – IIRH. El tipo de vegetación de todas las áreas estudiadas fue pajonal, aquellas áreas empleadas en la fase de entrenamiento del modelo tuvieron como planta importante a una especie de gramínea perenne de porte alto del género *Festuca*, mientras que algunas áreas incluidas en la fase de validación tuvieron también el mismo caso de plantas y otras, a especies dentro de la familia gramíneo pero de otros géneros.

En cada una de las áreas de evaluación se instaló una transecta (Coulloudon *et al.*, 1996) georreferenciada en una subárea representativa. La transecta tuvo una longitud de 100 metros y fue marcada cada un metro para indicar los puntos de lectura del censo de la vegetación y medición de las demás variables. La transecta tuvo una longitud de 100 metros y fue marcada cada un metro para indicar los puntos de lectura. Además, se realizó la evaluación del método de Relevamiento Rápido (Anexo 1) y la toma de fotografías para complementar la caracterización de los sitios ecológicos. La fase de campo se ejecutó entre los meses de agosto y octubre.

3.1. Localización de las Áreas de Evaluación

Las áreas de evaluación en el departamento de Huancavelica se encuentran en los predios de la comunidad campesina de Santa Ana, en el distrito Santa Ana, provincia Castrovirreyna. La altitud promedio de 4519 msnm. La temperatura media anual máxima y mínima es 10 a 1.1°C, respectivamente. Tiene dos estaciones muy marcadas, la de estiaje se presenta en los meses de abril a setiembre, y la época de lluvias de octubre a marzo. La precipitación media anual es 77 milímetros.

En Áncash, las áreas de evaluación se encuentran en la provincia de Recuay, en las propiedades de las Comunidades Campesinas de Cordillera Blanca y Los Andes, a una altitud promedio de 3394 msnm. La temperatura media anual máxima y mínima es 15.4 a 2.8°C, respectivamente. Tiene dos estaciones muy marcadas, la de estiaje se presenta en los meses de abril a setiembre, y la época de lluvias de octubre a marzo.

En el departamento de Lima, las áreas de evaluación se ubicaron en las tierras de la comunidad campesina de Tomas, localizada en la provincia de Yauyos, distrito Tomas. La altitud promedio es de 3592 msnm. El clima varía entre templado y seco, y la temperatura media anual máxima y mínima se encuentra es 8.3 a 5.6°C, respectivamente. Tiene dos estaciones muy marcadas, la de estiaje se presenta en los meses de marzo a noviembre, y la época de lluvias, de diciembre a abril. La precipitación media anual es 408mm.

En el departamento de Pasco, las áreas de evaluación se encuentran en la provincia Pasco y distrito Simón Bolívar, en las propiedades de la Cooperativa Comunal Racco. Se encuentra a una altitud de 4398 msnm. Su clima es propio de la sierra altoandina y cuenta con una temperatura media de 13°C, siendo la temperatura máxima de 22 C y la mínima de 4°C, pudiendo llegar bajo cero en temporadas de heladas. La precipitación media anual es 204mm.

3.2. Método Pyke o Estado de Salud del Pastizal - IIRH

Para estimar el estado de salud del pastizal, se empleó la metodología de Estado de Salud del Pastizal (Interpreting Indicators of Rangeland Health) en su versión cuatro (Pellant *et al.*, 2005) descrita y adaptada por Cabrejo (2017). Esta evaluación se llevó a cabo a la altura del toque 50 de la transecta lineal fija. Este método consistió en la evaluación de 17 indicadores cualitativos asociados a tres atributos: estabilidad del sistema (suelo/ sitio) función hidrológica e integridad biológica. Los indicadores se evaluaron con cinco categorías o niveles de calificación: extremo a total, moderado a extremo, moderado, ligero a moderado, y ninguno a ligero. Los indicadores y los atributos de vegetación asociados se exhiben en el Tabla 1.

Tabla 1: Indicadores y atributo asociado en el Método Pyke o Estado de Salud del Pastizal - IIRH

N°	Indicador	Atributo
1	Erosión por surcos.	Estabilidad del sistema y función hídrológica
2	Patrones de flujo de agua.	Estabilidad del sistema y función hídrológica
3	Plantas en pedestal.	Estabilidad del sistema y función hídrológica
4	Suelo desnudo.	Estabilidad del sistema y función hídrológica
5	Cárcavas.	Estabilidad del sistema y función hídrológica
6	Áreas que han sido limpiadas/ depositadas por el viento.	Estabilidad del sistema
7	Movimiento de mantillo.	Estabilidad del sistema
8	Resistencia de la superficie del suelo a erosión	Estabilidad del sistema, integridad biótica y hídrológica
9	Pérdida del suelo o degradación.	Estabilidad del sistema, integridad biótica y función hídrológica
10	Composición de la comunidad de plantas y distribución relativa de la infiltración y escorrentía.	Función hídrológica
11	Capa de compactación.	Estabilidad del sistema, integridad biótica y función hídrológica
12	Grupos funcionales o estructurales.	Integridad biótica
13	Mortalidad de plantas.	Integridad biótica
14	Cantidad de mantillo.	Función hídrológica
15	Producción anual.	Integridad biótica
16	Plantas invasoras.	Integridad biótica
17	Capacidad reproductiva de las plantas perennes.	Integridad biótica

FUENTE: Adaptado por Cabrejo (2017) a partir de Pellant *et al.* (2005).

Las categorías de calificación de los indicadores se registraron en el formato de Pellant *et al.* (2005) presente en el Anexo 2. Luego, se hizo el conteo de indicadores por categoría, de acuerdo con su correspondiente atributo, debiendo resultar la sumatoria de la frecuencia de las categorías para estabilidad del sistema (suelo/ sitio), función hidrológica e integridad biótica como 10, 10 y 9 respectivamente, como se muestra en el Tabla 2.

La adjudicación de una categoría general a los atributos se hizo mediante la asignación de un número del uno al cinco, otorgando cinco a la categoría de extremo a total y uno a la de ninguno a ligero. Los números asignados se multiplicaron con la frecuencia de las categorías de los indicadores por atributo, después se sumaron y se dividieron por el número de indicadores por atributo. Tal como se muestra en el siguiente Cuadro 10:

Cuadro 10: Ecuación para hallar puntaje de un atributo

$$\text{Puntaje de atributo } X = \frac{(1 * A) + (2 * B) + (3 * C) + (4 * D) + (5 * E)}{\text{N}^{\circ} \text{ de indicadores de atributo } X}$$

A = Frecuencia de indicadores del atributo X con categoría ninguno a ligero

B = Frecuencia de indicadores del atributo X con categoría ligero a moderado

C = Frecuencia de indicadores del atributo X con categoría moderado

D = Frecuencia de indicadores del atributo X con categoría moderado a extremo

E = Frecuencia de indicadores del atributo X con categoría extremo a total

Después, el puntaje calculado de un atributo fue contrastado con la tabla de rangos de categorías de atributos (Tabla 3). Este proceso de asignación de categoría a los atributos fue a partir de una sugerencia en Pyke *et al.* (2002).

Tabla 2: Resumen de indicadores y la frecuencia de sus calificaciones por atributo - Método Pyke o Estado de Salud del Pastizal

Atributos de la Salud del Pastizal	Extremo a Total	Moderado a Extremo	Moderado	Ligero a Moderado	Ninguno a Ligero	Σ
E: Estabilidad del sistema (indicadores 1 - 9 y 11)						10
F: Función hidrológica (indicadores 1 - 5, 8 - 11 y 14)						10
I: Integridad biótica (indicadores 8, 9 y 11 - 17)						9

FUENTE: Elaboración propia a partir de Pyke et al. (2002), Pellant et al. (2005).

Tabla 3: Rangos de categorías de atributos - Método Pyke o Estado de Salud del Pastizal

Categorías de Atributos	Rango
Extremo a Total	4.5 - 5.49
Moderado a extremo	3.5 - 4.49
Moderado	2.5 - 3.49
Ligero a moderado	1.5 - 2.49
Ninguno a ligero	0.5 - 1.49

FUENTE: Pyke et al. (2002)

Finalmente, a partir del promedio aritmético de los puntajes calculados de las categorías de los atributos, se generó el puntaje del estado de salud del pastizal, el cual fue contrastado con el Tabla 4, donde un rango de puntaje se relaciona con los estados de salud del pastizal de acuerdo a Pyke et al. (2002) y Pellant et al. (2005). El número de estados de salud y los nombres de ellos, se fijaron según lo comentado por Pellant et al. (2005) y a lo trabajado por Flores (2014).

Tabla 4: Rangos de categorías de estado de salud del pastizal - Método Pyke o Estado de Salud del Pastizal

Categoría del Estado de Salud del Pastizal	Rango
Saludable	3.83 - 5.49
Riesgo	2.17 - 3.82
No Saludable	0.5 - 2.16

FUENTE: Elaboración propia a partir de Pellant et al. (2005).

3.3. Descripción de Variables

A continuación, se describen las 16 variables evaluadas en campo (Tabla 5). Estas variables fueron propuestas con el fin de indicar el estado de los distintos aspectos de la funcionalidad del ecosistema pastizal, tomando en cuenta la evaluación de los componentes suelo, agua y vegetación. La obtención de estas variables requirió el análisis de un conjunto previo de variables, que se comentará en el siguiente punto.

Tabla 5: Variables en estudio y el método para su evaluación en campo

Nº	Variabes	Unidad	Métodos de Evaluación
1	Cobertura basal de vegetación	%	Censo en transecta lineal fija (Coulloudon <i>et al.</i> , 1996; Ruyle y Dyess, 2010)
2	Cobertura basal de mantillo		
3	Cobertura basal de musgo y líquen		
4	Cobertura basal de suelo desnudo		
5	Cobertura basal de pavimento de erosión		
6	Vigor de gramínea importante		
7	Cobertura aérea de gramínea importante	%	Estimación visual con cuadrante (1m x 1m); clase de cobertura Daubenmire (Barbour <i>et al.</i> , 1987; Coulloudon <i>et al.</i> , 1996)
8	Biomasa aérea	g/m ²	Estimación visual con cuadrante (1m x 1m); corte y pesado; secado (University of Idaho, 1999)
9	Mantillo		
10	Diversidad botánica de grupos funcionales	-	Censo en transecta lineal fija (Coulloudon <i>et al.</i> , 1996); índice de diversidad de Shannon (Kent y Paddy 2011)
11	Diversidad botánica de plantas perennes		Censo en transecta lineal fija (Coulloudon <i>et al.</i> , 1996); índice de diversidad de Shannon (Kent y Paddy, 2011)
12	Plantas invasoras	%	Cuadrante anidado de Whittaker (Barbour <i>et al.</i> , 1987)
13	Mortalidad de plantas	%	Evaluación visual
14	Materia orgánica	%	Método de Walkley y Black, por oxidación del carbono orgánico con dicromato de potasio.
15	Densidad aparente	g/cm ³	Método de Cilindro (Mulholland y Fullen, 1991; Porta <i>et.al.</i> , 2008)
16	Tasa de infiltración	mm/min	Uso de infiltrómetro (Bouwer, 1986)

3.3.1. Cobertura basal de: Vegetación, Mantillo, Musgo y Líquen, Suelo Desnudo y Pavimento de Erosión

La cobertura vegetal generalmente se refiere a la proporción de la superficie del suelo que es cubierta por la vegetación, comprendida por varios grupos funcionales que abarcan distintas especies de plantas. Existen varios tipos de cobertura, entre ellas, la cobertura basal que consiste en la porción de la cobertura del suelo que es cubierta por la parte basal

de las plantas. La cobertura basal es más resistente a la variación estacional y anual. Los distintos tipos de cobertura vegetal se expresan comúnmente en porcentaje (Coulloudon *et al.*, 1999; Mitchell, 2010).

El mantillo es la capa orgánica del suelo situada en la parte superficial de este, formada esencialmente de restos vegetales recién caídos o ligeramente descompuestos sin importar su origen (Society for Range Management, 1998; Pellant *et al.*, 2005; Ruyle y Dyess, 2010). La corteza biológica del suelo, también llamada corteza criptogámica, microfítica o microbiótica, está conformada por microorganismos (líquenes, algas, también cianobacterias como las algas azul – verde y microhongos) y plantas no vasculares (líquenes, briofitas como musgos y hepáticas) que crecen sobre o por debajo de la superficie del suelo (Leys y Eldridge, 1998; Pellant *et al.*, 2005).

Suelo desnudo son todas las superficies del suelo que no están cubiertas por vegetación, roca ni mantillo (Society for Range Management, 1998; Pellant *et al.*, 2005). A medida que el suelo va perdiendo la cobertura de vegetación (por fuego, pastoreo, sequía u otra causa), se vuelve más susceptible a la erosión por el agua y el viento, siendo estas las primordiales causas de degradación del suelo (Pimentel y Kounang, 1998; Angerer *et al.*, 2015). El pavimento de erosión resulta de la acumulación de fragmentos de rocas en la superficie del suelo que han sido removidos del suelo y separados de partículas finas por acción del viento o agua (Lowdermilk y Sundling, 1950; Parker, 1950)

La generación de los valores de cobertura se realizó mediante el método de transecta lineal fija (Coulloudon *et al.*, 1996); y levantamiento de información del método Tres Pasos de Parker (Parker, 1950). De acuerdo con Ruyle y Dyes (2010) y Cabrejo (2017), el método Tres Pasos de Parker consiste en el censo de las coberturas basales de vegetación, mantillo, musgo, suelo desnudo y pavimento de erosión (no se consideró los valores de roca en el estudio) empleando un anillo censador. El anillo censador es una vara de un metro de longitud con un anillo de una pulgada de diámetro en uno de sus extremos y a través de toques permitió realizar la lectura de los componentes de la cobertura del suelo.

La transecta lineal fija tuvo una longitud de 100 metros, con marcas cada un metro que indicaban la posición donde se debía colocar el anillo censador. Para el registro de las lecturas se usaron las claves de la Tabla 6 y se usó el formato del Anexo 3. Los valores de

las variables son de la cobertura absoluta, es decir se consideraron los 100 valores totales del censo para hallar la proporción de cada variable.

Tabla 6: Aspectos y claves consideradas en el registro de observaciones de los censos de vegetación – Método Tres Pasos de Parker

Punto de Contacto	Consideración	Clave
Vegetación	Cuando el área basal (corona) o parte de ella cae dentro del anillo censador en el punto de contacto.	Las dos primeras letras del género y las dos primeras de la especie
Mantillo	Cuando más de la mitad del anillo censador es cubierto por materia orgánica muerta o estiércol que está sobre la superficie del suelo.	M
Musgo y líquen	Cuando ocurre en más de la mitad del anillo.	L
Pavimento de erosión	Cuando más de la mitad del anillo es cubierto por pequeñas partículas de suelo y raíz de 3 a 20 mm de tamaño.	P
Roca	Cuando más de la mitad del anillo es cubierto por roca que es más grande (mayor de 2 cm) que el anillo	R
Suelo desnudo	Suelo sin vegetación mantillo u hojarasca o musgo	D o B

FUENTE: Cabrejo, 2017

3.3.2. Vigor de Gramínea Importante

El vigor es el resultado de la intensidad de usos anteriores de las plantas y de la competencia entre ellas por recursos necesarios como agua, luz, nutrientes etc., para su crecimiento y desarrollo (Parker, 1950). El efecto del pastoreo sobre el vigor de la parte aérea de la planta se ve expresado también en el desarrollo del sistema radicular (Weaver y Darland, 1947 citado por Parker, 1950). Una planta importante o clave es aquella especie de planta indicadora que suprime el efecto del clima, al momento de la evaluación, y genera una base confiable para mediciones y comparaciones (Parker, 1950).

Como requisitos de planta importante se especificó que sea una especie perteneciente al grupo funcional de las gramíneas, de porte alto y no invasora; para esta investigación, las

plantas importantes fueron especies del género *Festuca* (Tabla 7). El vigor de la gramínea importante se obtuvo de la comparación de la altura con respecto a aquella altura que se logra bajo condiciones óptimas de manejo (basado en el concepto clímax) en la misma especie (Parker, 1950; Ruyle y Dyess, 2010), siguiendo la ecuación del Cuadro 11. La medición de la altura de la planta se realizó desde el ras del suelo, hasta la ubicación donde la planta ejerciera resistencia a la leve presión de la mano cuando se coloca sobre la planta desde su otro extremo.

Tabla 7: Altura clímax de especies altoandinas del género *Festuca* elegidas como importantes

Espece Importante	Altura (cm)
<i>Festuca rigescens</i>	100
<i>Festuca humilior</i>	
<i>Festuca gliceranta</i>	
<i>Festuca dolichophylla</i>	
<i>Festuca subulifolia</i>	

FUENTE: Elaboración propia

En cada 10 puntos a lo largo de la transecta, la medición de la altura se realizó en un ejemplar de aspecto representativo de los individuos cercanos a este. En total, se obtuvieron 10 medidas de vigor por transecta, posteriormente se obtuvo el promedio (Ruyle y Dyess, 2010). El índice de vigor se expresó en porcentaje. El formato de registro se encuentra en el Anexo 4.

Cuadro 11: Fórmula para hallar vigor

$$IV (\%) = \frac{h}{H} \times 100$$

Dónde:

- h: Altura promedio de especie en campo (cm)
- H: Altura de especie en clímax (cm)

FUENTE: Ruyle y Dyess, 2010

3.3.3. Cobertura Aérea de Gramínea Importante

Los datos de esta variable corresponden a otro tipo de cobertura llamada cobertura aérea o de canopia. La cobertura aérea es la proporción de la superficie del suelo que es cubierta por la proyección vertical del perímetro de la canopia, cuando la disposición de hojas, ramas y tallos, según sea el caso, se encuentren en posición normal. Son consideradas como parte de la canopia, los espacios o aberturas naturales entre el follaje (Society for Range Management, 1998; Pellant *et al.*, 2005). De acuerdo con Barbour *et al.*, (1987), la cobertura aérea es el porcentaje del área de un cuadrante que se encuentra por debajo de la canopia de las plantas.

La cobertura aérea se estimó inicialmente mediante la evaluación visual de la vegetación al interior de un cuadrante de 1m². Los cuadrantes se ubicaron cada 10 puntos de la transecta fija alternando su disposición a cada lado de la transecta. La estimación consideró todo el componente botánico (canopia proyectada sobre el cuadrante) que se encontraba al interior del cuadrante sin tomar en cuenta a la cobertura por mantillo. El rango de estimación fue desde cero hasta 100 por ciento. Cada estimación por cuadrante arrojó un porcentaje, siendo un total de 10 porcentajes por transecta y fue promediado para obtener el porcentaje de cobertura aérea por sitio evaluado.

Las estimaciones de cobertura vegetal aérea fueron registradas en el formato del Anexo 5. Posteriormente el valor fue adaptado a las clases de cobertura de la escala de Daubenmire (Barbour *et al.*, 1987, Coulloudon *et al.*, 1996), considerándose solo el promedio asignado al rango de cobertura en el que se encuentre (Tabla 8). Este último paso se realizó con el propósito de reducir la subjetividad de la evaluación visual, aun debiéndose realizar por un personal entrenado. La elección de la gramínea importante siguió los mismos requisitos de la variable vigor.

Tabla 8: Escala de coberturas de Daubenmire

Rango de cobertura (%)	Promedio
95 - 100	97.5
75 - 95	85.0
50 - 75	62.5
25 - 50	37.5
5 - 25	15.0
0 - 5	2.5

FUENTE: Barbour, *et al.*, 1987

3.3.4. Biomasa Aérea

La biomasa aérea es el peso total de la vegetación por encima de la superficie del suelo por unidad de área en un momento dado (Barbour, 1987; University of Idaho, 1999; Pellant *et al.*, 2005). La biomasa aérea y producción primaria, composición florística, riqueza y diversidad son variables estructurales que permiten conocer la organización de los ecosistemas en un momento dado. Asimismo, conocer la biomasa contribuye al entendimiento de la dinámica y funcionamiento de los ecosistemas de pastizal. El clima y las variaciones interanuales en la distribución e intensidad de las precipitaciones afectan a la producción primaria y por lo tanto a la biomasa también (Casas y Ninot, 2002).

Para la evaluación en campo de la biomasa aérea se usó un cuadrante de 1 m². Antes de iniciar la evaluación se realizó un doble muestreo, en la misma área de estudio, a modo de entrenamiento para calibrar la estimación visual. El doble muestro consistió en estimar el peso de la biomasa aérea al interior del cuadrante, después esa biomasa fue cortada al ras del suelo y fue pesada para comparar con el peso estimado (Coulloudon *et al.*, 1996b; University of Idaho, 1999) y poder realizar los ajustes necesarios en la estimación. Por transecta se realizaron 10 evaluaciones y los cuadrantes se ubicaron en los puntos 10 de la transecta fija alternando su disposición a cada lado de la transecta. El formato de registro de los valores de biomasa aérea en campo se encuentra en el Anexo 6.

De cada cuadrante se cortó una muestra de aproximadamente 100 gramos que fue pesada en campo (peso fresco) y colocada en una bolsa de polietileno debidamente rotulada. Posteriormente, las muestras fueron derivadas al Laboratorio de Ecología y Utilización de Pastizales de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) para su deshidratación a 105 °C por 24 horas. Luego, las muestras fueron pesadas en seco para calcular el porcentaje de materia seca (Cuadro 12) de la muestra de biomasa. Finalmente, se obtuvo el porcentaje de materia seca de la biomasa en peso fresco estimada en campo, expresada en g/m² (University of Idaho, 1999). De los 10 valores de biomasa aérea por transecta, se consideró el promedio.

Cuadro 12: Ecuación para cálculo de materia seca

$$MS \% = \left(\frac{PS}{PF} \right) * 100$$

Dónde:

- MS: Materia seca
- PS: Peso seco
- PF: Peso fresco

FUENTE: University of Idaho, 1999

3.3.5. Mantillo

El rol del mantillo en los procesos ecosistémicos es complejo, influye en el microambiente al interceptar la luz; moderando la temperatura del suelo; reduciendo la pérdida de agua por evapotranspiración; aportando nutrientes disponibles al sustrato suelo mediante el ciclaje de nutrientes al descomponerse; contribuyendo al establecimiento de plántulas; entre otras funciones, que serán reguladas por la cantidad y calidad fisicoquímica del mantillo. La actividad del mantillo en el microambiente es influenciada por las propiedades del suelo, clima (en un momento dado como a largo plazo) y por los seres vivos propios de cada ecosistema. (Facelli y Pickett, 1991; Bansal *et al.*, 2014).

Se siguieron los mismos pasos de evaluación y procesamiento de la variable biomasa aérea. En la evaluación en campo se usó un cuadrante de 1 m² y antes de iniciar la evaluación se realizó un doble muestreo, en la misma área de estudio, a modo de entrenamiento para calibrar la estimación visual. El doble muestro consistió en estimar el peso del mantillo al interior del cuadrante, después el mantillo fue colectado y pesado para comparar con el peso estimado (Coulloudon *et al.*, 1996b; University of Idaho, 1999) para poder realizar los ajustes necesarios en la estimación. Por transecta se realizaron 10 evaluaciones y los cuadrantes se ubicaron en los puntos 10 de la transecta fija alternando su disposición a cada lado de la transecta.

De cada cuadrante se colectó una muestra que fue pesada en campo (peso fresco) y colocada en una bolsa de polietileno debidamente rotulada. El formato de registro de los valores de biomasa aérea en campo se encuentra en el Anexo 7. Posteriormente, las muestras fueron derivadas al Laboratorio de Ecología y Utilización de Pastizales de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) para su deshidratación a 105 °C por

24 horas. Luego, las muestras fueron pesadas en seco para calcular el porcentaje de materia seca (Cuadro 12) de la muestra de mantillo. Finalmente, se obtuvo el porcentaje de materia seca del mantillo en peso fresco estimado en campo, expresado en g/m² (University of Idaho, 1999). De los 10 valores de biomasa aérea por transecta, se consideró el promedio.

3.3.6. Diversidad botánica: grupos funcionales y plantas perennes

Una razón de por qué es necesaria la conservación de la biodiversidad de especies botánicas en los pastizales, es debido a que confiere estabilidad y capacidad, expresada en resistencia y resiliencia al ecosistema, tras ser perturbado (Tilman y Downing, 1994). El concepto de diversidad de especies maneja dos componentes, la riqueza o el número de especies diferentes y la abundancia de especies dentro de una muestra o comunidad (Kent y Paddy 2011; Mostacedo y Fredericksen, 2000).

Un grupo funcional de plantas está formado por especies con similar estructura de tallo o raíz, ruta fotosintética, modo de fijación de nitrógeno, ciclo de vida, etc., y que geográficamente, las especies se ubican en un mismo sitio ecológico (Society for Range Management, 1998; Pellant *et al.*, 2005). Una planta perenne es aquella que se caracteriza por tener un periodo de vida de tres o más años (Society for Range Management, 1998; Pellant *et al.*, 2005).

Estudios en ecología y florística usan los índices de diversidad para expresar la diversidad de un área dada mediante un valor numérico. Existen más de 20 índices de diversidad, cada uno de ellos con ventajas y desventajas, y entre los más utilizados para cuantificar la biodiversidad es el índice de diversidad de Shannon, que es también conocido como índice de Shannon – Weaver está el índice de diversidad de Shannon (Kent y Paddy 2011; Mostacedo y Fredericksen, 2000; Pla, 2006). Para calcular este índice se emplea la siguiente fórmula del Cuadro 13.

Cuadro 13: Fórmula de índice de diversidad de Shannon

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

Donde:

- S: Número de especies
- pi: Abundancia relativa o cantidad de individuos de una especie “i” expresada como una proporción de la cobertura total
- ln: Log *base_n*

FUENTE: Mostacedo y Fredericksen, 2000; Pla, 2006; Kent, 2011

Para obtener los índices de diversidad de plantas y grupos funcionales datos requeridos por la fórmula, se realizó un censo mediante una transecta fija lineal de 100 metros de longitud con marcas cada un metro que indicaban la posición de lecturas de especies de plantas. Además, se registró la presencia de todo lo que no era plantas, hasta alcanzar las 100 lecturas en el censo. Esta misma información fue empleada para algunas variables anteriores. El formato de registro de especies botánicas halladas en el censo se encuentra en el Anexo 2 la lista de clasificación de las especies halladas según su longevidad y grupo funcional se halla en el Anexo 8, 9, 10 y 11.

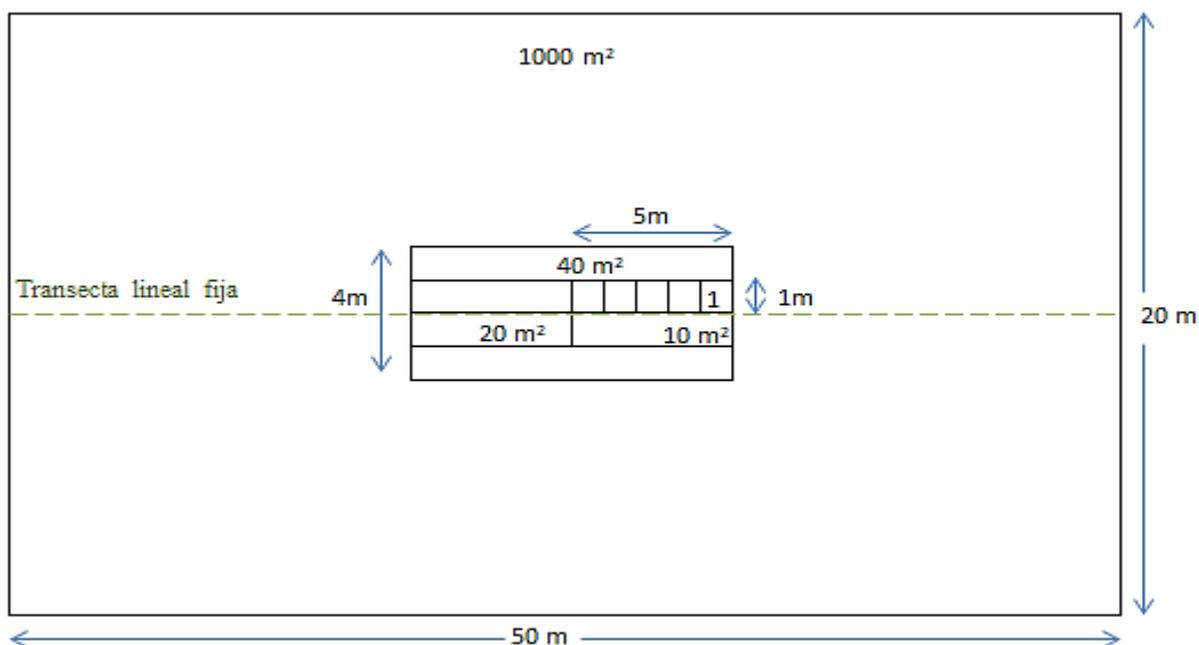
3.3.7. Plantas invasoras

Las plantas invasoras son especies de plantas que se encontraban ausentes en zonas no perturbadas de la vegetación original en un sitio de pastizal específico y que incrementarán su número (invadirán) tras un pastoreo intenso o una perturbación. Las plantas invasoras pueden ser especies exóticas (que no forman parte de la vegetación original) o especies que se encuentran en una baja proporción (en caso de ser una especie nativa) con respecto al total de especies de la comunidad original. También son invasoras especies que tienen el potencial de convertirse en especies dominantes o codominantes en un sitio, en caso no reciban un manejo que las controle. No son especies de plantas invasoras aquellas se vuelven dominantes por solo uno o varios años (por ejemplo, como respuesta a un incendio o sequía) (Society for Range Management, 1998; Pellant *et al.*, 2005; Pyke y Knick, 2005).

Para la evaluación en campo de las plantas invasoras se empleó el método Whittaker (Barbour, 1987) o cuadrante anidado en el punto 50 de la transecta lineal fija. Se inició

registrando la presencia de especies botánicas que se encontraron en el primer cuadrante de 1m^2 , luego se siguió registrando especies en cuatro cuadrantes laterales más de iguales dimensiones. Las especies registradas en el segundo cuadrante de 1m^2 no fueron halladas en la evaluación del primer cuadrante de 1m^2 (especies nuevas), las especies registradas en el tercer cuadrante de 1m^2 no fueron halladas en la evaluación del segundo cuadrante de 1m^2 y sucesivamente de este modo fue la evaluación del cuarto y quinto cuadrante de 1m^2 . Siguiendo la misma mecánica para el registro de especies se evaluó la presencia de especies nuevas en los cuadrantes de 10, 20, 40 y 1000m^2 . La referencia sobre la disposición de los cuadrantes se observa en el Cuadro 14 y el formato de registro de las especies halladas por transecta, en el Anexo 12.

Cuadro 14: Disposición de cuadrantes en el método Whittaker



Después, por departamento, se elaboró una lista de todas las especies de plantas halladas en el método Whittaker. Posteriormente, se identificó como plantas invasoras a todas aquellas que no contaban con las características de ser gramíneas importantes y que, según el conocimiento, sobre la historia de manejo de los pastizales evaluados, tenían el comportamiento de una planta invasora. La identificación de este tipo de plantas se hizo en todos los pastizales que tenían su puntaje de estado de salud por el método de Parker o Estado de Salud (IIRH) por debajo de 4.66. Se fijó ese puntaje límite por ser el 50 por ciento del rango de estado de salud *saludable*. Entonces, se calculó el porcentaje de la presencia de esas plantas identificadas como invasoras en todos los sitios ecológicos.

3.3.8. Mortalidad de Plantas

La mortalidad y decadencia de plantas es la proporción muerta y decadente de la vegetación (considerándose también a los moribundos o en proceso de morir). Los pastizales saludables, además de tener una diversa comunidad botánica, presentan una mezcla de clases de edades (senescente, adulto, joven). Pero si la tasa de mortalidad y decadencia supera el reclutamiento o no se está dando, la diversidad (resultado de la cantidad de especies y abundancia de individuos en cada especie) y estabilidad (resultado de la capacidad de resistencia y resiliencia a la perturbación) de la comunidad se verán altamente afectadas, poniéndola en riesgo (Printz *et al.*, 2014).

Se evaluó en cada 10 puntos de la transecta lineal fija y alternando el lado de evaluación con respecto a la transecta. En cada punto se eligió un individuo al azar de una especie (clave en cada área de evaluación) del género *Festuca* (gramínea importante), de aspecto representativo al de la mayoría de los ejemplares de la especie. Se estimó las proporciones de coloración de toda la biomasa aérea de la planta en pie, según los colores verde, amarillo y gris (se separó el mantillo cercano a la planta para facilitar la evaluación). El rango de estimación de las proporciones de cada color fue de 0 a 100%. En el Anexo 13 se encuentra el formato de registro de estimación de coloración de la biomasa aérea. Después, se le asignó una categoría de edad a la planta según el color que obtuvo el mayor porcentaje siguiendo la relación de categoría de edad y coloración en mayor proporción de la biomasa aérea de la Tabla 9. Finalmente, se calculó el porcentaje de las plantas que obtuvieron la categoría *senescente* por transecta.

Tabla 9: Categoría de edad y coloración en mayor proporción de la biomasa aérea

Categoría de edad	Mayor coloración
Joven	Verde
Adulta	Amarillo
Senescente	Gris

3.3.9. Tasa de infiltración

La tasa de infiltración mide la velocidad a la cual el suelo es capaz de absorber la cantidad de agua disponible en la superficie hacia el interior del suelo, disminuyendo la escorrentía superficial del agua. La infiltración alimenta las reservas de agua en el suelo que se encuentran disponibles para el crecimiento de las plantas. La tasa de infiltración se ve

afectada por los factores que van a influir en su permanencia en la superficie del suelo antes que se pierda por escorrentía, siendo estos factores la vegetación y propiedades fisicoquímicas del suelo. El agua de escorrentía puede causar erosión en el suelo y una serie de consecuencias negativas más, que con el tiempo, los daños pueden agravarse (USDA, 2001; Porzig *et al.*, 2018).

La variable fue evaluada en campo a través de un equipo infiltrómetro (Figura 1), el cual consta de dos anillos que permitieron la medición precisa y directa de la tasa de infiltración, al contabilizar el tiempo con un temporizador y alarma. La ubicación del infiltrómetro se dispuso en el punto 50 de la transecta lineal fija. El tiempo total de lectura del agua infiltrada tomó 30 minutos divididos en nueve periodos, como se indica en el formato de registro (Anexo 14). La tasa de infiltración fue expresada en milímetros por minuto (mm/min). En gabinete, los datos fueron colocados en la Tabla 10 en la que se indica los pasos para la obtención del valor de la variable tasa de infiltración (Bouwer, 1986).



Figura 1: Equipo infiltrómetro

Tabla 10: Obtención de 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]
Valor de tasa de infiltración (\bar{X})					$= \frac{[E] + [F]}{2}$

FUENTE: Adaptado de Bouwer, 1986

3.3.10. Materia orgánica

La materia orgánica es el producto de la descomposición de plantas, animales y de derivados de la misma materia orgánica, por parte de la biota del suelo comprendida por los macroorganismo y microorganismos. Durante el proceso de descomposición, los nutrientes en exceso como el nitrógeno, fósforo y azufre son liberados en forma disponible para las plantas. Derivados del proceso de descomposición de la materia orgánica son más difíciles de descomponer que el material original de plantas, animales y materia orgánica inicial. Los procesos de descomposición generan la acumulación y almacenamiento de carbono, pudiendo reconstruir nuevas estructuras de carbono. De esta forma, el reciclaje de nutrientes confiere capacidades de recuperación al suelo (Pimentel y Kounang, 1998; FAO, 2006).

La muestra en campo de materia orgánica fue compuesta a partir de 10 submuestras cada 10 puntos a lo largo de cada transecta fija lineal. Las submuestras fueron tomadas a una profundidad entre 15 a 30 centímetros de profundidad del ras del suelo, hasta alcanzar una muestra compuesta de aproximadamente 1kg de peso debidamente rotulada.

Posteriormente, las muestras fueron derivadas al Laboratorio de Análisis de Suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). El método para la obtención de la materia orgánica fue el de Walkley y Black, que consiste en la oxidación del carbono orgánico con dicromato de potasio.

3.3.11. Densidad del suelo

La densidad aparente está expresada como peso de las partículas sólidas del suelo relacionado con el volumen que ocupan, que está relacionada con la porosidad, un suelo muy poroso es menos denso. (Mulholland y Fullen, 1991; Tate *et al.*, 2004; Pulido *et al.*, 2017; Porzig *et al.*, 2018). El pisoteo del ganado causa el incremento de la densidad del suelo en profundidades menores a 15 centímetros de profundidad del ras del suelo (Mulholland y Fullen, 1991; Pulido *et al.*, 2017). A ese nivel de profundidad, la estructura del suelo se ve afectada al reducir el espacio poroso (microporos y macroporos, según la intensidad de perturbación), impedimento de drenaje causando el encharcamiento de zonas bajas y el incremento del agua de escorrentía en las pendientes al reducir la infiltración (Mulholland y Fullen, 1991; Fraser y Stone, 2016; Porzig *et al.*, 2018).

La determinación de la densidad del suelo se realizó según el método del cilindro. Este método consistió en colocar un cilindro metálico, de dimensiones de 3.5 cm diámetro y 6.5 cm altura, en posición perpendicular a un perfil de suelo cavado a 15 centímetros máximo de profundidad en el punto determinado en la transecta. A lo largo de la transecta el muestreo se realizó cada 25 puntos (en puntos 1, 25, 50, 75 y 100), alternando la posición de extracción de la muestra con respecto a la transecta. Después de posicionar el cilindro en el perfil, seguidamente mediante golpes en la parte superior, fue introducido hasta el ras del suelo. Una vez enterrado, se retiró con ayuda de un pico y lampa, y posteriormente se colocó (solamente la muestra de suelo contenida en el cilindro) en bolsas de polietileno debidamente rotuladas (Mulholland and Fullen, 1991; Porta *et al.*, 2008; Porzig *et al.*, 2018).



Figura 2: Proceso de instalación de cilindro metálico en el perfil del suelo

Las muestras fueron remitidas al Laboratorio de Ecología y Utilización de Pastizales (UNALM) y deshidratadas a 105 °C por 24 horas. Transcurrido ese tiempo, fueron pesadas para obtener su peso seco (masa) y se obtuvo el promedio de las cinco submuestras por transecta. Finalmente, se emplearon las fórmulas del Cuadro 15 para determinar la densidad aparente en función a la relación entre el peso seco y el volumen del cilindro metálico, lo cual representa la relación entre la masa de sólidos y el volumen total del suelo, incluyendo los poros, que finalmente se expresa en g/cm³ (Mulholland y Fullen, 1991; Porta *et al.*, 2008; Porzig *et al.*, 2018).

Cuadro 15: Fórmulas para hallar la densidad aparente del suelo

$$DA = \frac{m}{V}$$

Donde:

- DA: Densidad aparente
- m: Masa (peso seco en gramos)
- V: Volumen del cilindro (cm³)

$$V = \pi r^2 h$$

Donde:

- V: Volumen del cilindro
- r: radio de la base del cilindro (cm)
- h: altura del cilindro (cm)

FUENTE: Adaptación de Porta *et al.*, 2008

3.4. Análisis de Sensibilidad de Variables

Con el fin de conocer el comportamiento de las variables según el estado de salud del pastizal, se realizó la exploración de ellas mediante un análisis estadístico descriptivo (Kent y Paddy, 2011), regresión lineal simple (Kent y Paddy, 2011), correlación y gráfico de boxplot (Kent y Paddy, 2011). Mediante la exploración descriptiva se halló valores mínimos, máximos y promedio, entre otros, de manera general por cada variable, además, se calculó el promedio de la variable por estado de salud. El análisis de correlación se hizo mediante el coeficiente de Pearson y se usó para probar si existía interacción y en qué grado se presentaba entre cada variable y los estados de salud del pastizal propuestos por Pellant *et al.* (2005) y Flores (2014).

En el análisis de regresión, hecho individualmente con cada variable evaluada en campo, se buscó encontrar una relación entre el estado de salud del pastizal (variable independiente, X) y la variable en estudio (dependiente, Y) mediante el ajuste de los datos a una función matemática. El gráfico de boxplot permitió observar con claridad el comportamiento de la variable (eje y) en situaciones de los diferentes estados de salud (eje x). Se emplearon los softwares IBM – SPSS versión 25 y R. La información generada en este punto contribuirá a la interpretación de las variables que serán incluidas en los modelos generados y por consiguiente, en la selección del conjunto de variables más.

3.5. Técnicas Multivariadas

En la fase de entrenamiento o aprendizaje para la construcción del modelo matemático clasificador que estime el estado de salud del pastizal se aplicarán los análisis discriminante lineal y regresión logística multinomial en los que se seguirá un aprendizaje supervisado, es decir, basado en los estados de salud hallados por el método de Pyke o Estado de Salud del Pastizal – IIRH. Se emplearon los softwares IBM – SPSS versión 25 y R.

3.5.1. Análisis Discriminante Lineal

El análisis discriminante permite asignar o clasificar nuevos individuos a grupos previamente definidos. Las variables independientes o “explicativas” son cuantitativas, ellas llevan la información del perfil de cada uno de los individuos y la variable dependiente o “clasificativa” que posee el dato sobre el grupo(s) al que pertenecen. A

partir de ambas variables se genera un modelo matemático discriminante de estructura lineal con K variables explicativas de X (Cuadro 16) al que se introduce información del perfil de un nuevo individuo y que a partir de un resultado numérico provee la probabilidad de pertenecer a un grupo dado (Pérez, 2004; Aldás y Uriel, 2017).

Cuadro 16: Estructura de función discriminante lineal

$$D_i = u_{i1} X_1 + u_{i2} X_2 + \dots + u_{iK} X_K$$

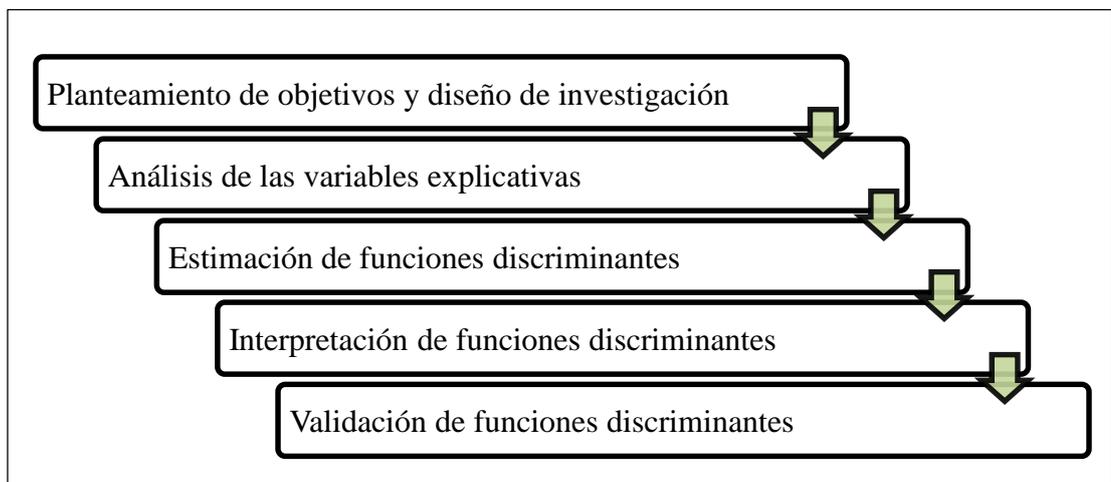
Donde:

- D_i : Función discriminante Di (Y variable independiente)
- u : Coeficiente
- X : Variable independiente

FUENTE: Adaptación de Pérez, 2004; Aldás y Uriel, 2017

En una vista general de la secuencia de pasos a seguir en el análisis discriminante del Cuadro 17, es clave definir la razón de clasificación de los grupos (clases de variable dependiente) y predecir la pertenencia de los individuos a los grupos. Posteriormente, establecer las variables independientes y dependientes. Luego, establecer el método de selección o retención de variables para la(s) función (es) discriminante, asimismo, reconocer el nivel explicativo de cada función discriminante y poder discriminante de las variables. Después, reconocer cuáles son las variables que más influyen en la(s) función(es).

Cuadro 17: Estructura de función discriminante lineal



FUENTE: Adaptación de Pérez, 2004; Aldás y Uriel, 2017

En base al Cuadro 18, se reconocieron los tipos de variables, las 16 variables evaluadas en campo fueron las variables independiente, mientras que los estados de salud del pastizal (*no saludable, riesgo, saludable*) fueron la variable dependiente. Motivo por el cual, se realizó un análisis discriminante múltiple ya que los grupos de la variable dependiente fueron tres. El número de ecuaciones discriminantes se fijaron según el Cuadro 20. Para ello, se compara el número de grupos (tres) menos uno con el número de variables independientes (16) y se elige el menor valor, que es dos ($3 - 1 = 2$). Por lo tanto, el número de ecuaciones discriminantes múltiples serán dos.

Cuadro 18: Determinación de número de ecuaciones

$\text{mín}(G - 1, K)$
Donde:
○ Mín : Mínimo
○ G: Número de grupos
○ K: Número de variables independientes

FUENTE: Adaptación de Pérez, 2014; Aldás y Uriel, 2017

- **Estimación de las Funciones Discriminantes:**

Se usaron dos métodos para la selección de variables que generen las funciones discriminantes, estos fueron Lambda de Wilks y el paquete del software R, Boruta para que el modelo este formado por las variables de mayor poder discriminante.

- **Método Discriminante: Método Lambda de Wilks**

El uso del estadístico Lambda de Wilks (Cuadro 19) forma parte del método *Stepwise*, llamado también *paso a paso* o *por etapas*, y su nombre deriva por el proceso de selección por pasos que realiza discriminar variables. Este método se basa en las técnicas de selección de variables utilizadas en el análisis de regresión lineal múltiple. Lambda de Wilks, o de modo equivalente el valor de su F asociada, prueba las variables de forma individual buscando que su valor sea más bajo, solo se retendrán aquellas que resulten significativas (Hair *et al.*, 1999; Aldás y Uriel, 2017).

Cuadro 19: Fórmula para hallar estadístico de Lambda de Wilks

$$\lambda = \frac{SCI}{SCE + SCI}$$

Donde:

- SCI : Suma de cuadrados intragrupos
- SCE : Suma de cuadrados entregrupos

FUENTE: Adaptación de Pérez, 2014; Aldás y Uriel, 2017

○ **Método Discriminante: Librería Boruta**

Boruta, paquete del software R, es un algoritmo diseñado para seleccionar a las variables más relevantes y pertenece al grupo de algoritmos de clasificación Random Forest. La selección de variables de variables se realiza mediante la repetición de una serie de pasos en los que se elimina a las variables menos relevantes que son determinadas por una prueba estadística (iteraciones) (Kursa y Rudnicki, 2010).

● **Evaluación del Poder Discriminante de Cada Variable:**

Se usó el estadístico de Lambda de Wilks o prueba F para conocer si las variables independientes tienen medias significativamente distintas entre grupos o categorías en la variable dependiente.

● **Evaluación de las Funciones Discriminantes:**

Consistió en la ejecución de pruebas para conocer la capacidad discriminante entre grupos (estados de salud) de las funciones discriminantes que se generaron.

○ **Significación Conjunta de las Funciones Discriminantes**

En los tres casos de las funciones discriminantes, se evaluó si el conjunto de las variables empleadas por función resultaban significantes (criterios Lambda de Wilks, Boruta y variables completas) mediante el estadístico de Lambda de Wilks. Esta prueba se realizó antes de aplicar los métodos de selección de variables (Aldás y Uriel, 2017).

○ **Prueba de Bondad de Ajuste**

Se empleó el coeficiente Eta (η) o Correlación Canónica (CR) para conocer la capacidad explicativa de cada una de las funciones discriminantes. Cuando el valor del coeficiente Eta está más cerca de uno se puede decir que es mayor su capacidad discriminante (Cuadro 20). Además, al elevar al cuadrado al coeficiente Eta (η) se cuantificó la proporción de la variabilidad de los valores de los grupos o categorías de la variable dependiente (estados de salud del pastizal) que es explicada por cada una de las dos funciones o ejes discriminantes. Se obtiene un autovalor por cada función discriminante (Aldás y Uriel, 2017).

Cuadro 20: Fórmula para hallar el coeficiente Eta o Correlación Canónica

$$\eta_i = \sqrt{\frac{\lambda_i}{1 + \lambda_i}}$$

Donde:

- λ : Autovalor
- i : Función discriminante (1, 2)

FUENTE: Adaptación de Aldás y Uriel, 2017

○ **Correlación entre las variables y las funciones discriminantes**

En la matriz de estructuras se hallaron los coeficientes que permitieron identificar las variables independientes que más influyen en el poder discriminante de cada función (Aldás y Uriel, 2017).

3.5.2. Análisis de Regresión Logística Multinomial

Un modelo de regresión permite conocer si su variable dependiente discreta (cualitativa o no métrica) que puede ser binomial o multinomial depende, o no, de una o varias variables independientes (pueden ser cuantitativas o cualitativas). La variable dependiente es multinomial o múltiple cuando tiene más de dos (binomial o dicotómica) niveles, clases o categorías. La regresión logística es también una técnica multivariada de clasificación al igual que el análisis discriminante, pero se diferencian en que la regresión logística es

mucho más flexible y menos sensible a los supuestos o propiedades que deben tener los datos, como la normalidad multivariante o multivariada (Pérez, 2004; Aldás y Uriel, 2017).

Para los casos en que la variable dependiente es cualitativa se utilizan los modelos de respuesta cualitativa o modelos de elección discreta (modelos binomiales y multinormiales), especiales para modelar este tipo de relaciones y entre los más usados está el modelo de elección discreta logit que usa la distribución logística (Peña, 2002). La regresión logística es superior a la regresión lineal múltiple ya que no exige que los datos tengan una distribución normal ni varianza constante. Además, a diferencia de la regresión lineal (1) (Cuadro 21), la regresión logística no predice el valor de Y_i dados los valores de X_i , sino que directamente estima la razón de apuestas (*odds* en idioma inglés) que es una relación entre dos probabilidades (Aldás y Uriel, 2017).

De acuerdo con el Cuadro 21, en el caso de una regresión logística binomial, (por ejem. éxito y fracaso) esta presenta dos probabilidades (2a). La regresión logística adapta la estructura de la función de regresión lineal a una nueva función logística (2b) y que se puede expresar en ambas probabilidades según la variable dependiente binomial (2c). Al darle forma de razón, se obtiene la función de regresión logística, se denomina al cociente π como *odds* (o ventaja), que indica cuánto más o menos probable es una de las dos categorías de la variable independiente (en este caso, éxito o fracaso). En 2e se muestra cuando el *odds* tiene una forma lineal. En la situación que se desee comparar los *odds* de diferentes individuos, se usa la ecuación del *odds ratio* o razón de *odds* que representa el riesgo relativo o ventaja comparativa de dos sucesos asociado a una variable X (2f) (Aldás y Uriel, 2017).

Cuadro 21: Funciones de regresión lineal múltiple (1) y logística binomial (2)

$$(1) Y_i = \beta_1 + \beta_2 X_{2i} + \beta_3 X_{3i} + \dots + \beta_k X_{ki} + \varepsilon_i$$

$$(2a) Y_i = \begin{cases} 1 & \text{Prob}(Y_i = 1) = P_i \\ 0 & \text{Prob}(Y_i = 0) = 1 - P_i \end{cases}$$

$$Z_i = \beta_1 + \beta_2 X_{2i} + \beta_3 X_{3i} + \dots + \beta_n X_{ni} = [X_{2i} \dots X_{ki}] \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_k \end{bmatrix} = X_i' \beta$$

(2b)

$$P(Y_i) = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_1 + \beta_2 X_{2i} + \beta_3 X_{3i} + \dots + \beta_n X_{ni})}} = \frac{1}{1 + e^{-Y_i}} = \frac{e^{Z_i}}{1 + e^{Z_i}}$$

$$(2c) P_i = \frac{e^{Z_i}}{1 + e^{Z_i}} ; 1 - P_i = \frac{1}{1 + e^{Z_i}}$$

$$(2d) \pi_i = \frac{P_i}{1 - P_i} = e^{Z_i}$$

$$(2e) \ln \pi_i = Z_i = \beta_1 + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_n X_{ni}$$

$$(2f) \theta_{1,0} = \frac{\pi_1}{\pi_0} = e^{\beta_x}$$

FUENTE: Adaptación de Aldás y Uriel, 2017

En el caso de la regresión logística multinomial, el modelo Logit Multinomial usa una de las categorías de la variable dependiente como categoría de referencia (0) que fue el estado *saludable* y teniendo por lo tanto, 2 (J) vectores de parámetros que es equivalente al número de categorías de la variable dependiente sin considerar la categoría de referencia.

De la relación 1 del Cuadro 22 según Aldás y Uriel (2017), se obtienen las probabilidades de cada categoría de la dependiente en un Modelo Logit Multinomial en (2). Asimismo en 3a, el logaritmo neperiano de la razón de apuestas u odds entre la categoría j y la categoría de referencia (0), y en 3b está la ecuación para calcular la razón de apuestas entre una categoría j y cualquier categoría representada por h, de la variable dependiente. En la ecuación 4 se representa al *odds ratio* o razón de *odds* que representa el riesgo relativo o ventaja comparativa de dos sucesos asociados a una variable X, que puede ser para distintos individuos o sitios ecológicos de acuerdo a esta investigación.

- **Estimación del Modelo Logístico Multinomial:**

Se generaron dos modelos, el primero fue a partir de las 16 variables y el segundo a través de un método de selección de variables. En el software estadístico R, se usaron las librerías *nnet*, *foreign* y *stargazer* de las que se pudieron obtener el intercepto y los coeficientes de las variables. Después, se utilizó la librería *MASS* que usó como método discriminante de variables *Selección hacia atrás (Backward)*, el cual se basa en la selección de variables independientes que mejor actúan como variables clasificadoras (Pérez, 2004).

Cuadro 22: Función de regresión logística multinomial

$$(1) Z_{ij} = \beta_{1j} + \beta_{2j}X_{2i} + \beta_{3j}X_{3i} + \dots + \beta_{kj}X_{ki} = [X_{2i} \dots X_{ki}] \begin{bmatrix} \beta_{1j} \\ \beta_{2j} \\ \cdot \\ \cdot \\ \beta_{kj} \end{bmatrix} = X'_i \beta_j$$

$$(2) P_{ij} = \text{Prob}(Y_i = j) = \frac{e^{X'_i \beta_j}}{1 + \sum_{k=1}^J e^{X'_i \beta_k}} \quad j = 1, 2, \dots, J$$

$$P_{i0} = \text{Prob}(Y_i = 0) = \frac{1}{1 + \sum_{k=1}^J e^{X'_i \beta_k}}$$

$$(3a) \ln\left(\frac{P_{ij}}{P_{i0}}\right) = X'_i \beta_j = Z_{ij} = \beta_{1j} + \beta_{2j}X_{2i} + \beta_{3j}X_{3i} + \dots + \beta_{kj}X_{ki}$$

$$(3b) \ln\left(\frac{P_{ij}}{P_{ih}}\right) = X'_i(\beta_j - \beta_h)$$

$$(4) \theta_{j,0} = \frac{\pi_j}{\pi_0} = e^{\beta_j}$$

FUENTE: Adaptación de Aldás y Uriel, 2017

- **Evaluación de las Funciones de Regresión Logística Multinomial:**

- **Significatividad Global del Modelo**

También llamada Prueba Global de Devianza. Se evaluó de manera conjunta a las variables y se probó si los coeficientes (β) de las variables eran diferentes a cero o no, mediante el estadístico de Chi – Cuadrado. Lo esperado fue rechazar la hipótesis nula sobre la igualdad a cero de los coeficientes de las variables. De lograr que se

rechace la hipótesis planteada, se puede mencionar que el modelo es significativo y puede emplearse.

○ **Cálculo de R Cuadrado de McFadden**

El R Cuadrado de McFadden indica el porcentaje de la variabilidad total de la variable dependiente (estado de salud del pastizal) que es explicada por las variables independientes. Según la investigación se tuvieron dos R Cuadrado de McFadden, uno a partir de las 16 variables y el otro por las variables seleccionadas.

3.6. Validación Técnicas Multivariadas

La validación es un paso necesario en la generación de un modelo de predicción, ya que no es suficiente desarrollar (entrenar) uno bueno sino demostrar su capacidad en muestras representativas (Beleites *et al.*, 2013). Por ello, se seleccionó un grupo de sitios independientes a los que fueron empleados en la fase de entrenamiento. Este grupo está subdividido en dos, en base a la gramínea importante del pastizal, es decir, si esta es del género *Festuca* o no. Para la fase de validación se eligieron a los pastizales del primer grupo debido a que los que se emplearon en la fase de entrenamiento tenían también especies del género *Festuca* como gramínea importante. Por otro lado, se vio de incluir a los pastizales del grupo dos en la validación, para probar la capacidad de predicción de los modelos en otras especies dentro de la familia de las Poáceas.

El primer grupo de validación está conformado por 10 sitios ecológicos vecinos a los de la fase de entrenamiento y que son procedentes de los departamentos de Áncash, Huancavelica y Pasco. Los sitios ecológicos en Áncash poseen como gramínea importante a las especies *Festuca humilior* y *F. dolichophylla*; en Huancavelica, *F. rigescens* y Pasco, *F. humilior*. El segundo grupo está integrado por seis sitios ecológicos, también vecinos a los que se incluyeron en la fase de entrenamiento, de los departamentos de Lima y Pasco. Los sitios en Lima tuvieron como gramínea importante a las especies *Calamagrostis rigida* y *Jarava Ichu*; y Pasco, *C. rigida*.

3.7. Comparación de funciones estimadas por las técnicas multivariadas

Para conocer el modelo más adecuado para la evaluación del estado de salud de pastizales que posean al género *Festuca* como gramínea importante. Primero, se elaboró la matriz de

confusión (Beleites *et al.*, 2013) y se buscó aquel que posea la tasa de buena clasificación. Pero además, fue necesario comparar a las variables que fueron seleccionadas por los métodos antes mencionados considerados en las técnicas multivariadas discriminante lineal y regresión logística multinomial. La evaluación de las variables se basó en la interpretación científica de las variables en relación a su intervención en la dinámica retroalimentativa del estado de salud del pastizal.

Asimismo, para complementar el proceso de selección de modelos, se usaron indicadores obtenidos de la matriz de confusión que permitieron comparar la calidad de las predicciones de los modelos.

3.7.1. Matriz de Confusión

La matriz de confusión se empleó para evaluar el desempeño de clasificación de estados de salud (NS = No saludable, R = Riesgo, S = Saludable) por parte de los modelos. La matriz de confusión fue elaborada a partir de los datos de estados de salud real y predicha, de los sitios que contribuyeron a la generación del modelo (fase de entrenamiento) y a la fase de validación, de manera independiente en cada fase. Los indicadores que se obtuvieron de la matriz de confusión fueron: exactitud o tasa de buena clasificación, tasa de error o mala clasificación, sensibilidad, especificidad, precisión o valor predictivo positivo y valor predictivo negativo (Beleites *et al.*, 2013; Aldás y Uriel, 2017).

En la representación de una matriz de confusión, la Figura 3 muestra a una matriz de 3 filas y 3 columnas (3x3) según el caso de la presente investigación. Las filas llevan las estimaciones reales o de referencia, es decir, las estimaciones del estado de salud que se hicieron siguiendo el método de Pyke o Estado de Salud – IIRH y las columnas, los estados de salud predichos. En el Cuadro 23 se indican las fórmulas para hallar los estados de salud reales y los predichos.

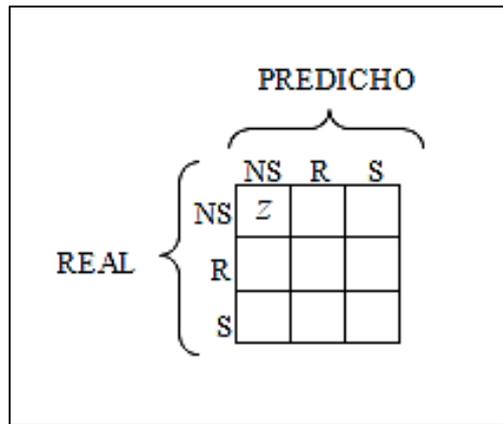


Figura 3: Matriz de confusión. NS = No saludable, R = Riesgo, S = Saludable

Cuadro 23: Fórmulas para hallar los estados de salud reales y los predichos

Valores Reales:	Valores Predichos:
(1) $\sum_{i=1}^3 Z_{i1} = NS_{real}$	(4) $\sum_{i=1}^3 Z_{i1} = NS_{predicho}$
(2) $\sum_{i=1}^3 Z_{i2} = R_{real}$	(5) $\sum_{i=1}^3 Z_{i2} = R_{predicho}$
(3) $\sum_{i=1}^3 Z_{i3} = S_{real}$	(6) $\sum_{i=1}^3 Z_{i3} = S_{predicho}$

Para determinar el mejor modelo de predicción, fue necesario comparar la tasa de buena clasificación o exactitud (7), y en consecuencia, la tasa de mala clasificación (8) del Cuadro 24. El mejor modelo obtuvo el mayor valor de TBC y el más bajo TMC. La TBC consistió en la suma de aquellos sitios ecológicos que su categoría real coincidió con la clase predicha en relación a la cantidad total de sitios evaluados (n), según la etapa de entrenamiento y validación. Por el contrario, la TMC se obtuvo de la diferencia entre la unidad y la TBC.

Cuadro 24: Fórmulas para hallar la tasa de buena clasificación (Exact o TBC) y mala clasificación (TMC)

$$(7) \text{ Exact o TBC} = \frac{Z_{11} + Z_{22} + Z_{33}}{n} \qquad (8) \text{ TMC} = 1 - \text{TBC}$$

Asimismo, para cada categoría de estado de salud se hallaron los indicadores que demuestran la habilidad de los modelos clasificadores: sensibilidad, especificidad, precisión o valor predictivo positivo y valor predictivo negativo. En la Figura 4 se muestra la representación gráfica para obtener los indicadores basándose en el caso de la categoría *no saludable* en la matriz de confusión, y en el Cuadro 25 están las fórmulas para hallarlos según las categorías de estado de salud.

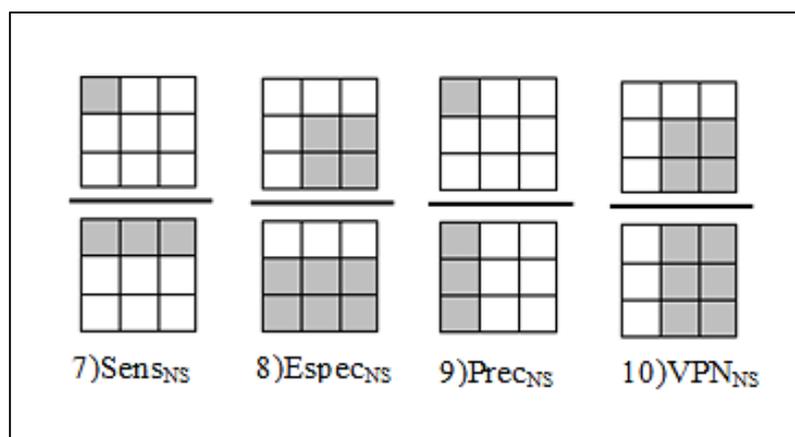


Figura 4: Representación gráfica de la obtención de sensibilidad (Sens), especificidad (Espec), precisión (Prec) y valor predictivo negativo (VPN) en la matriz de confusión.

FUENTE: Adaptación de Beleites *et al.*, 2013

De acuerdo con Beleites *et al.*, (2013), los indicadores se interpretaron del siguiente modo, tomando de ejemplo la categoría *no saludable*:

- Sensibilidad (Sens)_{NS}: ¿Cuál es la proporción de que el modelo reconoce a los sitios de estado de salud *no saludable*?
- Especificidad (Espec)_{NS}: ¿Cuál es la probabilidad de que el modelo reconozca a un sitio que no pertenece a la categoría *no saludable*?

- Valor predictivo positivo o precisión (Prec o VPP)_{NS}: Dada la predicción de la categoría *no saludable*, cuál es la probabilidad de que realmente su estado de salud sea *no saludable*.
- Valor predictivo negativo (VPN)_{NS}: Dada la predicción de que no pertenezca a la categoría *no saludable*, cuál es la probabilidad de que realmente su estado de salud no sea *no saludable*.

Cuadro 25: Fórmulas para hallar la sensibilidad (Sens), especificidad (Espe), precisión o valor predictivo positivo (Prec) y valor predictivo negativo (VPN)

(9) $Sens_{NS} = \frac{Z_{11}}{\sum_{i=1}^3 Z_{i1}}$	(10) $Sens_R = \frac{Z_{22}}{\sum_{i=1}^3 Z_{i2}}$	(11) $Sens_S = \frac{Z_{33}}{\sum_{i=1}^3 Z_{i3}}$
(12) $Espe_{NS} = \frac{Z_{22} + Z_{32} + Z_{23} + Z_{33}}{\sum_{i=1}^3 Z_{i2} + \sum_{i=1}^3 Z_{i3}}$		
(13) $Espe_R = \frac{Z_{11} + Z_{13} + Z_{31} + Z_{33}}{\sum_{i=1}^3 Z_{i1} + \sum_{i=1}^3 Z_{i3}}$		
(14) $Espe_S = \frac{Z_{11} + Z_{12} + Z_{21} + Z_{22}}{\sum_{i=1}^3 Z_{i1} + \sum_{i=1}^3 Z_{i2}}$		
(15) $Prec_{NS} = \frac{Z_{11}}{\sum_{j=1}^3 Z_{1j}}$	(16) $Prec_R = \frac{Z_{22}}{\sum_{j=1}^3 Z_{2j}}$	(17) $Prec_S = \frac{Z_{33}}{\sum_{j=1}^3 Z_{3j}}$
(18) $VPN_{NS} = \frac{Z_{22} + Z_{32} + Z_{23} + Z_{33}}{\sum_{j=1}^3 Z_{2j} + \sum_{j=1}^3 Z_{3j}}$		
(19) $VPN_R = \frac{Z_{22} + Z_{32} + Z_{23} + Z_{33}}{\sum_{j=1}^3 Z_{1j} + \sum_{j=1}^3 Z_{3j}}$		
(20) $VPN_S = \frac{Z_{22} + Z_{32} + Z_{23} + Z_{33}}{\sum_{j=1}^3 Z_{1j} + \sum_{j=1}^3 Z_{2j}}$		

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Estado de Salud del Pastizal

4.1.1. Fase de entrenamiento

Según la Tabla 11, de los pastizales localizados en las áreas en estudio y que fueron evaluados por el método de Pyke o Estado de Salud – IIRH (estado actual) para la fase entrenamiento del modelo en el departamento de Áncash, ninguno resultó *no saludable*; cuatro, en riesgo; y siete, *saludable*. En Huancavelica, 10 fueron categorizados como *no saludable*; 2, en *riesgo*; y ninguno como *saludable*. En Lima, ninguno fue *no saludable*; seis, en *riesgo*; y cuatro, *saludable*. En Pasco, al igual que los pastizales de la Comunidad de Tomas en Lima, ninguno resultó *no saludable*; cuatro, en *riesgo*; y siete, *saludable*.

Tabla 11: Resumen de estado de salud (actual) por área de evaluación, fase de entrenamiento

Área de Evaluación	Estado de Salud			TOTAL
	No Saludable	Riesgo	Saludable	
Áncash	-	4	7	11
Huancavelica	10	2	-	12
Lima	-	6	4	10
Pasco	-	4	7	11
TOTAL	10	16	18	44

En resumen, se emplearon 10 sitios ecológicos de pastizales que cuentan con los atributos correspondientes al estado *no saludable*; 16, en *riesgo*; y 18, *saludable* para la generación del modelo (Tabla 11). Además, la exploración de los puntajes generales de los estados de salud por el método de Pyke o Estado de Salud del Pastizal (IIRH) indicó que el valor mínimo fue 1.92 (2.43 es el puntaje máximo para *no saludable*) y el máximo fue 4.50 (3.68 es el puntaje mínimo para *saludable*). También, el promedio y la mediana fueron 3.39 y 3.58, respectivamente, estando ambos valores en el rango de estado de salud *riesgo* (Anexo 15).

4.1.2. Fase de validación

Las áreas de pastizales que participaron en la fase de validación se dividieron en dos grupos de acuerdo al género de la especie de gramínea importante en ellos. En la Tabla 12 se encuentra el resumen de los estados de salud (actual) estimados por el método de Pyke o Estados de Salud – IIRH, de los pastizales que tienen como gramínea importante especies del género *Festuca*. Se emplearon 10 sitios en total y ninguno fue de la categoría *no saludable*, mientras que en el departamento de Áncash hubo cuatro en *riesgo* y uno *saludable*. En Huancavelica, cuatro sitios fueron categorizados como en *riesgo*; y en Pasco, uno como *saludable*.

En total, en el primero grupo de validación se emplearon ocho sitios ecológicos de pastizales que cuentan con los atributos correspondientes al estado *riesgo*; y dos, *saludable* (Tabla 12). La exploración de los puntajes generales de los estados de salud por el método de Pyke o Estado de Salud del Pastizal (IIRH) mostró que el valor mínimo fue 2.74 (de la categoría *riesgo*) y el máximo fue 3.98 (de la categoría *saludable*). El promedio y la mediana fueron 3.31 y 3.25, respectivamente, estando ambos valores en el rango de estado de salud *riesgo* (Anexo 16).

Tabla 12: Resumen de estado de salud (actual) por área de evaluación de pastizales, fase de validación (género *Festuca*)

Área de Evaluación	Estado de Salud			TOTAL
	No Saludable	Riesgo	Saludable	
Áncash	-	4	1	5
Huancavelica	-	4	-	4
Pasco	-	-	1	1
TOTAL	-	8	2	10

El segundo grupo de validación está conformado por áreas de pastizales que tienen como gramínea importante a especies de gramíneas de diferente género al de *Festuca*. En la Tabla 13 se encuentra el resumen de los estados de salud (actual) estimados por el método de Pyke o Estados de Salud – IIRH de seis sitios que forman parte del segundo grupo de validación. En el departamento de Lima hubo cuatro sitios dentro de la categoría *riesgo* y dos en Pasco fueron *saludable*.

La exploración de los puntajes generales del estado de salud por el método de Pyke o Estado de Salud del Pastizal (IIRH) indicó que el valor mínimo fue 2.76 (de la categoría *riesgo*) y el máximo fue 4.09 (de la categoría *saludable*). El promedio y la mediana fueron 3.44 y 3.51, respectivamente, estando ambos valores en el rango de estado de salud *riesgo* (Anexo 17).

Tabla 13: Resumen de estado de salud (actual) por área de evaluación de pastizales, fase de validación (otros géneros de gramíneas)

Área de Evaluación	Estado de Salud			TOTAL
	No Saludable	Riesgo	Saludable	
Lima	-	4	-	4
Pasco	-	-	2	2
TOTAL	-	4	2	6

4.2. Análisis de Sensibilidad de Variables

4.2.1. Cobertura Basal de Vegetación

De manera global, la variable cobertura basal de la vegetación obtuvo como valor mínimo y máximo, 33 y 96 por ciento, respectivamente; valor de mediana, 84 por ciento; y promedio, 72.36 por ciento (Anexo 18). El gráfico bloxplot muestra los valores de la variable según el estado de salud del pastizal, del cual fueron recogidos. El promedio de la variable en pastizales *no saludable* (41.70 por ciento) fue bastante bajo con respecto al promedio de los categorizados en *riesgo* (76.06 por ciento). Por otro lado, solo hubo una diferencia de alrededor de 10 por ciento entre el promedio de los pastizales con estado de salud en *riesgo* y *saludable* (86.11 por ciento). De acuerdo a lo esperado, los pastizales calificados como *saludable* obtuvieron el promedio más alto y los *no saludable*, el más bajo.

En el Anexo 20, los resultados del análisis de correlación entre la cobertura basal de la vegetación y los estados de salud del pastizal demostraron que el coeficiente de correlación de Pearson es 0.90 y es altamente significativo. Por ello, se puede mencionar que existe una relación positiva muy fuerte entre ambas variables y que a medida que incrementa el puntaje del estado de salud, también lo hace la proporción de cobertura basal de la vegetación.

En los resultados del análisis de regresión lineal simple del Anexo 19, se halló que el coeficiente de determinación (R^2) es 0.8, es decir, el 80 por ciento de la variación total de la cobertura basal de la vegetación es explicado por la variación de los puntajes de estado de salud del pastizal. En el análisis de varianza se obtuvo la significancia del coeficiente del puntaje del estado de salud (coeficiente diferente de cero) y resultando en que por cada unidad de incremento del puntaje de estado de salud del pastizal, el valor de la cobertura basal de la vegetación incrementa en 22.071 por ciento. Por lo tanto, se puede asegurar que la variable cobertura basal de vegetación es sensible a los cambios en los puntajes de estado de salud, efectos que se verían más intensificados cuando el puntaje varíe de una categoría de estado de salud a otra.

4.2.2. Cobertura Basal de Mantillo

Considerando todos los valores de la variable cobertura basal de mantillo (sin considerar los estados de salud del pastizal), se obtuvo como valor mínimo y máximo, uno y 21 por ciento, respectivamente; valor de mediana, 8.50 por ciento; y promedio, 8.48 por ciento (Anexo 21). En el gráfico bloxplot se muestran los valores de la variable según el estado de salud del pastizal. El promedio de la variable en pastizales *no saludable* (3.2 por ciento) fue casi un tercio del valor del promedio de los categorizados en *riesgo* (9.88 por ciento). En cambio, tan solo hubo una diferencia de alrededor de 0.3 por ciento entre el promedio de los pastizales con estado de salud en *riesgo* y *saludable* (10.17 por ciento). Al igual que en la variable anterior, fue corta la diferencia entre los valores de los pastizales de la categoría *riesgo* y *saludable*.

En el caso de esta variable, según lo esperado, los pastizales calificados como *saludable* obtuvieron el promedio más alto y los *no saludable*, el más bajo (Anexo 21). Los resultados del análisis de correlación entre la cobertura basal de mantillo y los estados de salud del pastizal presentaron que el coeficiente de correlación de Pearson es 0.55 y es altamente significativo (Anexo 23). De esa manera, se puede mencionar que existe una relación positiva relativamente fuerte entre ambos, y que a medida que incrementa el puntaje del estado de salud, podría también hacerlo la proporción de cobertura basal de mantillo.

En el Anexo 22 están los resultados del análisis de regresión lineal simple y se encontró que el coeficiente de determinación (R^2) es 0.3, es decir, el 30 por ciento de la variación

total de la cobertura basal de mantillo es explicado por la variación de los puntajes de estado de salud del pastizal. En el análisis de varianza, fue significativo el coeficiente del puntaje del estado de salud (coeficiente diferente de cero) y resultando en que por cada unidad de incremento del puntaje de estado de salud del pastizal, el valor de la cobertura basal de mantillo incrementa en 3.22 por ciento. En vista de los resultados, se puede mencionar que la variable cobertura basal de mantillo es relativamente sensible los cambios en los puntajes de estado de salud.

4.2.3. Cobertura de Musgo y Liquen

Tomando en cuenta de manera general a los valores de la variable cobertura basal de musgo y liquen, se obtuvo como valor mínimo y máximo, cero y siete por ciento, respectivamente; valor de mediana, cero por ciento; y promedio, 1.43 por ciento (Anexo 24). En el gráfico bloxplot se exhibe los valores de la variable según el estado de salud pastizal y a diferencia de la cobertura basal de vegetación y mantillo, visualmente no se puede establecer una tendencia en línea recta. El promedio de la variable en pastizales *no saludable* (1 por ciento) fue mayor que el valor del promedio de los pastizales categorizados como saludable (0.89 por ciento). El promedio de los pastizales en *riesgo* (2.31 por ciento) fue superior a las dos categorías anteriores, sobrepasando dos y tres veces los promedios, respectivamente.

Se presume que *riesgo* obtuvo el valor más alto debido a que este estado de salud posee más espacios de suelo desnudo que los *saludable* con las condiciones de albergar musgos y líquenes, por la vegetación y mantillo alrededor que genera microclimas (captación y retención de humedad) para su supervivencia. Sin embargo, los pastizales *no saludable* a pesar de que puedan contar con una mayor proporción de suelo desnudo, estos espacios disponibles no poseen las cualidades que los de *riesgo* sí (reducida capacidad de captación y retención de humedad).

Los resultados del análisis de correlación entre la cobertura basal de musgo y liquen, y los estados de salud del pastizal mostraron que el coeficiente de correlación de Pearson resultó no significativo (Anexo 26) y en consecuencia, no existe una relación entre ambas variables. Por otra parte, en el Anexo 26 están los resultados del análisis de regresión lineal simple y se halló que el coeficiente de determinación (R^2) es 0.002, es decir, el 0.2 por

ciento de la variación total de la cobertura basal de musgo y líquen es explicado por la variación de los puntajes de estado de salud del pastizal.

En el análisis de varianza del Anexo 25, el coeficiente del puntaje de estado de salud resultó no significativo por lo que no se rechaza la hipótesis planteada que el coeficiente beta estimado es igual a cero. Por estas razones, sumado al valor del coeficiente de determinación que es muy bajo, se puede decir que la presencia de musgo y líquen según los estados de salud no tienen una relación lineal. Esta idea puede soportarse con el gráfico boxplot del Anexo 25.

La sensibilidad de esta variable a los estados de salud es menor que las anteriores variables de cobertura basal. Aparentemente, esta variable no sería capaz de ser un adecuado indicador de los estados de salud, por no diferenciar su manifestación entre no podemos decir que no existe sensibilidad de la presencia de musgo y líquen ya que su existencia no fue uniforme en los tres estados.

4.2.4. Cobertura Basal de Suelo Desnudo

En el Anexo 27, la variable cobertura basal de suelo desnudo obtuvo como valor mínimo y máximo, cero y 48 por ciento, respectivamente; valor de mediana, tres por ciento; y promedio, 11.73 por ciento. En el gráfico boxplot se representa la variación en la proporción de suelo desnudo hallado por estado de salud. El promedio de la variable en pastizales *no saludable* (32.20 por ciento) fue bastante alto con respecto al promedio de los categorizados en *riesgo* (9.63 por ciento). Por otra parte, el promedio de los pastizales en estado *saludable* fue 2.22 por ciento. De acuerdo a lo esperado, los pastizales calificados como *saludable* obtuvieron el promedio más bajo y los *no saludable*, el más alto.

En el Anexo 29, los resultados del análisis de correlación entre la cobertura basal de suelo desnudo y los estados de salud del pastizal señalaron que el coeficiente de correlación de Pearson es -0.87 y es altamente significativo. En vista de ello, se puede mencionar que existe una relación negativa muy fuerte entre ambas variables y que a medida que disminuye el puntaje del estado de salud, la proporción de cobertura basal de suelo desnudo aumenta.

En los resultados del análisis de regresión lineal simple del Anexo 29, se halló que el coeficiente de determinación (R^2) es 0.76, es decir, el 76 por ciento de la variación total de la cobertura basal de suelo desnudo es explicado por la variación de los puntajes de estado de salud del pastizal. En el análisis de varianza del Anexo 28, el coeficiente del puntaje de estado de salud resultó significativo, es decir que este coeficiente es diferente de cero. Ante esto, se puede mencionar que por cada unidad de incremento del puntaje de estado de salud del pastizal, el valor de la cobertura basal de suelo desnudo disminuye en 15.10 por ciento. Por lo tanto, se puede asegurar que la variable cobertura basal de suelo desnudo es sensible a los cambios en los puntajes de estado de salud.

4.2.5. Cobertura de Pavimento de Erosión

Tomando en cuenta los valores en conjunto de la variable pavimento de erosión, el valor mínimo y máximo, cero y 20 por ciento, respectivamente; valor de mediana, 0 por ciento; y promedio, 2.84 por ciento (Anexo 30). El promedio de la variable en pastizales *no saludable* (11.50 por ciento) fue bastante superior a los promedios hallados en los pastizales categorizados en *riesgo* (0.56 por ciento) y *saludable* (0.06 por ciento). La presencia de la variable en pastizales *saludable* ha sido bastante reducida y sería producto de la magnitud de la proporcionalidad y efecto de otros indicadores (variables) en la funcionalidad de los atributos del pastizal. En el gráfico bloxplot se puede apreciar la amplia diferencia entre los promedios de cobertura de pavimento de erosión en los diferentes estados de salud.

En el caso de esta variable, según lo esperado, los pastizales calificados como *saludable* obtuvieron el promedio más bajo y los *no saludable*, el más alto (Anexo 30). Los resultados del análisis de correlación entre la cobertura de pavimento de erosión y los estados de salud del pastizal indicaron que el coeficiente de correlación de Pearson es -0.83 y es altamente significativo (Anexo 32). Por esa razón, se puede mencionar que existe una relación negativa muy fuerte entre ambas variables y que a medida que incrementa el puntaje del estado de salud, la proporción de cobertura basal de pavimento de erosión se reduciría.

En el Anexo 31 están los resultados del análisis de regresión lineal simple y se halló que el coeficiente de determinación (R^2) es 0.68, es decir, el 68 por ciento de la variación total de la cobertura basal de pavimento de erosión es explicado por la variación de los puntajes de

estado de salud del pastizal. En el análisis de varianza, fue significativo el coeficiente del puntaje del estado de salud (coeficiente diferente de cero) y resultando en que por cada unidad de incremento del puntaje de estado de salud del pastizal, el valor de la cobertura basal de la vegetación disminuye en 5.343 por ciento. Frente a los resultados mencionados, se justifica la variable cobertura basal de mantillo es sensible a los cambios en los puntajes de estado de salud.

4.2.6. Vigor de Gramínea Importante

Al contemplar todos los datos de la variable vigor de gramínea importante, se obtuvo como valor mínimo y máximo, 2.69 y 74.67 por ciento, respectivamente; valor de mediana, 26 por ciento; y promedio, 26.49 por ciento. El promedio de la variable en pastizales *no saludable* (4.55 por ciento) fue bastante bajo con respecto al promedio de los categorizados en *riesgo* (25.87 por ciento). Por otra parte, solo hubo una diferencia de alrededor de 13 por ciento entre el promedio de los pastizales con estado de salud en *riesgo* y *saludable* (39.22 por ciento). En el gráfico bloxplot se puede observar la tendencia de los valores de la variable a medida que los puntajes del estado de salud del pastizal incrementan o disminuyen (Anexo 33).

De acuerdo a lo esperado, los pastizales calificados como *saludable* obtuvieron el promedio más alto y los *no saludable*, el más bajo (Anexo 36). En el Anexo 35, los resultados del análisis de correlación entre el vigor de la gramínea importante y los estados de salud del pastizal demostraron que el coeficiente de correlación de Pearson es 0.78 y es altamente significativo. Por ello, se puede decir que existe una relación positiva fuerte entre ambas variables y que a medida que incrementa el puntaje del estado de salud, también lo hace el vigor de la gramínea importante.

En los resultados del análisis de regresión lineal simple del Anexo 35, se halló que el coeficiente de determinación (R^2) es 0.61, es decir, el 61 por ciento de la variación total del vigor de la gramínea importante es explicado por la variación de los puntajes de estado de salud del pastizal. En el análisis de varianza, el coeficiente del puntaje del estado de salud resultó significativo, por lo que se rechazó la hipótesis de que su coeficiente es igual a cero. En vista de ello, se puede decir que por cada unidad de incremento del puntaje de

estado de salud del pastizal, el valor del vigor de la gramínea importante incrementa en 18.146 por ciento. Por lo tanto, se puede asegurar que la variable vigor de gramínea importante es sensible a los cambios en los puntajes de estado de salud.

4.2.7. Cobertura Aérea de Gramínea Importante

En el Anexo 36, la variable cobertura aérea de gramínea importante obtuvo como valor mínimo y máximo, 2.50 y 62.50 por ciento, respectivamente; valor de mediana, 37.50 por ciento; y promedio, 30.11 por ciento. El promedio de la variable en pastizales *no saludable* fue 12.50 por ciento, los categorizados en *riesgo*, 9.63 por ciento; y el de los pastizales en estado *saludable* fue 2.22 por ciento. La poca variabilidad de datos en los estados *no saludable* y *saludable* se debe a que se usó la escala de Daubenmire para reducir la subjetividad de la evaluación visual. Este resultado podría indicar además que la proporción de cobertura aérea de la gramínea importante no varía mucho inter estados *no saludable* y *saludable*, sin importar que varíe los puntajes de estado de salud (inter estado).

De acuerdo a lo esperado, los pastizales calificados como *no saludable* obtuvieron el promedio más bajo y los *saludable*, el más alto como se aprecia en el gráfico boxplot (Anexo 36). En el Anexo 38, los resultados del análisis de correlación entre la cobertura aérea de la gramínea importante y los estados de salud del pastizal indicaron que el coeficiente de correlación de Pearson es 0.71 y es altamente significativo. Por ello, se puede mencionar que existe una relación positiva fuerte entre ambas variables, y que a medida que aumenta el puntaje del estado de salud, la proporción de cobertura aérea de gramínea importante aumenta.

En los resultados del análisis de regresión lineal simple del Anexo 37, se halló que el coeficiente de determinación (R^2) es 0.50, es decir, el 50 por ciento de la variación total de la cobertura aérea de la gramínea importante es explicado por la variación de los puntajes de estado de salud del pastizal. Cabe recordar que la variable cobertura basal de vegetación alcanzó un R^2 mayor a este. En el análisis de varianza del Anexo 38, el coeficiente del puntaje de estado de salud resultó altamente significativo, es decir que este coeficiente es diferente de cero. Ante esto, se puede mencionar que por cada unidad de incremento del puntaje de estado de salud del pastizal, el valor de la cobertura aérea de la gramínea importante incrementa en 15.038 por ciento. Bajo estas justificaciones, se puede asegurar

que la variable cobertura basal de suelo desnudo es relativamente sensible a los cambios en los puntajes de estado de salud.

4.2.8. Biomasa Aérea

Considerando de forma global los valores de la variable biomasa aérea, el valor mínimo y máximo fue 5.27 g/m² y 2378.24 g/m², respectivamente; valor de mediana, 168.62 g/m²; y promedio, 329.13 g/m² (Anexo 39). El promedio de la variable en pastizales *no saludable* (16.89 g/m²) fue bastante bajo en comparación al promedio correspondiente a los categorizados en *riesgo* (22.53 g/m²). El promedio de variable en los pastizales *saludable* fue de 594.05 g/m². Según lo esperado para esta variable, los pastizales calificados como *saludable* obtuvieron el promedio más alto y los *no saludable*, el más bajo. En el gráfico bloxplot se puede apreciar la tendencia de la variable a los cambios de estado de salud. El comportamiento de esta variable de acuerdo a los estados de salud fue similar al de algunas variables de cobertura basal y vigor, en que el valor del promedio de *riesgo* se aproximaba más a *saludable* que a *no saludable*.

Los resultados del análisis de correlación entre la biomasa aérea y los estados de salud del pastizal indicaron que el coeficiente de correlación de Pearson es 0.52 y es altamente significativo (Anexo 41). Por esa razón, se puede mencionar que existe una relación positiva relativamente fuerte entre ambas variables y que a medida que incrementa el puntaje del estado de salud, también lo podría hacer la cantidad de biomasa aérea.

En el Anexo 42 están los resultados del análisis de regresión lineal simple y se halló que el coeficiente de determinación (R^2) es 0.27, es decir, el 27 por ciento de la variación total de la biomasa aérea es explicado por la variación de los puntajes de estado de salud del pastizal. En el análisis de varianza, el coeficiente del puntaje del estado de salud resultó altamente significativo, rechazando la hipótesis planteada que el coeficiente beta es igual a cero. Por consiguiente, por cada unidad de incremento del puntaje de estado de salud del pastizal, el valor de la biomasa incrementa en 328.797 g/m². Ante los resultados mencionados, a pesar de que la biomasa aérea tuvo un R^2 muy bajo, se puede mencionar que la variable biomasa aérea tiene una relativa sensibilidad a los cambios en los puntajes de estado de salud.

4.2.9. Mantillo

Tomando en cuenta todos los valores de la variable mantillo en conjunto, el valor mínimo y máximo fue 1.64 g/m² y 1029 g/m², respectivamente; valor de mediana, 42.35 g/m²; y promedio, 131.85 g/m². El promedio de la variable en pastizales *no saludable* fue 3.71 g/m²; en *riesgo*, 22.53 g/m²; y *saludable*, 594.05 g/m², reflejando una tendencia en la variación de la cantidad de mantillo según el cambio de estado de salud del pastizal y que se puede observar en el gráfico boxplot. Según lo esperado para esta variable, los pastizales calificados como *saludable* obtuvieron el promedio más alto y los *no saludable*, el más bajo (Anexo 42).

Los resultados del análisis de correlación entre la cantidad de mantillo y los estados de salud del pastizal indicaron que el coeficiente de correlación de Pearson es 0.47 y es altamente significativo (Anexo 44). Por esa razón, se puede expresar que existe una relación positiva relativamente fuerte entre ambas variables y que a medida que incrementa el puntaje del estado de salud, también lo haría la cantidad de mantillo.

En el Anexo 43 están los resultados del análisis de regresión lineal simple y se halló que el coeficiente de determinación (R^2) es 0.22, es decir, el 22 por ciento de la variación total de la cantidad de mantillo es explicado por la variación de los puntajes de estado de salud del pastizal. En el análisis de varianza, el coeficiente del puntaje del estado de salud resultó altamente significativo, rechazando la hipótesis planteada que el coeficiente beta es igual a cero. Ante ello, se puede mencionar que por cada unidad de incremento del puntaje de estado de salud del pastizal, el valor del mantillo incrementa en 136.589 g/m². Por lo tanto, a pesar de que la variable mantillo tuvo un R^2 muy bajo, se puede mencionar que tiene una relativa sensibilidad a los cambios en los puntajes de estado de salud.

4.2.10. Diversidad Botánica de Grupos Funcionales

En el análisis descriptivo de la variable diversidad botánica de grupos funcionales, al considerar todos los valores en conjunto, el valor mínimo y máximo fue 0.29 y 1.18, respectivamente; valor de mediana, 0.83; y promedio, 0.81. El promedio de la variable en pastizales *no saludable* fue 0.88; en *riesgo*, 0.81; y *saludable*, 0.77 g/m², reflejando una suave tendencia en la variación de diversidad de grupos funcionales según el cambio de estado de salud del pastizal y que se puede observar en el gráfico boxplot. (Anexo 45).

Los resultados del análisis de correlación entre diversidad de grupos funcionales y los estados de salud del pastizal indicaron que el coeficiente de correlación de Pearson es -0.20 y no significativo. En consecuencia, no existe una relación entre ambas variables (Anexo 47). Por otra parte, en el Anexo 47 están los resultados del análisis de regresión lineal simple y se halló que el coeficiente de determinación (R^2) es 0.04, es decir, el 4 por ciento de la variación total de la diversidad botánica de grupos funcionales es explicado por la variación de los puntajes de estado de salud del pastizal.

En el análisis de varianza de la regresión logística del Anexo 46, el coeficiente del puntaje de estado de salud resultó no significativo por lo que no se rechaza la hipótesis planteada de que el coeficiente beta estimado es igual a cero. Por estas razones, sumado al valor del coeficiente de determinación que es muy bajo, se puede decir que la diversidad botánica de grupos funcionales según la variación de los estados de salud no están relacionados. Sin embargo, observando los gráficos de los Anexos 45 y 46, sí existe una variación numérica más no significativamente estadística.

Aparentemente, esta variable no sería capaz de ser un potente indicador de los estados de salud, pero puede que tenga un poder de indicador según la evidencia de los gráficos.

4.2.11. Diversidad Botánica de Plantas Perennes

Considerando los valores globales de la variable diversidad botánica de plantas perennes, el valor mínimo y máximo fue 1.11 y 2.57, respectivamente; valor de mediana, 1.93; y promedio, 1.90. El promedio de la variable en pastizales *no saludable* fue 1.89; en *riesgo*, 2.03; y *saludable*, 1.80 g/m². A diferencia de la variable diversidad de grupos funcionales, no se observa una tendencia a medida que van aumentando o disminuyendo los valores de estados de salud (Anexo 48).

Los resultados del análisis de correlación entre diversidad botánica de plantas perennes y los estados de salud del pastizal indicaron que el coeficiente de correlación de Pearson es -0.13 y no significativo. En consecuencia, no existe una relación entre ambas variables (Anexo 50). En la variable de diversidad de grupos funcionales, la correlación fue también negativa, pero esta tiene una relación aún más débil. Por otra parte, en el Anexo 49 están los resultados del análisis de regresión lineal simple y se halló que el coeficiente de determinación (R^2) es 0.02, es decir, el 2 por ciento de la variación total de la diversidad

botánica de plantas perennes es explicado por la variación de los puntajes de estado de salud del pastizal.

En el análisis de varianza de la regresión logística del Anexo 49, el coeficiente del puntaje de estado de salud resultó no significativo por lo que no se rechaza la hipótesis planteada de que el coeficiente beta estimado es igual a cero. En la variable cobertura basal de musgo y líquen, el gráfico de boxplot daba una idea que posiblemente los datos no se ajustarán a una ecuación lineal, quizás sea también el caso de esta variable. Por estos motivos, sumado al valor del coeficiente de determinación que es muy bajo, se puede decir que la diversidad botánica de plantas perennes y la variación de los estados de salud, no están relacionadas.

4.2.12. Plantas Invasoras

Del total de valores de la variable plantas invasoras, se obtuvo como valor mínimo y máximo, 10.71 y 49.14 por ciento, respectivamente; valor de mediana, 27.75 por ciento; y promedio, 27.95 por ciento. Si bien en el gráfico boxplot no es clara una tendencia entre los estados de salud, el promedio de la variable en pastizales *no saludable* (32.17 por ciento) fue muy ligeramente mayor al de los categorizados en *riesgo* (31.89 por ciento). El promedio de los pastizales con estado de salud en *saludable* fue 22.10 por ciento. En el caso de esta variable, según lo esperado, los pastizales calificados como *saludable* obtuvieron el promedio más bajo y los *no saludable*, el más alto (Anexo 51).

Los resultados del análisis de correlación entre plantas invasoras y los estados de salud del pastizal mostraron que el coeficiente de correlación de Pearson es -0.46 y es altamente significativo (Anexo 53). De esa manera, se puede decir que existe una relación negativa relativamente fuerte entre ambos, y que a medida que incrementa el puntaje del estado de salud, el porcentaje de especies de plantas invasoras podría disminuir.

En el Anexo 52 están los resultados del análisis de regresión lineal simple y se encontró que el coeficiente de determinación (R^2) es 0.21, es decir, el 21 por ciento de la variación total de la proporción de plantas invasoras es explicado por la variación de los puntajes de estado de salud del pastizal. En el análisis de varianza, fue significativo el coeficiente del puntaje del estado de salud y por lo tanto, se rechaza la hipótesis planteada que expresa que el coeficiente beta estimado es igual a cero. Por lo que cada unidad de incremento del puntaje de estado de salud del pastizal, el porcentaje de plantas se reduce en 5.345 por ciento. En

vista de los resultados, se puede mencionar que la variable plantas invasoras es relativamente sensible a los cambios en los puntajes de estado de salud.

4.2.13. Mortalidad de Plantas

En el análisis descriptivo de la variable mortalidad de plantas, al considerar todos los valores en conjunto, el valor mínimo y máximo fue 0.00 y 100 por ciento, respectivamente; valor de mediana, 55 por ciento; y promedio, 52.05 por ciento. El promedio de la variable en pastizales *no saludable* fue 62 por ciento; en *riesgo*, 52.50 por ciento; y *saludable*, 46.11 por ciento, reflejando una suave tendencia en la variación de diversidad de grupos funcionales según el cambio de estado de salud del pastizal. Sin embargo, en el gráfico boxplot se puede observar en el estado *saludable*, que el rango de valores de mortalidad de plantas ha sido bastante amplio (Anexo 54).

Los resultados del análisis de correlación entre mortalidad de plantas y los estados de salud del pastizal señalaron que el coeficiente de correlación de Pearson es -0.23 y no significativo. En base a esto, no existe una relación entre ambas variables (Anexo 56). Por otro lado, en el Anexo 55 están los resultados del análisis de regresión lineal simple y se halló que el coeficiente de determinación (R^2) es 0.05, es decir, el cinco por ciento de la variación total de la mortalidad de plantas es explicado por la variación de los puntajes de estado de salud del pastizal.

En el análisis de varianza de la regresión logística del Anexo 55, el coeficiente del puntaje de estado de salud resultó no significativo, por lo que no se rechaza la hipótesis planteada de que el coeficiente beta estimado es igual a cero. Por estas razones, sumado al valor del coeficiente de determinación que es muy bajo, se puede decir que la mortalidad de plantas y los estados de salud no están relacionados. Sin embargo, existe una variación en los promedios de la variable según los estados de salud, como se muestra en el Anexo 54. Por ello, esta variable tendría una débil sensibilidad a los cambios de estado de salud del pastizal.

4.2.14. Materia Orgánica

A partir del total de valores de la variable materia orgánica, el valor mínimo y máximo fue 2.70 por ciento y 34.94 por ciento, respectivamente; valor de mediana, 9.69 por ciento; y

promedio, 11.29 por ciento. El promedio de la variable en pastizales *no saludable* fue 4.78 por ciento; los categorizados en *riesgo*, 11.30 por ciento; y los *saludable* fue de 14.91 por ciento. Según lo esperado para esta variable, los pastizales calificados como *saludable* obtuvieron el promedio más alto y los *no saludable*, el más bajo. En el gráfico bloxplot se puede apreciar la tendencia de la variable a los cambios de estado de salud. (Anexo 57).

En el Anexo 59, los resultados del análisis de correlación entre materia orgánica y los estados de salud del pastizal mostraron que el coeficiente de correlación de Pearson es 0.49 y es altamente significativo. Por esa razón, se puede justificar que existe una relación positiva relativamente fuerte entre ambas variables y que a medida que incrementa el puntaje del estado de salud, también lo podría hacer la proporción de materia orgánica.

Los resultados del análisis de regresión lineal simple (Anexo 58), mostraron que el coeficiente de determinación (R^2) es 0.24, es decir, el 24 por ciento de la variación total de la materia orgánica en el suelo es explicado por la variación de los puntajes de estado de salud del pastizal. En el análisis de varianza, el coeficiente del puntaje del estado de salud resultó altamente significativo. Por consiguiente, por cada unidad de incremento del puntaje de estado de salud del pastizal, el porcentaje de materia orgánica incrementa en 4.61 por ciento. Ante los resultados mencionados, a pesar de que la biomasa aérea tuvo un R^2 muy bajo, se puede mencionar que la variable materia orgánica tiene una relativa sensibilidad a los cambios en los puntajes de estado de salud.

4.2.15. Densidad Aparente

Al contemplar todos los datos de la variable densidad aparente, se obtuvo como valor mínimo y máximo, 0.19 y 2.12 g/cm³, respectivamente; valor de mediana, 1.03 g/cm³; y promedio, 1.11 g/cm³. El promedio de la variable en pastizales *no saludable* fue 1.75 g/cm³; los categorizados en *riesgo*, 1.07 g/cm³; y *saludable* 0.78 g/cm³. De acuerdo a lo esperado, los pastizales calificados como *saludable* obtuvieron el promedio más bajo y los *no saludable*, el más alto. En el gráfico bloxplot se puede observar la tendencia de los valores de la variable a medida que los puntajes del estado de salud del pastizal incrementan o disminuyen (Anexo 60).

En el Anexo 62, los resultados del análisis de correlación entre densidad aparente y los estados de salud del pastizal demostraron que el coeficiente de correlación de Pearson es -

0.77 y es altamente significativo. En vista de ello, se puede asegurar que existe una relación positiva fuerte entre ambas variables y que a medida que incrementa el puntaje del estado de salud, la densidad aparente del suelo disminuye.

En los resultados del análisis de regresión lineal simple del Anexo 61, se halló que el coeficiente de determinación (R^2) es 0.59, es decir, el 59 por ciento de la variación total de la densidad aparente es explicado por la variación de los puntajes de estado de salud del pastizal. En el análisis de varianza, el coeficiente del puntaje del estado de salud resultó significativo, por lo que se rechazó la hipótesis de que su coeficiente es igual a cero. En vista de ello, se puede decir que por cada unidad de incremento del puntaje de estado de salud del pastizal, el valor de la densidad aparente se reduce en 0.46 g/cm^3 . Por lo tanto, se puede afirmar que la variable densidad a aparente es sensible a los cambios en los puntajes de estado de salud.

4.2.16. Tasa de Infiltración

Considerando los valores globales de la variable tasa de infiltración, el valor mínimo y máximo fue 0.02 y 1.39 mm/min, respectivamente; valor de mediana, 0.29 mm/min; y promedio, 0.37 mm/min. El promedio de la variable en pastizales *no saludable* fue 0.37 mm/min; en *riesgo*, 0.35 mm/min; y *saludable*, 0.39 mm/min. No existe una clara variación en los promedios de la variable por estado de salud, de igual forma no se puede identificar alguna tendencia en el gráfico boxplot del Anexo 63.

Los resultados del análisis de correlación entre tasa de infiltración y los estados de salud del pastizal indicaron que el coeficiente de correlación de Pearson es 0.02 y no significativo. En consecuencia, no existe una relación entre ambas variables (Anexo 65). Por otra parte, en el Anexo 64 están los resultados del análisis de regresión lineal simple y se halló que el coeficiente de determinación (R^2) es 0.001, es decir, el 0.1 por ciento de la variación total de la tasa de infiltración es explicado por la variación de los puntajes de estado de salud del pastizal.

En el análisis de varianza de la regresión logística del Anexo 64, el coeficiente del puntaje de estado de salud resultó significativo por lo que se rechazó la hipótesis de que su coeficiente es igual a cero. Bajo estos resultados, sumado al valor del coeficiente de determinación que es muy bajo, se puede decir que la tasa de infiltración y la variación de los estados de salud, no están relacionadas. La falta de variación de tasa de infiltración entre los estados de salud se debió a la cantidad de agua retenida en el suelo, en pastizales

saludable se obtuvieron valores bajos, en algunos casos semejantes a los de estado *no saludable*. Es muy poco probable que el periodo de lluvia influyera en la tasa de infiltración de los pastizales *saludable*, ya que los datos de ellos fueron levantados en época seca y a finales de esta.

En la Tabla 14, se presenta el resumen del análisis de exploración para conocer el grado de sensibilidad de las variables que fueron empleadas para la generación del modelo. Las variables fueron ordenadas de manera descendente de acuerdo al valor del coeficiente de determinación. Además, las variables fueron categorizadas en *sensible*, *relativamente sensible* y *poco sensible* según el grado de respuesta de la variable a los cambios de salud del pastizal. Entre las variables que se incluyeron en la categoría *sensible* están: cobertura basal de vegetación, cobertura basal de suelo desnudo, cobertura basal de pavimento de erosión, vigor de gramínea importante y densidad aparente.

Por otro lado, las variables que formaron el grupo de la categoría *relativamente sensible* fueron: cobertura aérea de gramínea importante, cobertura basal de mantillo, biomasa aérea, materia orgánica, mantillo, plantas invasoras; y *poco sensible*, mortalidad de plantas, diversidad botánica de grupos funcionales, diversidad botánica de plantas perennes, cobertura basal de musgo y líquen, y tasa de infiltración.

Tabla 14: Resumen de análisis de correlación y regresión lineal simple de variables y estado de salud

	Variable	Ecuación de Regresión Lineal Simple	R ²	Regresión						Correlación			S*
				Anova		Pendiente		Intercepto		R	p - valor	SIG	
				p - valor	SIG	p - valor	SIG	p - valor	SIG				
1	Cobertura basal de vegetación	$y = 22.071x - 2.507$	0.80	0.00	sí	0.00	sí	0.67	no	0.90	0.00	sí	S
2	Cobertura basal de suelo desnudo	$y = - 15.1x + 62.951$	0.76	0.00	sí	0.00	sí	0.00	sí	-0.87	0.00	sí	S
3	Cobertura basal de pavimento de erosión	$y = - 5.343x + 20.966$	0.68	0.00	sí	0.00	sí	0.00	sí	-0.83	0.00	sí	S
4	Vigor de gramínea importante	$y = 18.146x - 35.072$	0.61	0.00	sí	0.00	sí	0.00	sí	0.78	0.00	sí	S
5	Densidad aparente	$y = - 0.46x + 2.67$	0.59	0.00	sí	0.00	sí	0.00	sí	-0.77	0.00	sí	S
6	Cobertura aérea de gramínea importante	$y = 15.038x - 20.899$	0.50	0.00	sí	0.00	sí	0.01	sí	0.71	0.00	sí	RS
7	Cobertura basal de mantillo	$y = 3.223x - 2.457$	0.30	0.00	sí	0.00	sí	0.36	no	0.55	0.00	sí	RS
8	Biomasa aérea	$y = 328.797x - 786.242$	0.27	0.00	sí	0.00	sí	0.01	sí	0.52	0.00	sí	RS
9	Materia orgánica	$y = 4.61x - 4.34$	0.24	0.00	sí	0.00	sí	0.33	no	0.49	0.00	sí	RS
10	Mantillo	$y = 136.589x - 331.499$	0.22	0.00	sí	0.00	sí	0.00	sí	0.47	0.00	sí	RS
11	Plantas invasoras	$y = - 5.345x + 46.082$	0.21	0.00	sí	0.00	sí	0.00	sí	-0.46	0.00	sí	RS
12	Mortalidad de plantas	$y = - 7.86x + 78.723$	0.05	0.13	no	0.13	no	0.00	sí	-0.23	0.13	no	PS
13	Diversidad de grupos funcionales	$y = - 0.05x + 0.982$	0.04	0.18	no	0.18	no	0.00	sí	-0.21	0.18	no	PS
14	Diversidad de plantas perennes	$y = - 0.051x + 2.075$	0.02	0.42	no	0.42	no	0.00	sí	-0.13	0.42	no	PS
15	Cobertura basal de musgo y liquen	$y = - 0.117x + 1.829$	0.002	0.78	no	0.78	no	0.00	sí	-0.04	0.78	no	PS
16	Tasa de infiltración	$y = 0.0094x + 0.3445$	0.001	0.90	no	0.00	sí	0.09	no	0.2	0.90	no	PS

S*= Sensibilidad, S=Sensible, RS= Relativamente sensible, PS= Poco sensible

4.3. Análisis Estadístico Multivariado

4.3.1. Análisis Discriminante Lineal

En la técnica multivariada análisis Discriminante aparte del uso total de variables, se ejecutaron dos métodos de selección o retención de variables, Lambda de Wilks y mediante Boruta, que es un paquete del software R. Según sus distintos criterios de análisis, cada método generó un conjunto de variables.

- **Selección de Variables: Método Lambda de Wilks**

El método Lambda de Wilks seleccionó ocho variables (Tabla 15) y según su sensibilidad a los cambios de estados de salud: *sensible*, (1) cobertura basal de pavimento de erosión, (2) cobertura basal de suelo desnudo, (5) densidad aparente y (8) vigor de gramínea importante; *relativamente sensible o sensibilidad media*, (3) plantas invasoras y (4) cobertura basal de mantillo; *poco sensible*, (6) diversidad de plantas perennes y (7) cobertura basal de musgo y líquen.

Tabla 15: Variables seleccionadas por el estadístico Lambda de Wilks

Variables seleccionadas: Lambda de Wilks	
1	Cobertura basal de pavimento de erosión
2	Cobertura basal de suelo desnudo
3	Plantas invasoras
4	Cobertura basal de mantillo
5	Densidad aparente
6	Diversidad de plantas perennes
7	Cobertura basal de musgo y líquen
8	Vigor de gramínea importante

Las variables que no fueron elegidas por el método Lambda de Wilks fueron: cobertura basal de vegetación, cobertura aérea de gramínea importante, biomasa aérea, materia orgánica, plantas invasoras, mortalidad de plantas, diversidad de grupos funcionales y tasa de infiltración.

- **Selección de Variables: Paquete R Boruta**

El método que empleó el paquete Boruta seleccionó 12 variables (Tabla 16) y según su sensibilidad a los cambios de estados de salud: *sensible*, (2) cobertura basal de pavimento de erosión, (3) vigor de gramínea importante, (4) densidad aparente, (5) cobertura basal de suelo desnudo, (6) cobertura basal de vegetación; *relativamente sensible o sensibilidad media*, (1) biomasa aérea, (7) mantillo, (8) materia orgánica, (9) cobertura basal de mantillo, (10) plantas invasoras y (12) cobertura aérea de gramínea importante; *poco sensible*, (11) diversidad de plantas perennes.

Tabla 16: Variables seleccionadas por el paquete Boruta

Variables seleccionadas: Boruta	
1	Biomasa aérea
2	Cobertura basal de pavimento de erosión
3	Vigor de gramínea importante
4	Densidad aparente
5	Cobertura basal de suelo desnudo
6	Cobertura basal de vegetación
7	Mantillo
8	Materia orgánica
9	Cobertura basal de mantillo
10	Plantas invasoras
11	Diversidad de plantas perennes
12	Cobertura aérea de gramínea importante

Las variables que no fueron elegidas por el paquete Boruta fueron: cobertura basal de musgo y líquen, mortalidad de plantas, diversidad de grupos funcionales y tasa de infiltración.

La única variable que fue seleccionada por Lambda de Wilks y no por Boruta fue: cobertura basal de musgo y líquen; y las que fueron seleccionadas por Boruta y no por Lambda de Wilks fueron: cobertura basal de vegetación, biomasa, mantillo y materia orgánica. Por el contrario, las variables seleccionadas que tienen en común ambos métodos son: cobertura basal de pavimento de erosión, vigor de gramínea

importante, densidad aparente, cobertura basal de suelo desnudo, cobertura basal de mantillo, plantas invasoras, diversidad de plantas perennes.

De las ocho variables seleccionadas por el método Lambda de Wilks, cuatro (50%) de ellas son de la categoría *sensible*; dos (25%), *relativamente sensible*; y dos (25%), *poco sensible*. Por otra parte, entre las variables seleccionadas por el paquete Boruta, cinco (41.7%) de ellas son de la categoría *sensible*; seis (50%), *relativamente sensible*; y uno (8.3%), *poco sensible*. Además se obtuvo el promedio de los coeficientes de determinación por cada método de selección, en el grupo de Lambda de Wilks fue 0.40 y en Boruta, 0.43.

- **Evaluación del Poder Discriminante de Cada Variable**

Según la técnica multivariada análisis discriminante, la prueba realizada para determinar el poder discriminante de las variables independientes halló que 69 por ciento de ellas tuvo al menos un promedio de un estado de salud diferente a los promedios de los otros estados. Las variables que no tuvieron un poder discriminante significativo fueron cobertura basal de musgo y líquen, diversidad botánica de grupos funcionales, diversidad de plantas perennes, mortalidad de plantas y tasa de infiltración, como se puede observar en la Tabla 17.

Coincidentemente, el resumen de análisis de correlación y regresión lineal simple de variables y estado de salud de la Tabla 14 muestra las variables que fueron calificadas como poco sensibles a los cambios de los estados de salud y son las mismas, que el análisis discriminante identifica con poder discriminante no significativo. Esto se dio ya que Lambda de Wilks actúa de manera similar a una regresión lineal múltiple (Hair *et al.*, 1999) y una de las pruebas para determinar la sensibilidad fue la regresión lineal simple, además de la correlación.

Tabla 17: Resumen de poder discriminante de variables independientes

Nº	Variables Independientes	P - valor	SIG
1	Cobertura basal de la vegetación	7.04(e ⁻¹³)	Sí
2	Cobertura basal de mantillo	109(10 ⁻⁶)	Sí
3	Cobertura basal de musgo y liquen	0.13	No
4	Cobertura basal de suelo desnudo	6.73(e ⁻¹¹)	Sí
5	Cobertura basal de pavimento de erosión	2.75(e ⁻¹⁵)	Sí
6	Vigor de gramínea importante	6.93(e ⁻⁷)	Sí
7	Cobertura aérea de gramínea importante	3.6(e ⁻⁵)	Sí
8	Biomasa aérea	786(10 ⁻⁵)	Sí
9	Mantillo	358(10 ⁻⁴)	Sí
10	Diversidad botánica de grupos funcionales	0.386	No
11	Diversidad de plantas perennes	0.132	No
12	Plantas invasoras	194(10 ⁻⁵)	Sí
13	Mortalidad de plantas	0.356	No
14	Materia orgánica	215(10 ⁻⁵)	Sí
15	Densidad aparente	1.58(e ⁻⁸)	Sí
16	Tasa de infiltración	0.934	No

- **Evaluación de las Funciones de Discriminantes:**

En la primera prueba sobre la significación conjunta de las funciones discriminante, es decir, se probó la significancia de las dos funciones discriminantes a la vez generadas en cada uno de los casos, variables completas, criterio de Lambda de Wilks y librería Boruta. En los tres casos las funciones discriminantes, en total seis, resultaron significativas. Los resultados se encuentran en la Tabla 18.

En la segunda prueba sobre la bondad de ajuste de las funciones con respecto al estado de salud del pastizal, el primer caso que estimó las funciones en base a las variables completas tuvo el coeficiente eta o correlación canónica de la primera función discriminante (0.96) bastante cerca a uno y mayor que el de la segunda función (0.80), por lo que la primera función discrimina bien y tiene una mayor capacidad explicativa que la segunda función. Además, el 92 por ciento de la variabilidad del estado de salud del pastizal fue explicado por la primera función discriminante, mientras que la segunda función solo consideró el 65 por ciento. Por

lo tanto, el primer caso (variable completas) solo tomó en cuenta a la primera función discriminante para los siguientes pasos de la investigación (Tabla 18).

El segundo caso que estimó las dos funciones discriminantes bajo el criterio de Lambda de Wilks, obtuvo el coeficiente eta o correlación canónica de la primera función discriminante (0.95) muy cerca a uno y mayor que el de la segunda función (0.68), al igual que el primer caso de variables completas. Entonces, la primera función discrimina bien y tiene una mayor capacidad explicativa que la segunda función. Asimismo, el 91 por ciento de la variabilidad del estado de salud del pastizal fue explicado por la primera función discriminante y la segunda función, solo el 46 por ciento. Por ello, este caso solo consideró a la primera función discriminante como el caso anterior (Tabla 18).

El tercer caso que usó el criterio del paquete Boruta para selección de variables obtuvo el coeficiente eta o correlación canónica de la primera función discriminante (0.95) muy cerca a uno y superior al de la segunda función (0.71). Al igual que en los anteriores casos de agrupaciones de variables, la primera función discrimina bien y tiene una mayor capacidad explicativa que la segunda función. Además, el 91 por ciento de la variabilidad del estado de salud del pastizal fue explicado por la primera función discriminante y la segunda función, solo lo hizo con el 51 por ciento. Por tal motivo, este caso solo consideró a la primera función discriminante así como en los casos anteriores (Tabla 18).

En la tercera prueba (Tabla 18) sobre la correlación entre las variables y las funciones discriminantes, se consideró en el análisis solo a la primera función discriminante estimada en cada caso debido a que los coeficientes eta o correlación canónica elevados al cuadrado de las funciones discriminantes número uno fueron más altos. En el primer caso donde se emplearon todas las variables independientes en la función discriminante, la variable que más influyó fue cobertura basal de pavimento de erosión que tuvo una correlación negativa. De la misma forma, esta variable tuvo una relación similar con las funciones discriminantes en los otros casos de variables seleccionadas y un resultado casi semejante a lo mostrado en la Tabla 14, siendo una de las variables más sensibles a los cambios de estado de salud del pastizal.

Tabla 18: Resumen de evaluación de funciones discriminantes

	Variables Completas	Criterio: Lambda de Wilks	Criterio: Librería Boruta
Significación conjunta de las funciones discriminantes	P – valor: $6.15(e^{-11})$ SIG: Sí	P – valor: $3.48(e^{-16})$ SIG: Sí	P – valor: $9.77(e^{-13})$ SIG: Sí
Prueba de bondad de ajuste	$\eta_1 = 0.96^*$ $\eta_1^2 = 0.92^{**}$ $\eta_2 = 0.80$ $\eta_2^2 = 0.65$	$\eta_1 = 0.95$ $\eta_1^2 = 0.91$ $\eta_2 = 0.68$ $\eta_2^2 = 0.46$	$\eta_1 = 0.95$ $\eta_1^2 = 0.91$ $\eta_2 = 0.71$ $\eta_2^2 = 0.51$
Correlación entre las variables y las funciones discriminantes	* <u>Función 1:</u> 1. Cobertura basal de pavimento de erosión (- 0.61) 2. Cobertura basal de vegetación (0.52) 3. Cobertura basal de suelo desnudo (- 0.44) 4. Densidad aparente (- 0.35) 5. Vigor de gramínea importante (0.29) 6. Cobertura aérea de gramínea importante (0.23) 7. Cobertura basal de mantillo (0.23) 8. Materia orgánica (0.17) 9. Mortalidad de plantas (- 0.07) 10. Diversidad botánica de grupos funcionales (- 0.06)	* <u>Función 1:</u> 1. Cobertura basal de pavimento de erosión (- 0.65) 2. Cobertura basal de suelo desnudo (- 0.46) 3. Densidad aparente (- 0.37) 4. Cobertura basal de mantillo (0.24)	* <u>Función 1:</u> 1. Cobertura basal de pavimento de erosión (- 0.62) 2. Cobertura basal de la vegetación (0.53) 3. Cobertura basal de suelo desnudo (- 0.45) 4. Densidad aparente (- 0.36) 5. Vigor de gramínea importante (0.30) 6. Cobertura aérea de gramínea importante (0.23) 7. Cobertura basal de mantillo (0.23) 8. Materia orgánica (0.18)

* η = coeficiente eta o correlación canónica

** η^2 = coeficiente eta o correlación canónica elevado al cuadrado

Por lo visto en la Tabla 18, otras variables que tuvieron importante influencia en las funciones discriminantes fueron cobertura basal de la vegetación, pero no fue seleccionada por el criterio de Lambda de Wilks, y cobertura basal de suelo desnudo en segundo y tercer lugar, respectivamente. Ambas variables también fueron calificadas como sensibles a los cambios de estado de salud del pastizal según la Tabla 14.

Al igual que en la tercera prueba de la Tabla 18, en la que solo se consideró información de las funciones discriminantes uno, en la Tabla 19 se presentan los coeficientes de las variables independientes de las mismas funciones discriminantes resultantes en cada uno de los tres casos. En los Anexos 66, 67 y 68 se presentan los coeficientes de las dos funciones discriminantes (LD1, función discriminante 1; LD2, función discriminante 2) con variables independientes completas, con el criterio de selección de variables Lambda de Wilks y el paquete Boruta, respectivamente.

Tabla 19: Resumen de Coeficientes de Funciones Discriminantes

Nº	VARIABLES INDEPENDIENTES	VARIABLES COMPLETAS	LAMDA DE WILKS	PAQUETE BORUTA
1	Cobertura basal de la vegetación	0.0269	-	0.0221
2	Cobertura basal de pavimento de erosión	- 0.2345	- 0.2959	- 0.2270
3	Cobertura basal de mantillo	0.1693	0.1363	0.1767
4	Cobertura basal de suelo desnudo	0.0001	- 0.0308	- 0.0068
5	Diversidad de plantas perennes	0.5063	0.9078	0.1624
6	Diversidad botánica de grupos funcionales	- 0.6106	-	-
7	Biomasa aérea	0.0010	-	0.0014
8	Mantillo	- 0.0045	-	- 0.0048
9	Plantas invasoras	0.0022	0.0200	- 0.0026
10	Mortalidad de plantas	- 0.0036	-	-
11	Tasa de infiltración	0.1996	-	-
12	Materia orgánica	- 0.0026	-	- 0.0052
13	Densidad aparente	- 1.5358	- 1.4613	- 1.7220
14	Cobertura basal de musgo y liquen	0.0914	0.1102	-
15	Cobertura aérea de gramínea importante	0.0098	-	0.0152
16	Vigor de gramínea importante	0.0476	0.0320	0.0326

4.3.2. Análisis Regresión Logística Multinomial

En la técnica multivariada análisis de Regresión Logística Multinomial además del uso total de variables independientes, se usó un método de selección o retención de variables, Selección hacia atrás (*Backward*).

- **Selección de Variables: Selección hacia atrás (*Backward*)**

Luego de aplicar el método Selección hacia atrás (*Backward*), el conjunto de variables resultantes fue detallado en la Tabla 20. El método Selección hacia atrás (*Backward*) retuvo siete variables y según su sensibilidad a los cambios de estados de salud, estos fueron: *sensible*, (2) cobertura basal de suelo desnudo y (7) densidad aparente; *relativamente sensible o sensibilidad media*, (1) cobertura basal de mantillo, (4) biomasa aérea, (5) mantillo y (6) plantas invasoras; y *poco sensible*, (3) diversidad de plantas perennes.

Tabla 20: Lista de variables seleccionadas por el método Selección hacia atrás (*Backward*)

Variables seleccionadas: Selección hacia atrás (<i>Backward</i>)	
1	Cobertura basal de mantillo
2	Cobertura basal de suelo desnudo
3	Diversidad de plantas perennes
4	Biomasa aérea
5	Mantillo
6	Plantas invasoras
7	Densidad aparente

- **Evaluación de las Funciones de Regresión Logística Multinomial:**

Luego de obtener las funciones según el uso de las variables completas y el método de discriminación de variables Selección hacia atrás (*Backward*), ambos modelos fueron evaluados mediante la Prueba Global de Devianza o Significatividad Global del Modelo y resultaron significativos. Entonces, los coeficientes que forman parte de ambos modelos son diferentes de cero, por lo tanto, ninguna variable, según sea el caso, quedó fuera de este. Otra prueba de evaluación del modelo fue R Cuadrado de

McFadden, que en ambos casos fue de 0.99, valor que fue bastante alto y denotó sospecha de alguna falla en la generación de los modelos (Tabla 21).

Tabla 21: Resumen de Evaluación de Funciones de Regresión Logística Multinomial

	Variables Completas	Criterio: Selección hacia atrás (<i>Backward</i>)
Significatividad Global del Modelo	P – valor: $4.87(e^{-8})$ Sig:Sí	P – valor: $6.11(e^{-14})$ Sig:Sí
R Cuadrado de McFadden	0.99	0.99

En la Tabla 22 se presentan los coeficientes de las funciones de Regresión Logística Multinomial generados en cada caso de conjuntos de variables independientes e intercepto para los estados de salud *riesgo* y *no saludable*, ya que el estado de salud tomado de referencia fue *saludable*.

Tabla 22: Resumen de Coeficientes de Funciones de Regresión Logística Multinomial

N°	Variables Independientes	Variables Completas*		Selección hacia atrás (<i>Backward</i>)*	
		Riesgo	No Saludable	Riesgo	No Saludable
	Intercepto	- 23.2559	16.0255	- 997.5589	45.5968
1	Cobertura basal de la vegetación	- 7.5430	- 3.0170	-	-
2	Cobertura basal de pavimento de erosión	- 26.1521	- 0.1203	-	-
3	Cobertura basal de mantillo	- 6.4255	1.6866	4.0938	- 29.2521
4	Cobertura basal de suelo desnudo	- 4.0380	1.7777	- 12.2051	5.9275
5	Diversidad de plantas perennes	187.0916	- 13.5540	196.6716	- 237.8023
6	Diversidad botánica de grupos funcionales	- 31.5845	14.0428	-	-
7	Biomasa aérea	- 0.3915	- 0.0100	- 0.9544	- 0.6759
8	Mantillo	0.6477	- 0.2655	1.2855	- 0.1761
9	Plantas invasoras	6.5577	1.5123	8.5545	- 4.9416
10	Mortalidad de plantas	- 0.3879	- 0.2815	-	-
11	Tasa de infiltración	- 99.3187	- 3.4675	-	-
12	Materia orgánica	4.6802	0.9057	-	-
13	Densidad aparente	153.3454	68.7859	562.1927	596.3019
14	Cobertura basal de musgo y liquen	6.4690	- 12.1129	-	-
15	Cobertura aérea de gramínea importante	- 1.4568	- 0.3845	-	-
16	Vigor de gramínea importante	4.5594	4.5594	-	-

*Estado de salud de referencia = Saludable

4.4. Validación y Comparación de Funciones

Después de obtener las cinco funciones para estimar el estado de salud del pastizal y procesar la matriz de confusión, se obtuvo la tasa de buena clasificación (TBC) de la estimación de los sitios que fueron empleados en la fase de entrenamiento. Las tasas de buena clasificación de las funciones estimadas por el análisis discriminante lineal fueron 89, 91 y 95 por ciento por el criterio de Lambda de Wilks, librería Boruta y el uso de las variables completas (que obtuvo el valor más alto), respectivamente. Entre los modelos estimados por el análisis de regresión logística multinomial se obtuvo la tasa de 100 por ciento, tanto en el criterio de Selección hacia atrás (*Backward*) y cuando se usaron se todas las variables. A pesar de la totalidad de buena clasificación de los modelos estimados por la regresión logística multinomial, hay una suposición de sobreestimación (Tabla 23).

Tabla 23: Resumen de estado de salud predicho – Fase de entrenamiento

	Análisis Discriminante Lineal			Análisis Regresión Logística Multinomial	
	Criterio: Lambda de Wilks	Criterio: Librería Boruta	Variables Completas	Criterio: Selección hacia atrás (<i>Backward</i>)	Variables Completas
Tasa de Buena Clasificación	89%	91%	95%	100%	100%
Número de casos*	39	40	42	44	44

*Con respecto a los 44 empleados en la fase de entrenamiento

En la Tabla 24 se presentan los valores de la tasa de buena clasificación de sitios que formaron parte de la etapa de validación en la que tenían a especies de gramíneas dentro del género *Festuca* como planta importante, al igual que los sitios que fueron incluidos en la fase de entrenamiento. La tasa de buena clasificación de las funciones estimadas por el análisis discriminante lineal fue 70 por ciento en los tres modelos. Mientras que en los modelos estimados por el análisis de regresión logística multinomial se alcanzaron las tasas de 70 y 80 por ciento en el criterio de Selección hacia atrás (*Backward*) y en caso de las variables completas (tasa más alta entre todos los modelos). A diferencia de los valores obtenidos en la fase de entrenamiento, las tasas del análisis de regresión logística multinomial se consideraron como más reales.

Tabla 24: Resumen de estado de salud predicho – Fase de validación (género *Festuca*)

	Análisis Discriminante Lineal			Análisis Regresión Logística Multinomial	
	Criterio: Lambda de Wilks	Criterio: Librería Boruta	Variables Completas	Criterio: Selección hacia atrás (<i>Backward</i>)	Variables Completas
Tasa de Buena Clasificación	70%	70%	70%	70%	80%
Número de casos*	7	7	7	7	8

*Con respecto a los 10 empleados en la fase de validación (género *Festuca*)

En la Tabla 25 se muestran los resultados de la tasa de buena clasificación de sitios empleados en la fase de validación en la que se usaron pastizales que tuvieron como gramínea importante a gramíneas de diferente género al de *Festuca*. La tasa de buena clasificación de las funciones estimadas por el análisis discriminante lineal fue 50 por ciento por el criterio de Lambda de Wilks y 83 por ciento con la librería Boruta y uso de las variables completas (ambos obtuvieron los valores más altos). Entre los modelos estimados por el análisis de regresión logística multinomial se obtuvo la tasa de 67 por ciento, tanto en el criterio de Selección hacia atrás (*Backward*) y cuando se usaron se usaron todas las variables.

Tabla 25: Resumen de estado de salud predicho – Fase de validación (otras especies)

	Análisis Discriminante Lineal			Análisis Regresión Logística Multinomial	
	Criterio: Lambda de Wilks	Criterio: Librería Boruta	Variables Completas	Criterio: Selección hacia atrás (<i>Backward</i>)	Variables Completas
Tasa de Buena Clasificación	50%	83%	83%	67%	67%
Número de casos*	3	5	5	4	4

*Con respecto a los 6 empleados en la fase de validación (otros géneros)

4.5. Análisis de la Función Seleccionada

En vista de estos resultados (Tabla 23, 24 y 25), se eligió como mejor modelo al estimado por el análisis discriminante lineal que consideró a todas variables independientes dentro de la función ya que obtuvo las tasas de buena clasificación más altas y aceptables, tanto en la fase de entrenamiento como en las de validación. En la Tabla 26 se indicó cuáles variables de este modelo estaban relacionadas con las del método Pyke o Estado de Salud del Pastizal – IIRH, señalando aquellas que tenían una relación e influencia fuerte entre sí o que se repetía la variable en ambos casos mediante una “X” en negrita.

De acuerdo con Bryan (1987) y Quansah (1985) que fueron citados por Pellant *et al.*, (2005), parte del potencial de que se genere *erosión por surcos* (variable 1 del método Pyke o Estado de Salud del Pastizal – IIRH) va a depender, además del grado del grado de inclinación de la pendiente, también del grado de perturbación refiriéndose a la pérdida de cobertura. Lo cual se relaciona en la Tabla 26 con la disminución de la *cobertura basal de la vegetación, mantillo, musgo y líquenes* (variables consideradas de mayor influencia) y la cantidad de *mantillo* (variables 1, 7, 15 y 10 respectivamente, del modelo obtenido). Por otro lado, también se relacionó con el incremento de la *cobertura basal de suelo desnudo y pavimento de erosión* (variables 2 y 3 respectivamente, del modelo obtenido).

Tabla 26: Variables del modelo elegido y su relación con las variables del método Pyke o Estado de Salud del Pastizal - IIRH

		Variables de Método Pyke o Estado de Salud del Pastizal (IIRH)																
		1. Erosión por surcos	2. Patrones de flujo de agua	3. Plantas en pedestal	4. Suelo desnudo	5. Cárcavas	6. Áreas que han sido limpiadas/ depositadas por el viento	7. Movimiento de mantillo	8. Resistencia de la superficie del suelo a erosión	9. Pérdida del suelo o degradación	10. Composición de la comunidad de plantas y distribución relativa de la infiltración y escorrentía	11. Capa de compactación	12. Grupos funcionales o estructurales	13. Mortalidad de plantas	14. Cantidad de mantillo	15. Producción anual	16. Plantas invasoras	17. Capacidad reproductiva de las plantas perennes
Variables Independientes Modelo	1. Cobertura b. de vegetación	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X						
	2. Cob. basal suelo desnudo	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X							
	3. Cob. basal pavimento de erosión	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X							
	4. Vigor de gramínea imp				X	X		X							X		X	
	5. Densidad aparente								X	X	X	X						
	6. Cob. aérea gramínea imp			X		X	X	X	X	X								
	7. Cob. basal de mantillo	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X						
	8. Biomasa aérea						X	X	X	X		X			X	X		
	9. Materia orgánica									X	X	X						
	10. Mantillo	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X			
	11. Plantas invasoras																X	X
	12. Mortalidad de plantas		X	X	X						X			X				X
	13. Diversid. g. funcionales							X			X		X				X	
	14. Diversid. p. perennes		X	X	X		X	X	X	X	X	X	X				X	
	15. Cob. basal musgo y liq.	X	X	X	X					X	X	X						
	16. Tasa de infiltración		X	X				X		X	X	X						

Sobre los *patrones de flujo de agua* (variable 2 del método Pyke o Estado de Salud del Pastizal – IIRH), Pellant *et al.*, (2005) menciona que la longitud y amplitud de estos son inducidas por el tipo de obstrucciones que puedan encontrar en su camino y que pueden ser plantas vivas o muertas, corteza biológica, mantillo persistente y roca, al interceptarlas en su base (ras de suelo). Además, suelos que tengan baja capacidad de infiltración puede que tengan un alto número de flujos de agua en la superficie. En base a esto, el control sobre los patrones de flujo de agua se relacionó con el incremento de la *cobertura basal de la vegetación, mantillo, musgo y líquenes* (variables consideradas de mayor influencia) y la cantidad de *mantillo* (variables 1, 7, 15 y 10 respectivamente, del modelo obtenido). También fue relacionado, con la *tasa de infiltración, mortalidad de plantas*, e índice de *diversidad de plantas perennes* (variables 16, 12 y 14 respectivamente, del modelo obtenido). En la contraparte, se vinculó a la *cobertura basal de suelo desnudo y pavimento de erosión* (variables 2 y 3 respectivamente, del modelo obtenido) al contribuir a su presencia (Tabla 26).

Plantas en pedestal es la variable 3 del método Pyke o Estado de Salud del Pastizal – IIRH y según Pellant *et al.*, (2005) es un indicador del desplazamiento del suelo a causa del agua y/o viento, por lo que se forman los pedestales de agua y roca. En el caso de los *terraces*, es producido por movimiento del agua más no del viento. Entonces, se relacionó el control de esta variable con el incremento de la *cobertura basal de la vegetación, mantillo, musgo y líquenes, cobertura aérea de gramínea importante* (variables consideradas de mayor influencia), *tasa de infiltración*, cantidad de *mantillo, mortalidad de plantas y diversidad de plantas perennes* (variables 1, 7, 15, 6, 16, 10, 12 y 14 respectivamente, del modelo obtenido). Mientras que la *cobertura basal de suelo desnudo y pavimento de erosión* (variables 2 y 3 respectivamente, del modelo obtenido) favorecen su presencia (Tabla 26).

Según Smith y Wischmeier (1962), Morgan (1986), Benkobi, *et al.* (1993), Blackburn y Pierson (1994), Pierson *et al.* (1994), Gutierrez y Hernandez (1996) y Cerda (1999) que fueron citados por Pellant *et al.*, (2005) al asegurar que el *suelo desnudo* (variable 4 del método Pyke o Estado de Salud del Pastizal – IIRH) es un indicador de la susceptibilidad del sitio a la erosión acelerada del viento y agua. El modelo estimado incluyó a la misma variable y más allá de eso, fue relacionado también a otras variables como *cobertura basal de la vegetación, mantillo, musgo y líquenes, cobertura aérea de gramínea importante*

(variables consideradas de mayor influencia), *tasa de infiltración*, cantidad de *mantillo*, *mortalidad de plantas y diversidad de plantas perennes* (variables 1, 7, 15, 6, 16, 10, 12 y 14 respectivamente, del modelo obtenido). Mientras que la *cobertura basal de pavimento de erosión* (variable 3 del modelo obtenido) contribuye a su presencia (Tabla 26).

Según Morgan, (1986) citado por Pellant *et al.*, (2005), las *cárcavas* (variable 5 del método Pyke o Estado de Salud del Pastizal – IIRH) son originadas por el agua en movimiento a través de flujo acelerados, siguiendo comúnmente trechos naturales de drenaje. Frente a esto, para la regulación de la formación de *cárcavas*, se relacionó a *cobertura basal de la vegetación, mantillo, musgo y líquenes*, (variables consideradas de mayor influencia), *tasa de infiltración*, cantidad de *mantillo*, *mortalidad de plantas y diversidad de plantas perennes* (variables 1, 7, 15, 16, 10, 12 y 14 respectivamente, del modelo obtenido). Por otro lado, la *cobertura basal de suelo desnudo y pavimento de erosión* (variables 2 y 3 respectivamente, del modelo obtenido) proveen las condiciones para su formación (Tabla 26).

Áreas que han sido limpiadas/depositadas por el viento (variable 6 del método Pyke o Estado de Salud del Pastizal – IIRH) son superficies del suelo afectadas por la erosión eólica por estar expuestas o que su cobertura física, química o biológica se ha visto deteriorada por alguna perturbación o abrasión (Chepil y Woodruff, 1963 citado por Pellant *et al.*, (2005). En vista de estas razones, se relacionó con las variables *cobertura aérea de la gramínea importante, cobertura basal de la vegetación, mantillo*, (variables consideradas de mayor influencia), cantidad de *mantillo y biomasa, mortalidad de plantas y diversidad de plantas perennes* (variables 6, 1, 7, 10, 8, 12 y 14 respectivamente, del modelo obtenido). Por otro lado, la *cobertura basal de suelo desnudo y pavimento de erosión* (variables 2 y 3 respectivamente, del modelo obtenido) proveen las condiciones para su formación (Tabla 26).

De acuerdo con Thurow *et al.*, (1988) citado por Pellant *et al.*, (2005), el grado y cantidad del *mantillo* en movimiento (variable 7 del método Pyke o Estado de Salud del Pastizal – IIRH) es un indicador del grado de erosión del agua y/o viento. Entonces, para controlarlo se le relacionó con la *cobertura aérea de la gramínea importante, cobertura basal de la vegetación* (variables consideradas de mayor influencia), cantidad de *mantillo y biomasa, vigor de la gramínea importante, diversidad de plantas perennes y grupos funcionales y*

tasa de infiltración (variables 6, 1, 7, 8, 10, 4, 13, 14 y 16 respectivamente, del modelo obtenido). Por otro lado, la *cobertura basal de suelo desnudo y pavimento de erosión* (variables 2 y 3 respectivamente, del modelo obtenido) facilitan las condiciones para que se presente el movimiento de mantillo (Tabla 26).

La resistencia de la superficie del suelo a la erosión (variable 8 del método Pyke o Estado de Salud del Pastizal – IIRH) va a depender de la estabilidad de la estructura del suelo en la superficie según Morgan (1986) citado por Pellant *et al.*, (2005) y que la pueden conferir la materia orgánica del suelo y la corteza biológica, física y química. Por ello, las variables a las cuales se relaciona y la favorecen son *cobertura basal de la vegetación, mantillo, musgo y líquenes, cobertura aérea de gramínea importante, materia orgánica* (variables consideradas de mayor influencia), *densidad aparente, cantidad de mantillo y biomasa, mortalidad de plantas y diversidad de plantas perennes* (variables 1, 7, 15, 6, 9, 5, 10, 12 y 14 respectivamente, del modelo obtenido). Mientras que la *cobertura basal de pavimento de erosión* (variable 3 del modelo obtenido) perjudican a esta variable (Tabla 26).

Sobre la *pérdida del suelo o degradación* (variable 9 del método Pyke o Estado de Salud del Pastizal – IIRH), Doorman y Willms (1998) y Warren *et al.*, (1986) citados por Pellant *et al.*, (2005) mencionan que los principales indicadores para evaluar esta variable son contenido de materia orgánica y la estructura del suelo. Las variables del modelo estimado con las que se relacionó fueron *materia orgánica, densidad aparente* (variables consideradas de mayor influencia), *cobertura aérea de gramínea importante, cobertura basal de vegetación, mantillo y musgo y liquen, cantidad de mantillo y biomasa aérea, diversidad de plantas perennes y tasa de infiltración* (variables 9, 5, 6, 1, 7, 15, 10, 8, 14 y 16 respectivamente, del modelo obtenido). También se relacionó a las variables *cobertura basal de suelo desnudo y pavimento de erosión* (variables 2 y 3 respectivamente, del modelo obtenido) que proveen las condiciones para que se agrave su manifestación (Tabla 26).

De acuerdo con Pellant *et al.*, (2005) sobre la variable 10 del método Pyke o Estado de Salud del Pastizal – IIRH, los cambios en la *composición de la comunidad de plantas* y la distribución de especies puede afectar la captura y almacenamiento de la precipitación. Además, la *distribución relativa de la infiltración y escorrentía* se ve afectada por los patrones de enraizamiento de las plantas, producción de mantillo, procesos de

descomposición asociados, el área basal de plantas y su distribución espacial. Por eso, se relacionó con las variables *cobertura basal de la vegetación, mantillo, musgo y líquenes, diversidad de grupos funcionales, diversidad de plantas perennes y tasa de infiltración* (variables consideradas de mayor influencia), *densidad aparente, materia orgánica, cantidad de mantillo* (variables 1, 7, 15, 13, 14, 16, 5, 9 y 10 respectivamente, del modelo obtenido). Mientras se relacionó a las variables *cobertura basal de suelo desnudo y pavimento de erosión* (variables 2 y 3 respectivamente, del modelo obtenido) que alterarían la presentación de esta variable (Tabla 26).

La evaluación de la *capa de compactación* (variable 11 del método Pyke o Estado de Salud del Pastizal – IIRH) se realiza mediante la excavación de un agujero de máxima profundidad de 30 centímetros para analizar la estructura del suelo y morfología de las raíces (Barnes *et al.* 1971 citado por Pellant *et al.*, (2005). En vista de ello, se relacionó con la variable *densidad aparente, cobertura basal de la vegetación, mantillo, musgo y líquenes* (variables consideradas de mayor influencia), *cantidad de mantillo y biomasa, diversidad de plantas perennes y tasa de infiltración* (variables 5, 1, 7, 15, 10, 8, 14, 16 respectivamente, del modelo obtenido). Además, las variables *cobertura basal de suelo desnudo y pavimento de erosión* (variables 2 y 3 respectivamente, del modelo obtenido) que contribuirían al agravamiento de su presentación (Tabla 26).

De acuerdo con Pellant *et al.*, (2005), para evaluar el potencial de *grupos funcionales o estructurales* (variable 12 del método Pyke o Estado de Salud del Pastizal – IIRH) de la vegetación es necesario agrupar a las especies correctamente según el ranking general elaborado para el área en estado de referencia, la cual se encuentra en un régimen de perturbación natural y variabilidad climática dentro de lo normal. La relativa dominancia de cada grupo funcional/estructural está basada en la relativa producción anual, biomasa o cobertura relativa. Entonces, las variables del modelo obtenido que se relacionaron fueron *diversidad de grupos funcionales y plantas perennes* (variables consideradas de mayor influencia) y *cobertura basal de la vegetación* (variable 1 del modelo obtenido). A pesar de que Pellant *et al.* sugieren la inclusión de musgos y líquenes, solo fueron incluidos datos de plantas vasculares (Tabla 26).

La *mortalidad de plantas* (variable 13 del método Pyke o Estado de Salud del Pastizal – IIRH) es la proporción muerta o decadente de la planta (pueden ser jóvenes o adultas) de

origen nativo, según lo expresado por Pellant *et al.* (2005). La variable del modelo estimado que se le relacionó fue mortalidad de plantas (variable 12) (Tabla 26).

De acuerdo con Whitford (1988, 1996) citado por Pellant *et al.* (2005), la *cantidad de mantillo* (variable 14 del método Pyke o Estado de Salud del Pastizal – IIRH) es cualquier resto botánico muerto, pudiendo ser de plantas nativas o exóticas, que este en la superficie del suelo sin considerar con los restos muertos en pie. Pellant *et al.* (2005) agrega que está relacionado al clima y al grado de uso de la biomasa cada año. Se le relacionó con las variables cantidad de mantillo y biomasa (variables 10 y 8 respectivamente, del modelo obtenido) (Tabla 26).

Según Pellant *et al.* (2005), la *producción anual* (variable 15 del método Pyke o Estado de Salud del Pastizal – IIRH) es la cantidad neta de materia orgánica producida por plantas vasculares sobre la superficie del suelo (considerado por Pellant *et al.*) durante un año. Pellant *et al.* también mencionan que solo se considera tejido vivo (no tallos leñosos) producido en el presente año. A diferencia de esta variable, el modelo estimado considera a la *biomasa aérea* y al *vigor de la gramínea importante* (variables 8 y 4 respectivamente, del modelo obtenido) (Tabla 26).

Las *plantas invasoras* (variable 16 del método Pyke o Estado de Salud del Pastizal – IIRH) deben ser evaluadas mediante la comparación de estado actual con el potencial proporcionado por el área de referencia para el sitio. Otras fuentes de información serían registros históricos y fotografías para conocer la distribución histórica de plantas invasivas nativas (Pellant *et al.*, 2005). El modelo estimado también incluye una variable llamada plantas invasoras (variable 11 del modelo obtenido) y que podría complementarse con las variables *diversidad de plantas perennes* y *grupos funcionales* (variables 14 y 13 respectivamente, del modelo obtenido) (Tabla 26).

La última variable del método Pyke o Estado de Salud del Pastizal – IIRH es *capacidad reproductiva de las plantas perennes* (variable 17). Pellant *et al.* (2005) expresa que la evaluación de la producción de inflorescencia es la medida básica del potencial reproductivo de plantas que se reproducen sexualmente, mientras, la producción de clones (esquejes, brote), para lo de reproducción vegetativa. La producción de semillas se relaciona con el vigor, ya que las plantas saludables son más factibles en producir

cantidades adecuadas de semillas viables, comparadas a plantas bajo estrés (Hanson y Stoddart, 1940 citado por Pellant *et al.*, 2005). En base a esto, el modelo generado consideró a la variable *vigor* (variable 4) como la más influyente para la variable Pyke. También se relacionó a la variable *plantas invasoras* (variable 11 del modelo obtenido), ya que la evaluación de la variable Pyke no incluye a plantas invasoras. Además, la evaluación de la *mortalidad de plantas* (variable 12 del modelo obtenido), permite tener una idea de la dinámica de la población. Asimismo, al momento de hacer la evaluación visual de la *mortalidad de plantas*, se debe distinguir también la porción verde y amarilla de la planta, permitiendo en el proceso el reconocimiento del estado de las inflorescencias (Tabla 26).

Con respecto a los resultados de los indicadores obtenidos a partir de la matriz de confusión del modelo seleccionado (Anexo 69), a partir de los datos de la fase de entrenamiento, la sensibilidad del modelo para estimar los estados de salud se encontró en un rango de 100 a 94 por ciento (siendo en *no saludable* la tasa más alta) y la precisión o valor predictivo positivo estuvo entre 100 y 94 por ciento (siendo en *no saludable* la tasa más alta). Por otro lado, la especificidad estuvo entre 100 y 96 por ciento (siendo en *no saludable* la tasa más alta) y el valor predictivo negativo, entre 100 y 96 por ciento (siendo en *no saludable* la tasa más alta).

De los resultados del Anexo 70, obtenidos a partir de la matriz de confusión de los datos de la fase de validación con sitios con comunidades del género *Festuca*, la sensibilidad del modelo para estimar los estados de salud fue de 100 por ciento para el estado *riesgo* (no hubo predichos *no saludable* ni *saludable*) y la precisión o valor predictivo positivo para el estado *riesgo* fue de 80 por ciento. Mientras, la especificidad fue 100 por ciento para *no saludable* y *saludable*, y el valor predictivo negativo, entre 100 y 80 por ciento (siendo en *no saludable* la tasa más alta).

En base a los resultados del Anexo 72, obtenidos a partir de la matriz de confusión de los datos de la fase de validación con sitios con comunidades de gramíneas diferentes al género *Festuca*, la sensibilidad del modelo para estimar los estados de salud fue de 100 por ciento para el estado *riesgo* (no hubo predichos *no saludable* ni *saludable*) y la precisión o valor predictivo positivo para el estado *riesgo* fue de 67 por ciento. En la contraparte, la

especificidad fue 100 por ciento para no *saludable* y *saludable*, y el valor predictivo negativo, entre 100 y 67 por ciento (siendo en *no saludable* la tasa más alta).

Si bien no hubo mucha diferencia entre el número de casos que tuvieron buena clasificación (Tabla 23, 24 y 25), lo cual podría dar una idea de poder optar por los otros modelos estimados en el análisis discriminante. No obstante, un sitio ecológico representa decenas de hectáreas de pastizales que de no recibir el manejo adecuado acorde a su estado de salud, puede significar amplias pérdidas económicas para dueño de las tierras, y que además significaría el debilitamiento de las posibilidades de esas áreas para afrontar condiciones ambientales propias del lugar y climáticas a futuro. Es por ello, la necesidad de elegir el modelo que provea estimaciones del estado de salud con mayor exactitud.

V. CONCLUSIONES

- 1 Las variables más sensibles a los cambios de estado de salud del pastizal y, a la vez, de mayor influencia en la predictibilidad del modelo generado mediante el análisis discriminante lineal fueron, de acuerdo con el orden de relevancia, cobertura basal de vegetación, pavimento de erosión y suelo desnudo.
- 2 El método Pyke o Estado de Salud del Pastizal – IIRH permite estimar con precisión el estado de los procesos ecológicos, no obstante, no es el adecuado para estimar la tendencia ya que siendo subjetiva su evaluación, cuenta con la característica inherente de estar sujeto a variaciones asociadas al entrenamiento del evaluador.
- 3 Las técnicas multivariadas, de naturaleza cuantitativa, confieren la posibilidad de estimar la tendencia en un enfoque ecológico, y por consiguiente, deberían emplearse en combinación con el método Pyke o Estado de Salud del Pastizal – IIRH para obtener una medida más completa del estado de salud de los ecosistemas de altoandinos.

VI. RECOMENDACIONES

- 1 Estudiar el rol que podrían jugar las diversas técnicas multivariadas de dependencia e interdependencia, tales como el método clúster y análisis de variancia multivariado respectivamente, en un acercamiento a la estimación de los umbrales bióticos y abióticos.
- 2 Complementar la rigurosidad de la validación del modelo generado en pajonales de variados ecosistemas y considerar su adaptación en el uso de otros tipos de vegetación para fortalecerlo como una herramienta versátil, semejante al método Pyke o Estado de Salud del Pastizal – IIRH.
- 3 Evaluar el costo – eficiencia del uso en conjunto del método Pyke o Estado de Salud del Pastizal – IIRH con el modelo generado mediante el análisis discriminante y contrastarlo con posibles combinaciones a partir de otros modelos elaborados con técnicas multivariadas alternativas.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **Ahmadpour, A; Heshmati, G; Joolaie, R.** 2017. A conceptual model on relationship between structure and functions in rangeland ecosystems. *Rangeland Science*. 7(3): 242-252.
2. **Aldás, J; Uriel, E.** 2017. Análisis multivariante aplicado con R. Ediciones Paraninfo S.A. Segunda edición. Madrid,Es. 682 pp.
3. **Allen, VG; Batello, C; Berretta, EJ; Hodgson, J; Kothmann, M; Li, X; McIvor, J; Milne, J; Morris, C; Peeters, A; Sanderson, M.** 2011. An international terminology for grazing lands and grazing animals. *Grass and Forage Science*. 66: 2 – 28.
4. **Angerer, JP; Fox, WE; Wolfe, JE.** 2016. Biological and environmental hazards, risks, and disasters: Land degradation in rangeland ecosystems. Elsevier Inc. Texas, US. pp. 277 – 311.
5. **Archer, S; Schimel, DS; Holland, EA.** 1995. Mechanisms of shrubland expansion: land use, climate or CO₂?. *Climatic Change*. 29(1): 91-99.
6. **Archer, S; Olafur, A.** 2000. Rangeland desertification. Kluwer Academic Publishers. First Edition. 212 pp.
7. **Bansal, S; Sheley, R; Blank, B; Vásquez, E.** 2014. Plant litter effects on soil nutrient availability and vegetation dynamics: changes that occur when annual grasses invade shrub-steppe communities. *Plant Ecology*. 215(3): 367-378.
8. **Barbour, MG; Burk, JH; Pitts, WD; Gilliam, FS; Schwartz, MW.** 1999. Terrestrial plant ecology: Chapter 9 Methods of sampling the plant community. Addison Wesley Longman, Inc. Tercera edición. 30 pp.

9. **Barnes TG; Heitschmidt, RK; Varner, LW.** 1991. *Grazing Management: An Ecological Perspective*. Wildlife International. Timber Press, Incorporated. Texas, US. 264 pp.
10. **Bedell, TE; Cox, KT.** 1994. *Monitoring Bureau of Land Management Rangelands*. Oregon State University Extension Service. pp. 25 - 35
11. **Beleites, C; Salzer, R; Sergo, V.** 2013. Validation of soft classification models using partial class memberships: An extended concept of sensitivity & co. applied to grading of astrocytoma tissues. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*. Elsevier B.V. 122: 12 - 22.
12. **Birhane, E; Treydte, AC; Eshete, A; Solomon, N; Haileariam; M.** 2017. Can rangelands gain from bush encroachment? Carbon stocks of communal grazing lands invaded by *Prosopis juliflora*. *Journal of Arid Environments*. Elsevier Ltd, 141, pp. 60-67.
13. **Bonham, CD.** 2013. *Measurements for terrestrial vegetation*. Wiley – Blackell. Segunda edición. 260 pp.
14. **Bouwer, H.** 1986. *Methods of Soil Analysis. Part I. Physical and Mineralogical Methods: Cylinder Infiltrometer*. Second Edition. Wisconsin, US. 825 – 844 pp.
15. **Briske, DD; Fuhlendorf, SD; Smeins, FE.** 2003. Vegetation dynamics on rangelands : A critique of the currect paradigms. *Applied Ecology*. 40(4): 601-614.
16. **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.
17. **Briske, DD; Bestelmeyer, BT; Stringham, TK; Shaver, PL.** 2008. Recommendations for Development of Resilience-Based State-and-Transition Models. *Rangeland Ecology & Management*, 61(4):359-367.
18. **Briske, DD.** 2017. *Rangeland Systems: Processes, management and challenges*.

Springer Series on Environmental Management. Texas, US. 664 pp.

19. **Cabrejo, C.** 2017. Evaluación de metodologías para estimar la condición y tendencia de pastizales alto andinos. Tesis Ing. Zootecnista. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima – Perú.
20. **Casas, C; Ninot, JM.** 2002. Biomasa aérea y producción primaria de pastizales submediterráneos en la Plana de Vic (Cataluña). XLII Reunión Científica de la SEEP. 631 pp.
21. **Chapin III, SF; Matson, PA; Mooney, HA.** 2002. Principles of terrestrial ecosystem ecology. Springer - Verlag. New York, US. 398 pp.
22. **Clements, FE.** 1917. Plant succession: an analysis of the development of vegetation. Science. 45(1162): 339-341.
23. **Coulloudon, B; Eshelman, K; Gianola, J; Habich, N; Hughes, L; Johnson, C; Pellant, M; Podborny, P; Rasmussen, A; Robles, B; Shaver, Pat; Spehar, J; Willoughby, J.** 1996. Sampling vegetation attributes: Interagency Technical Reference. BLM Technical Reference. Colorado, US. 163 pp.
24. **Damdinsuren, B; Herrick, JE; Pyke, DA; Bestelmeyer, BT; Havstad, KM.** 2008. Is rangeland health relevant to Mongolia?. Rangelands. 30(4). pp. 25-29.
25. **Dyksterhuis, EJ.** 1949. Condition and management of range land based on quantitative ecology. Journal of Range Management. 2: 104 – 115
26. **Facelli, JM; Pickett, STA.** 1991. Plant litter: its dynamics and effects on plant community structure. Botanical Review. 57(1): 1 - 32.
27. **FAO (Food and Agriculture Organization).** 2006. Conservación de los recursos naturales para una agricultura sostenible: Materia orgánica y actividad biológica. Fertilidad de Suelo. 28 pp.
28. **Flores, E.** 2014. Marco conceptual y metodológico para estimar el estado de salud de

los bofedales. Ministerio del Ambiente. 12 pp.

29. **Fraser, GW; Stone, GS.** 2016. The effect of soil and pasture attributes on rangeland infiltration rates in northern Australia. *Rangeland Journal*. 38(3): 245-259.
30. **Hair, JF; Anderson, RE; Tatham, RL; Black, WC.** 1999. *Análisis Multivariante*. Prentice Hall Iberia. Quinta edición. Madrid, ES. 832 pp.
31. **Hibbard, KA; Archer, S; Schimel, DS; Valentine, DW.** 2001. Biogeochemical changes accompanying woody plant encroachment in a subtropical savanna. *Ecology*. 82(7): 1999 -2011.
32. **Holechek, JL; Pieper, RD; Herbel, CH.** 1995. *Range management: Principles and practices*. Pearson. Second Edition. New Mexico, US. 526 pp.
33. **IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change).** 2013. *Climate Change 2013: The physical science basis*. Cambridge University Press. 1535 pp.
34. **Kent, M; Paddy C.** 2011. *Vegetation description and data analysis: a practical approach*. John Wiley & Sons. Second edition. 428 pp.
35. **King, EG; Hobbs, RJ.** 2006. Identifying linkages among conceptual models of ecosystem degradation and restoration: Towards an integrative framework. *Restoration Ecology*. 14(3): 369 - 378.
36. **Kursa, MB; Rudnicki, WR.** 2010. Feature selection with the Boruta package. *Journal of Statistical Software*. 36(11): 1 – 13.
37. **Lawley, V; Lewis, M; Clarke, K; Ostendorf, B.** 2016. Site-based and remote sensing methods for monitoring indicators of vegetation condition: An Australian review. *Ecological Indicators*. Elsevier Ltd. p. 1273 – 1283.
38. **LEUP (Laboratorio de Ecología y Utilización de Pastizales, PE).** 2013. *Guía Metodológica para la Evaluación de Pastizales – Documento Interno*. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima- Perú.

39. **Leys, JF; Eldridge, DJ.** 1998. Influence of cryptogamic crust disturbance to wind erosion on sand and loam rangeland soils. *Earth Surface Processes and Landforms.* 23(11): 963-974.
40. **Liu, F; Archer, SR; Gelwick, F; Bai, E; Boutton, TW; Wu, XB.** 2013. Woody plant encroachment into grasslands: Spatial patterns of functional group distribution and community development. *Plos One.* 8(12): 1 – 13.
41. **Lohani, S; Heilman, P; Edward de Steiguer, J; Philip Guertin, D.** 2016. Linking ecosystem services with state – and - transition models to evaluate rangeland management decisions. *Global Ecology and Conservation.* Elsevier B.V. 8. 58-70 pp.
42. **Lowdermilk, W; Sundling, H.** 1950. Erosion pavement, its formation and significance. *Transactions American Geophysical Union.* 31(1): 96 - 100.
43. **McGranahan, DA; Engle, DM; Fuhlendorf, SD; Miller, JR; Debinski, DM.** 2013. Multivariate analysis of rangeland vegetation and soil organic carbon describes degradation, informs restoration and conservation. *Land.* 2(3): 328 - 350.
44. **Milton, SJ; Dean, R.; Du Plessis, M; Siegfried WR.** 1994. A conceptual model of arid rangeland degradation: the escalating cost of declining productivity. *Bioscience.* 44: 70 – 76.
45. **Milton, SJ; Dean R.; Ellis, RP.** 1998. Rangeland health assessment: a practical guide for ranchers in arid Karoo shrublands. *Journal of Arid Environments.* 39: 253 – 265.
46. **Mitchell, JE.** 2010. Criteria and indicators of sustainable rangeland management. University of Wyoming. Wyoming, US. 227 pp.
47. **MINAM (Ministerio del Ambiente).** 2014. Ley De Mecanismos De Retribución Por Servicios Ecosistémicos. *El Peruano.* 10p.
48. **Mosley, JC; Bunting, SC; Hironaka, M.** 1986. Determining range condition from frequency data in mountain meadows of central Idaho. *Journal of Range Management.*

36(6): 561 - 565.

49. **Mostacedo, B; Fredericksen, TS.** 2000. Métodos Básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal. Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (BOLFOR). Santa Cruz de la Sierra, BO. 92 pp.
50. **Muir, S; McClaran, M.** 1997. Rangeland inventory, monitoring, and evaluation (en línea). Consultado 18 octubre 2019. Disponible en: <http://globalrangelands.org/inventorymonitoring>.
51. **Mulholland, B; Fullen, MA.** 1991. Cattle trampling and soil compaction on loamy sands. *Soil Use and Management*. 7(4): 189-193.
52. **NRC (National Research Council, Committee on Rangeland Classification, US).** 1994. Rangeland health: new methods to classify, inventory, and monitor rangelands. National Academy Press. Washington D.C., US. 201 pp.
53. **NRCS (Natural Resources Conservation Service, US).** 2001. Rangeland soil quality: Infiltration. USDA Rangeland Sheet – Soil Quality Information Sheet. 2 p.
54. **Odum, E; Warrett, G.** 2006. Fundamentos de ecología. International Thomson Editores, S. A. de C. V. Quinta edición. D. F., MX. 614 pp.
55. **Oomen, R J; Ewert, F; Snyman, HA.** 2016. Modelling rangeland productivity in response to degradation in a semi-arid climate. *Ecological Modelling*. Elsevier B.V. 322: 54-70.
56. **Pamo, E. T., Pieper, R. D. and Beck, R. F. (1991)** ‘Range Condition Analysis: Comparison of 2 Methods in Southern New Mexico Desert Grasslands’, *Journal of Range Management*, 44(4), p. 374.
57. **Parker, KW.** 1950. Application of ecology in the determination of range condition and trend. *Journal of Range Management*. 7(1): 14–23.

58. **Pellant, M; Herrick, JE; Shaver, P; Busby, F; Pyke, DA.** 2008. A rapid assessment technique to evaluate rangeland health. Multifunctional Grasslands in a Changing World. XXI IGC/ VIII IRC Congress. Hohhot, CN. v. 1. 586 pp.
59. **Pellant, M; Pyke, DA; Shaver, PL; Herrick JE.** 2005. Interpreting indicators of rangeland health, version 4. Technical Reference 1734 - 6. U.S. Department of the Interior, Bureau of Land Management, National Science and Technology Center. Denver, Co, US. 122 pp.
60. **Peña, D.** 2002. Análisis de datos multivariantes. Universidad Carlos III de Madrid. Madrid, Es. 516 pp.
61. **Pérez, C.** 2004. Técnicas de análisis multivariante de datos. Pearson Prentice Hall. Madrid, Es. 672 pp.
62. **Peters, DPC; Bestelmeyer, BT; Havstad, KM; Rango, A; Archer, SR; Comrie, AC; Gimblett, HR; López – Hoffman, L; Sala, OE; Vivoni, ML; Brooks, ML; Brown, J; Monger, HC; Goldstein, JH; Okin, GS; Tweedie, CE.** 2013. Desertification of rangelands. Climate vulnerability: Understanding and addressing threats to essential resources. Elsevier Inc. 239 – 258 pp.
63. **Pimentel, D; Kounang, N.** 1998. Ecology of soil erosion in ecosystems. *Ecosystems*. 1(5): 416 - 426.
64. **Pillaca, S.** 2008. Impacto del manejo de vicuñas en cautiverio sobre la condición, tendencia y producción del pastizal. Tesis Mg. Sc. Producción Animal, Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima- Perú.
65. **Pla, L.** 2006. Biodiversidad: Inferencia basada en el índice de shannon y riqueza. *Interciencia*. v. 31, p. 583-590
66. **Porta, J; López – Acevedo, M; Poch, RM.** 2008. Introducción a la Edafología: uso y protección del suelo. Ediciones Mundi – Prensa. Madrid, ES. 451 p.
67. **Porzig, EL; Seavy, NE; Owens, BE; Gardali, T.** 2018. Field evaluation of a simple

- infiltration test and its relationship with bulk density and soil organic carbon in California rangelands. *Journal of Soil and Water Conservation*. 73(2): 200-206.
68. **Printz, JL; Toledo, D; Boltz, SC.** 2014. Rangeland health assessment: The key to understanding and assessing rangeland soil health in the Northern Great Plains. *Journal of Soil and Water Conservation*. 69(3): 73 -77.
69. **Pulido, M; Schnabel, S; Lavado, JF; Lozano - Parra, J; Gómez - Gutiérrez, Á.** 2017. Selecting indicators for assessing soil quality and degradation in rangelands of Extremadura (SW Spain). *Ecological Indicators*. Elsevier Ltd. 74. p. 49 – 61.
70. **Pyke, DA; Knick, ST.** 2005. Plant invaders, global change and landscape restoration. *African Journal of Range & Forage Science*. 22(2): 75-83.
71. **Pyke, DA; Herrick, JE; Shaver, P; Pellant, M.** 2002. Rangeland health attributes and indicators for qualitative assessment. *Journal of Range Management*. v. 55, p. 584 - 597.
72. **Ruyle G; Dyess, J.** 2010. Rangeland monitoring and the parker 3-step method: Overview, perspectives and current applications. *The University of Arizona Cooperative Extension*. p. 1 - 9
73. **Soil Quality Institute; Grazing Lands Technology Institute; National Soil Survey Center; NRCS (Natural Resources Conservation Service); the Jornada Experimental Range, Agricultural Research Service, Bureau of Land Management, USDA (United States Department of Agriculture, US).** 2001. Rangeland Soil Quality: Infiltration. *Soil Quality Information Sheet: Rangeland Sheet (5)*. 2p.
74. **SRM (Society for Range Management).** 1998. *SRM Glossary: Global Rangelands*. Consultado 01 octubre 2018. Disponible en: <https://globalrangelands.org/glossary/A?term=>
75. **Tate, KW; Dudley, DM; McDougald, NK; George, MR.** 2004. Effect of canopy and grazing on soil bulk density. *Rangeland Ecology & Management*. 57(4): 411 – 417.

76. **Terrel, W.** 2012. Evaluación ecológica y económica a la crianza en semicautiverio de vicuñas en la U. P. Conocancha. Tesis Mg. Sc. Producción Animal, Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima- Perú.
77. **Tilman, D; Downing, JA.** 1994. Biodiversity and stability in grasslands. *Nature*. 367: 363-365.
78. **UI (University of Idaho, US).** 1999. Measuring rangeland production. Habitat assessment: biomass estimation. Consultado 03 octubre 2018. Disponible en: <http://www.webpages.uidaho.edu/range357/notes/biomass.pdf>
79. **UI (University of Idaho, US).** 2012. An overview of interpreting indicators of rangeland health. v. 1, p. 12. Consultado 04 octubre 2018. Disponible en: [https://www.webpages.uidaho.edu/range357/notes/Range_Health_Overview\(KLL\).pdf](https://www.webpages.uidaho.edu/range357/notes/Range_Health_Overview(KLL).pdf)
80. **Uresk, DW.** 1990. Using multivariate techniques to quantitatively estimate ecological stages in a mixed grass prairie. *Journal of Range Management*. 43(4): 282 - 285.
81. **Vetter, S.** 2005. Rangelands at equilibrium and non-equilibrium: Recent developments in the debate. *Journal of Arid Environments* 62(2): 321 - 341.
82. **Waterman, B.** 2001. Cryptobiotic soil crust: Protector of delicate arid ecosystems. *Journal of Natural Resources and Life Sciences Education*. v. 30, pp. 14-16.
83. **Wilcox, BP; Huang, Y.** 2010. Woody plant encroachment paradox: Rivers rebound as degraded grasslands convert to woodlands. *Geophysical Research Letters*. 37(7): 1-5.
84. **Zare Chahouki, MA; Azarnivand, H; Jafari, M; Tavili, A.** 2010. Multivariate statistical methods as a tool for model - based prediction of vegetation types. *Russian Journal of Ecology*. 41(1): 84 - 94.

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Formato de Registro de Relevamiento Rápido

Propietario:

Fecha:

Hora

A. INFORMACIÓN GENERAL

1.- Comunidad o Granja				
2.- Sitio N°	Geología	Coordenadas GPS (WGS - 84)	Latitud (UTM)	Longitud
3.- Zona de vida			Altitud	Exposición
4.- Uso Actual de la Tierra	Agricultura	Pastoreo	Protección	Otros

B. ECOLOGÍA DE LA VEGETACIÓN

5.- Tipo pastizal	Tolar	Canllar	Juncal	Bofedal	Arbustal	Pajonal	Césped de Puna
6.- Especie dominante	Dominante		Subdominante		SSDominante		
7.- Cobertura Vegetal (%)							
8.- Mantillo Cantidad	Abundante		Poco Abundante		Escaso		Nulo
9.- Condición Clase	Ovinos		Alpacas		Vacunos		Llamas
10.- Intensidad de uso	Ligera		Moderada		Pesada		Destructivo
11.- Tendencia (Sí y No)	Plántulas		Erosión (laminar o cárcavas)			Variedad de plantas perennes	
	Mantillo		Vigor de plantas		Malezas (<10%)		

C. MORFOLOGÍA DE SUELOS

12.- Posición topográfica	15.- Pedregosidad (%)		18.- Estructura	
13.- Paisaje circundante	16.- Afloramiento rocoso (%)		19.- Profundidad de suelo	
14.- Pendiente (%)	17.- Textura			
20.- Signos de erosión	Laminar	Surcos	Cárcavas	
21.- Grados de erosión	Nula	Ligera	Moderada	Alta

D. AGUA

22. Fuentes de agua	Ojo de agua	Río	Riachuelo	Laguna
	Manantial	Canal de riego	Represa	Lluvia
23.- Tipo	Permanente		Temporal	

Anexo 2: Formato de Categorización de Indicadores - Método Estado de Salud del Pastizal (IIRH)

Atributo	Indicador	Extremo a total	Moderado a extremo	Moderado	Ligero a moderado	Ninguno a ligero
S, W	1. Erosión por surcos					
S, W	2. Patrones 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/ depositadas por el viento					
S	7. Movimiento de mantillo					
S, B, W	8. Resistencia de la superficie del suelo a erosión					
S, B, W	9. Pérdida del suelo o degradación					
W	10. Composición de la comunidad de 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 anual					
B	16. Plantas invasoras					
B	17. Capacidad reproductiva de las plantas perennes					

Letras S, W y B bajo la columna Atributo se refieren a Suelo (S), Agua (W) y Biología (B) e indican la asociación del indicador con sus respectivos atributos, suelo y Estabilidad del Suelo/Sitio, Función Hidrológica e Integridad Biótica.

**Anexo 3: Formato de Registro de Especies Botánicas Halladas en el Censo por
Transecta**

Área: _____ Fecha: _____
Transecta N°: _____

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

Anexo 4: Formato de Registro de Altura Foliar (Vigor) – Método Tres Pasos de Parker – Hoja 3

Especie Importante: _____

Nº de registro	Posición en la transecta	Altura cm
1	10m	
2	20m	
3	30m	
4	40m	
5	50m	
6	60m	
7	70m	
8	80m	
9	90m	
10	100m	
Total		
Promedio		

Anexo 5: Formato de Registro de Estimación de Cobertura Vegetal Aérea

Nº de registro	Posición en la Transecta	Cobertura Vegetal Aérea %
1	10m	
2	20m	
3	30m	
4	40m	
5	50m	
6	60m	
7	70m	
8	80m	
9	90m	
10	100m	

Anexo 6: Formato de Registro de Biomasa Aérea

N° de registro	Posición en la transecta	Peso fresco (g)	
		Estimación visual	Balanza
1	10m		
2	20m		
3	30m		
4	40m		
5	50m		
6	60m		
7	70m		
8	80m		
9	90m		
10	100m		

Anexo 7: Formato de Registro de Cantidad de Mantillo

N° de registro	Posición en la transecta	Peso fresco (g)	
		Estimación visual	Balanza
1	10m		
2	20m		
3	30m		
4	40m		
5	50m		
6	60m		
7	70m		
8	80m		
9	90m		
10	100m		

**Anexo 8: Lista General de Grupos Funcionales y Periodo de Vida de Especies de
Plantas: Áncash**

Nº	Nombre Científico	Clave	Familia	Grupo Funcional	Periodo de Vida
1	<i>Aciachne pulvinata</i>	Acpu	Poaceae	Gramínea	Perenne
2	<i>Anatherostipa hans-meyeri</i>	Anaha	Poaceae	Gramínea	Perenne
3	<i>Anatherostipa obtusa</i>	Anaob	Poaceae	Gramínea	Perenne
4	<i>Belloa piptolepis</i>	Bepi	Asteraceae	Arbustiva	Perenne
5	<i>Bromus catharticus</i>	Broca	Poaceae	Gramínea	Perenne
6	<i>Calamagrostis heterophylla</i>	Cahe	Poaceae	Gramínea	Perenne
7	<i>Calamagrostis macrophylla</i>	Cama	Poaceae	Gramínea	Perenne
8	<i>Calamagrostis rigescens</i>	Carig	Poaceae	Gramínea	Perenne
9	<i>Calamagrostis sp.</i>	Calasp	Poaceae	Gramínea	Perenne
10	<i>Calamagrostis spicigera</i>	Caspi	Poaceae	Gramínea	Perenne
11	<i>Calamagrostis vicunarum</i>	Cavi	Poaceae	Gramínea	Perenne
12	<i>Carex bonaerensis</i>	Cabona	Cyperaceae	Graminoide	Perenne
13	<i>Carex bonplandii</i>	Cabon	Cyperaceae	Graminoide	Perenne
14	<i>Carex ecuadorica</i>	Caec	Cyperaceae	Graminoide	Perenne
15	<i>Carex sp</i>	Casp	Cyperaceae	Graminoide	Perenne
16	<i>Cepta clandestinum</i>	Cecla	Poaceae	Gramínea	Perenne
17	<i>Eleocharis albibracteata</i>	Elal	Cyperaceae	Graminoide	Anual
18	<i>Eryngium humile</i>	Erhu	Apiaceae	Herbácea	Anual
19	<i>Festuca dolichophylla</i>	Fedo	Poaceae	Gramínea	Perenne
20	<i>Festuca glicerianta</i>	Fegli	Poaceae	Gramínea	Perenne
21	<i>Festuca humilior</i>	Fehu	Poaceae	Gramínea	Perenne
22	<i>Festuca rigescens</i>	Ferig	Poaceae	Gramínea	Perenne
23	<i>Gentiana sedifolia</i>	Gense	Geraniaceae	Herbácea	Perenne
24	<i>Hypochoeris sp.</i>	Hysp	Asteraceae	Herbácea	Perenne
25	<i>Hypochoeris taraxacoides</i>	Hyta	Asteraceae	Herbácea	Perenne
26	<i>Jarava leptostachya</i>	Jalep	Poaceae	Gramínea	Perenne
27	<i>Juncus brunneus</i>	Jubru	Cyperaceae	Graminoide	Perenne
28	<i>Juncus ebracteatus</i>	Jueb	Cyperaceae	Graminoide	Perenne
29	<i>Juncus sp</i>	Jusp	Cyperaceae	Graminoide	Perenne
30	<i>Juncus stipulatus</i>	Justi	Juncaceae	Graminoide	Perenne
31	<i>Lachemilla orbiculata</i>	Laor	Rosaceae	Herbácea	Anual
32	<i>Lachemilla pinnata</i>	Lapi	Rosaceae	Herbácea	Perenne
33	<i>Luzula racemosa Desvaux</i>	Lura	Juncaceae	Graminoide	Anual
34	<i>Muhlenbergia angustata</i>	Muan	Poaceae	Graminoide	Perenne
35	<i>Muhlenbergia fastigiata</i>	Mufa	Poaceae	Graminoide	Perenne
36	<i>Muhlenbergia peruviana</i>	Mupe	Poaceae	Graminoide	Perenne
37	<i>Nassella brachyphylla</i>	Nabra	Poaceae	Gramínea	Perenne

«Continuación»

38	<i>Nassella mexicana</i>	Name	Poaceae	Gramínea	Perenne
39	<i>Paranephelius uniflorus</i>	Paun	Asteraceae	Herbácea	Anual
40	<i>Paronychia andina</i>	Paan	Caryophyllaceae	Herbácea	Bianual
41	<i>Paspalum pygmaeum</i>	Papyg	Poaceae	Gramínea	Perenne
42	<i>Plagiocheilus soliviformis</i>	Plaso	Asteraceae	Herbácea	Perenne
43	<i>Plantago australis</i>	Plaau	Plantaginaceae	Herbácea	Perenne
44	<i>Plantago rigida</i>	Plari	Plantaginaceae	Herbácea	Perenne
45	<i>Plantago tubulosa</i>	Platu	Plantaginaceae	Herbácea	Perenne
46	<i>Polypogon sp</i>	Posp	Poaceae	Gramínea	Anual
47	<i>Ranunculus peruvianus</i>	Rape	Ranunculaceae	Herbácea	Perenne
48	<i>Rumex acetosella</i>	Ruac	Polygonaceae	Herbácea	Perenne
49	<i>Schizachyrium sanguineum</i>	Schisa	Poaceae	Herbácea	Annual
50	<i>Scirpus rigidus</i>	Sciri	Cyperaceae	Graminoide	Perenne
51	<i>Scirpus zukulata</i>	Scizu	Cyperaceae	Graminoide	Perenne
52	<i>Trifolium amabile</i>	Triam	Fabaceae	Herbácea	Prenenne
53	<i>Trifolium peruvianum</i>	Tripe	Fabaceae	Herbácea	Prenenne
54	<i>Werneria nubigena</i>	Wenu	Asteraceae	Herbácea	Anual

**Anexo 9: Lista General de Grupos Funcionales y Periodo de Vida de Especies de
Plantas: Huancavelica**

Nº	Nombre Científico	Clave	Familia	Grupo Funcional	Periodo de Vida
1	<i>Aciachne acicularis</i>	Acac	Poaceae	Gramínea	Perenne
2	<i>Aciachne pulvinata</i>	Acpu	Poaceae	Gramínea	Perenne
3	<i>Alchemilla diplophylla</i>	Aldi	Rosaceae	Herbácea	Perenne
4	<i>Lachemilla pinnata</i>	Lapi	Rosaceae	Herbácea	Perenne
5	<i>Arenaria digyna</i>	Aredi	Caryophyllaceae	Herbácea	Perenne
6	<i>Arenaria sp</i>	Arsp	Caryophyllaceae	Herbácea	Perenne
7	<i>Arenaria tetragyna</i>	Arete	Caryophyllaceae	Herbácea	Perenne
8	<i>Astragalus sp</i>	Assp	Fabaceae	Arbustiva	Perenne
9	<i>Azorella compacta</i>	Azcom	Apiaceae	Herbácea	Perenne
10	<i>Baccharis caespitosa</i>	Baca	Asteraceae	Arbustiva	Perenne
11	<i>Baccharis sp</i>	Basp	Asteraceae	Arbustiva	Perenne
12	<i>Belloa kunthiana</i>	Beku	Asteraceae	Herbácea	Perenne
13	<i>Calamagrostis minima Tovar</i>	Cami	Poaceae	Gramínea	Perenne
14	<i>Calamagrostis rigescens</i>	Carig	Poaceae	Gramínea	Perenne
15	<i>Calamagrostis spicigera</i>	Caspi	Poaceae	Gramínea	Perenne
16	<i>Calamagrostis vicunarum</i>	Cavi	Poaceae	Gramínea	Perenne
17	<i>Carex sp</i>	Casp	Cyperaceae	Graminoide	Perenne
18	<i>Dissanthelium macusaniense</i>	Dima	Poaceae	Gramínea	Perenne
19	<i>Eleocharis albibracteata</i>	Elal	Cyperaceae	Graminoide	Anual
20	<i>Festuca dolichophylla</i>	Fedo	Poaceae	Gramínea	Perenne
21	<i>Festuca rigescens</i>	Ferig	Poaceae	Gramínea	Perenne
22	<i>Luzula racemosa Desvaux</i>	Lura	Juncaceae	Graminoide	Anual
23	<i>Margyricarpus estrictus</i>	Maes	Rosaceae	Arbustiva	Perenne
24	<i>Margyricarpus pinnatus</i>	Mapin	Rosaceae	Arbustiva	Perenne
25	<i>Muhlenbergia fastigiata</i>	Mufa	Poaceae	Graminoide	Perenne
26	<i>Muhlenbergia peruviana</i>	Mupe	Poaceae	Graminoide	Perenne
27	<i>Nassella brachyphylla</i>	Nabra	Poaceae	Gramínea	Perenne
28	<i>Nototriche acaulis</i>	Noac	Malvaceae	Herbácea	Anual
29	<i>Perezia multiflora</i>	Pemu	Asteraceae	Herbácea	Anual
30	<i>Phylloscirpus deserticola</i>	Phyde	Cyperaceae	Graminoide	Perenne
31	<i>Plantago sericea</i>	Plase	Plantaginaceae	Herbácea	Perenne
32	<i>Plantago sp</i>	Plasp	Plantaginaceae	Herbácea	Perenne
33	<i>Poa candamoana</i>	Poca	Poaceae	Gramínea	Anual
34	<i>Poa gymnantha</i>	Pogym	Poaceae	Gramínea	Perenne
35	<i>Poa perligulata</i>	Poper	Poaceae	Gramínea	Perenne
36	<i>Pycnophyllum convexum</i>	Pyco	Caryophyllaceae	Herbácea	Perenne
37	<i>Pycnophyllum molle</i>	Pymo	Caryophyllaceae	Herbácea	Perenne
38	<i>Scirpus rigidus</i>	Sciri	Cyperaceae	Graminoide	Perenne
39	<i>Werneria caespitosa</i>	Weca	Asteraceae	Herbácea	Perenne
40	<i>Werneria pygmaea</i>	Wepy	Asteraceae	Herbácea	Perenne

**Anexo 10: Lista General de Grupos Funcionales y Periodo de Vida de Especies de
Plantas: Lima**

Nº	Nombre Científico	Clave	Familia	Grupo Funcional	Periodo de Vida
1	<i>Aciachne acicularis</i>	Acac	Poaceae	Gramínea	Perenne
2	<i>Aciachne pulvinata</i>	Acpu	Poaceae	Gramínea	Perenne
3	<i>Alchemilla diplophylla</i>	Aldi	Rosaceae	Herbácea	Perenne
4	<i>Anatherostipa hans-meyeri</i>	Anaha	Poaceae	Gramínea	Perenne
5	<i>Arenaria digyna</i>	Aredi	Caryophyllaceae	Herbácea	Perenne
6	<i>Astragalus pickeringii</i>	Aspi	Fabaceae	Arbustiva	Perenne
7	<i>Astragalus sp.</i>	Assp	Fabaceae	Arbustiva	Perenne
8	<i>Azorella compacta</i>	Azcom	Apiaceae	Herbácea	Perenne
9	<i>Baccharis caespitosa</i>	Baca	Asteraceae	Arbustiva	Perenne
10	<i>Belloa kunthiana</i>	Beku	Asteraceae	Herbácea	Perenne
11	<i>Belloa longifolia</i>	Belon	Asteraceae	Herbácea	Perenne
12	<i>Belloa piptolepis</i>	Bepi	Asteraceae	Arbustiva	Perenne
13	<i>Calamagrostis minima Tovar</i>	Cami	Poaceae	Gramínea	Perenne
14	<i>Calamagrostis rigescens</i>	Carig	Poaceae	Gramínea	Perenne
15	<i>Calamagrostis rigida</i>	Cari	Poaceae	Gramínea	Perenne
16	<i>Calamagrostis spicigera</i>	Caspi	Poaceae	Gramínea	Perenne
17	<i>Calamagrostis tarmensis</i>	Cata	Poaceae	Gramínea	Perenne
18	<i>Calamagrostis vicunarum</i>	Cavi	Poaceae	Gramínea	Perenne
19	<i>Carex bonaerensis</i>	Cabona	Cyperaceae	Graminoide	Perenne
20	<i>Carex ecuadorica</i>	Caec	Cyperaceae	Graminoide	Perenne
21	<i>Carex sp.</i>	Casp	Cyperaceae	Graminoide	Perenne
22	<i>Cerastium danguyi</i>	Ceda	Caryophyllaceae	Herbácea	Anual
23	<i>Chuquiraga sp.</i>	Chusp	Asteraceae	Arbustiva	Perenne
24	<i>Festuca dolichophylla</i>	Fedo	Poaceae	Gramínea	Perenne
25	<i>Festuca rigescens</i>	Ferig	Poaceae	Gramínea	Perenne
26	<i>Festuca sp</i>	Fesp	Poaceae	Gramínea	Perenne
27	<i>Festuca subolifolia</i>	Fesu	Poaceae	Gramínea	Perenne
28	<i>Geranium sp.</i>	Gesp	Geraniaceae	Herbácea	Perenne
29	<i>Geranium weddellii</i>	Gewe	Geraniaceae	Herbácea	Perenne
30	<i>Hordeum muticum</i>	Homu	Poaceae	Gramínea	Anual
31	<i>Hypochoeris taraxacoides</i>	Hyta	Asteraceae	Herbácea	Perenne
32	<i>Jarava ichu</i>	Jaich	Poaceae	Gramínea	Perenne
33	<i>Lachemilla pinnata</i>	Lapi	Rosaceae	Herbácea	Perenne
34	<i>Lepidium depressum Thell.</i>	Lede	Brassicaceae	Herbácea	Anual
35	<i>Luzula racemosa Desvaux</i>	Lura	Juncaceae	Graminoide	Anual
36	<i>Margyricarpus strictus</i>	Maes	Rosaceae	Arbustiva	Perenne
37	<i>Margyricarpus pinnatus</i>	Mapin	Rosaceae	Arbustiva	Perenne
38	<i>Muhlenbergia fastigiata</i>	Mufa	Poaceae	Graminoide	Perenne

«Continuación»

39	<i>Nassella brachyphylla</i>	Nabra	Poaceae	Gramínea	Perenne
40	<i>Oreithales integrifolia</i>	Orin	Ranunculaceae	Herbácea	Annual
41	<i>Paronychia andina</i>	Paan	Caryophyllaceae	Herbácea	Bianual
42	<i>Plagiocheilus soliviformis</i>	Plaso	Asteraceae	Herbácea	Perenne
43	<i>Plantago sericea</i>	Plase	Plantaginaceae	Herbácea	Perenne
44	<i>Plantago tubulosa</i>	Platu	Plantaginaceae	Herbácea	Perenne
45	<i>Poa anae</i>	Poana	Poaceae	Gramínea	Perenne
46	<i>Poa gymnantha</i>	Pogym	Poaceae	Gramínea	Perenne
47	<i>Poa marshallii</i>	Pomar	Poaceae	Gramínea	Anual
48	<i>Poa perligulata</i>	Poper	Poaceae	Gramínea	Perenne
49	<i>Poa spicigera</i>	Pospi	Poaceae	Gramínea	Perenne
50	<i>Pycnophyllum convexum</i>	Pycu	Caryophyllaceae	Herbácea	Perenne
51	<i>Pycnophyllum molle</i>	Pymo	Caryophyllaceae	Herbácea	Perenne
52	<i>Scirpus rigidus</i>	Sciri	Cyperaceae	Graminoide	Perenne
53	<i>Senecio evacoides Schultz-Bip</i>	Seev	Asteraceae	Herbácea	Perenne
54	<i>Werneria caespitosa</i>	Weca	Asteraceae	Herbácea	Perenne
55	<i>Werneria nubigena</i>	Wenu	Asteraceae	Herbácea	Anual
56	<i>Werneria pectinata</i>	Wepe	Asteraceae	Herbácea	Perenne
57	<i>Werneria pygmaea</i>	Wepy	Asteraceae	Herbácea	Perenne
58	<i>Werneria sp.</i>	Wesp	Asteraceae	Herbácea	Perenne

**Anexo 11: Lista General de Grupos Funcionales y Periodo de Vida de Especies de
Plantas: Pasco**

Nº	Nombre Científico	Clave	Familia	Grupo Funcional	Periodo de Vida
1	<i>Aciachne acicularis</i>	Acac	Poaceae	Gramínea	Perenne
2	<i>Aciachne pulvinata</i>	Acpu	Poaceae	Gramínea	Perenne
3	<i>Agrostis breviculmis</i>	Agbre	Poaceae	Gramínea	Perenne
4	<i>Alchemilla diplophylla</i>	Aldi	Rosaceae	Herbácea	Perenne
5	<i>Anatherostipa hans-meyeri</i>	Anaha	Poaceae	Gramínea	Perenne
6	<i>Arenaria digyna</i>	Aredi	Caryophyllaceae	Herbácea	Perenne
7	<i>Astragalus sp</i>	Assp	Fabaceae	Arbustiva	Perenne
8	<i>Azorella compacta</i>	Azcom	Apiaceae	Herbácea	Perenne
9	<i>Baccharis alpina</i>	Baal	Asteraceae	Arbustiva	Perenne
10	<i>Baccharis caespitosa</i>	Baca	Asteraceae	Arbustiva	Perenne
11	<i>Belloa kunthiana</i>	Beku	Asteraceae	Herbácea	Perenne
12	<i>Belloa piptolepis</i>	Bepi	Asteraceae	Arbustiva	Perenne
13	<i>Bromus modestus</i>	Bromo	Poaceae	Gramínea	Annual
14	<i>Bromus sp</i>	Brosp	Poaceae	Gramínea	Annual
15	<i>Calamagrostis chrysantha</i>	Cachry	Poaceae	Gramínea	Perenne
16	<i>Calamagrostis heterophylla</i>	Cahe	Poaceae	Gramínea	Perenne
17	<i>Calamagrostis rigescens</i>	Carig	Poaceae	Gramínea	Perenne
18	<i>Geranium ruizii</i>	Geru	Gentianaceae	Herbácea	Perenne
19	<i>Geranium weddellii</i>	Gewe	Geraniaceae	Herbácea	Perenne
20	<i>Hordeum muticum</i>	Homu	Poaceae	Gramínea	Annual
21	<i>Hypochoeris taraxacoides</i>	Hyta	Asteraceae	Herbácea	Perenne
22	<i>Lachemilla barbata</i>	Laba	Rosaceae	Herbácea	Perenne
23	<i>Lachemilla pinnata</i>	Lapi	Rosaceae	Herbácea	Perenne
24	<i>Lilaeopsis andina</i>	Lian	Apiaceae	Herbácea	Annual
25	<i>Lobelia oligophylla</i>	Looli	Campanulaceae	Herbácea	Perenne
26	<i>Muhlenbergia fastigiata</i>	Mufa	Poaceae	Graminoide	Perenne
27	<i>Nassella brachyphylla</i>	Nabra	Poaceae	Gramínea	Perenne
28	<i>Oenothera sp</i>	Oesp	Oenotheraceae	Herbácea	Perenne
29	<i>Oreithales integrifolia</i>	Orin	Ranunculaceae	Herbácea	Annual
30	<i>Oreomyrrhis andicola</i>	Oran	Apiaceae	Herbácea	Perenne
31	<i>Paranephelium sp.</i>	Pasp	Asteraceae	Herbácea	Annual
32	<i>Paranephelium uniflorus</i>	Paun	Asteraceae	Herbácea	Annual
33	<i>Paspalum sp</i>	Passp	Poaceae	Gramínea	Perenne
34	<i>Plagiocheilus soliviformis</i>	Plaso	Asteraceae	Herbácea	Perenne
35	<i>Plantago australis</i>	Plaau	Plantaginaceae	Herbácea	Perenne
36	<i>Plantago rigida</i>	Plari	Plantaginaceae	Herbácea	Perenne
37	<i>Plantago sericea</i>	Plase	Plantaginaceae	Herbácea	Perenne
38	<i>Plantago tubulosa</i>	Platu	Plantaginaceae	Herbácea	Perenne
39	<i>Poa calycina</i>	Poaca	Poaceae	Gramínea	Annual
40	<i>Poa gymnantha</i>	Pogym	Poaceae	Gramínea	Perenne
41	<i>Poa marshallii</i>	Pomar	Poaceae	Gramínea	Annual
42	<i>Poa sp</i>	Poasp	Poaceae	Gramínea	Annual
43	<i>Poa spicigera</i>	Pospi	Poaceae	Gramínea	Perenne
44	<i>Scirpus rigidus</i>	Sciri	Cyperaceae	Graminoide	Perenne
45	<i>Werneria caespitosa</i>	Weca	Asteraceae	Herbácea	Perenne
46	<i>Werneria nubigena</i>	Wenu	Asteraceae	Herbácea	Annual
47	<i>Werneria pygmaea</i>	Wepy	Asteraceae	Herbácea	Perenne

**Anexo 12: Formato de Registro de Nuevas Especies Encontradas en Cuadrantes de
Tamaño Creciente – Método Whittaker**

Especie	Área (m ²)								
	1	2	3	4	5	10	20	40	1000
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									

Observaciones:

Anexo 13: Formato de Registro de Mortalidad de Plantas

Especie clave: _____

N° de registro	Posición en la transecta	Coloración de planta%	
		Verde	
1	10m	Verde	
		Amarillo	
		Gris	
2	20m	Verde	
		Amarillo	
		Gris	
3	30m	Verde	
		Amarillo	
		Gris	
4	40m	Verde	
		Amarillo	
		Gris	
5	50m	Verde	
		Amarillo	
		Gris	
6	60m	Verde	
		Amarillo	
		Gris	
7	70m	Verde	
		Amarillo	
		Gris	
8	80m	Verde	
		Amarillo	
		Gris	
9	90m	Verde	
		Amarillo	
		Gris	
10	100m	Verde	
		Amarillo	
		Gris	

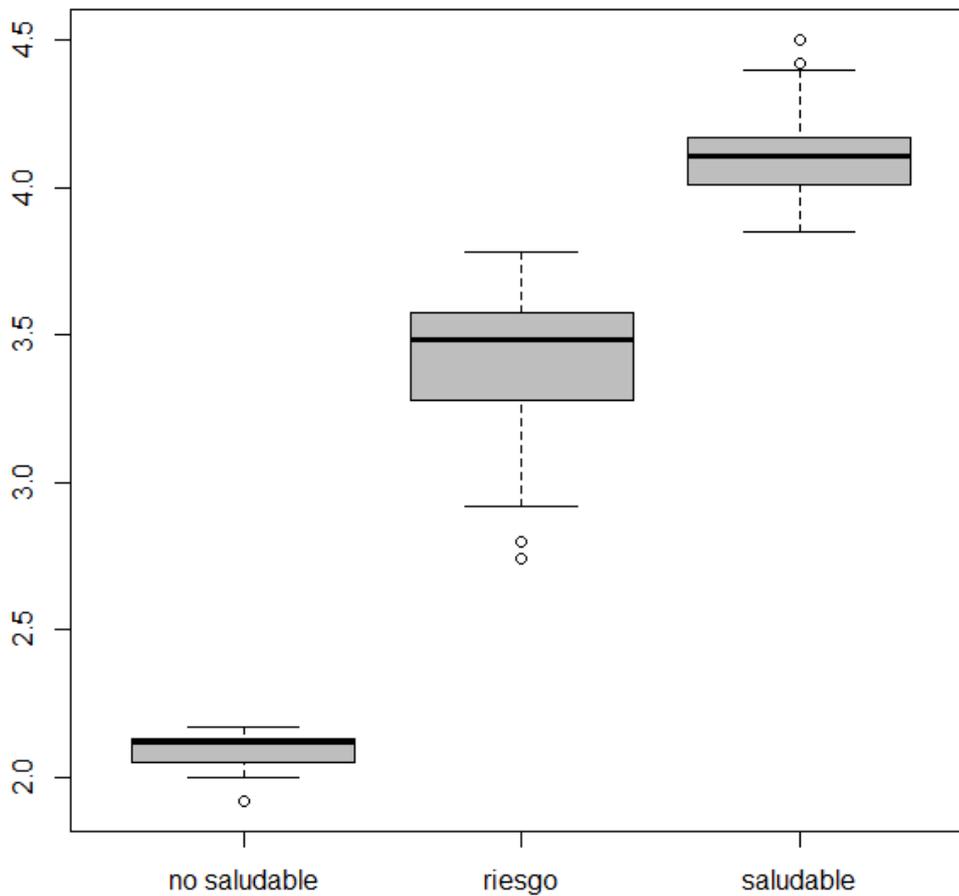
Anexo 14: Formato de Registro de Tasa de Infiltración

Tiempo (min)	Cantidad de agua infiltrada (cm)
1	
5	
5	
5	
10	

Anexo 15: Exploración de Puntajes de Estado de Salud del Pastizal – Fase de Entrenamiento

Min.	1.92
1st Qu.	2.79
Median	3.58
Mean	3.39
3rd Qu.	4.04
Máx.	4.50

ESTADOS DE SALUD DEL PASTIZAL

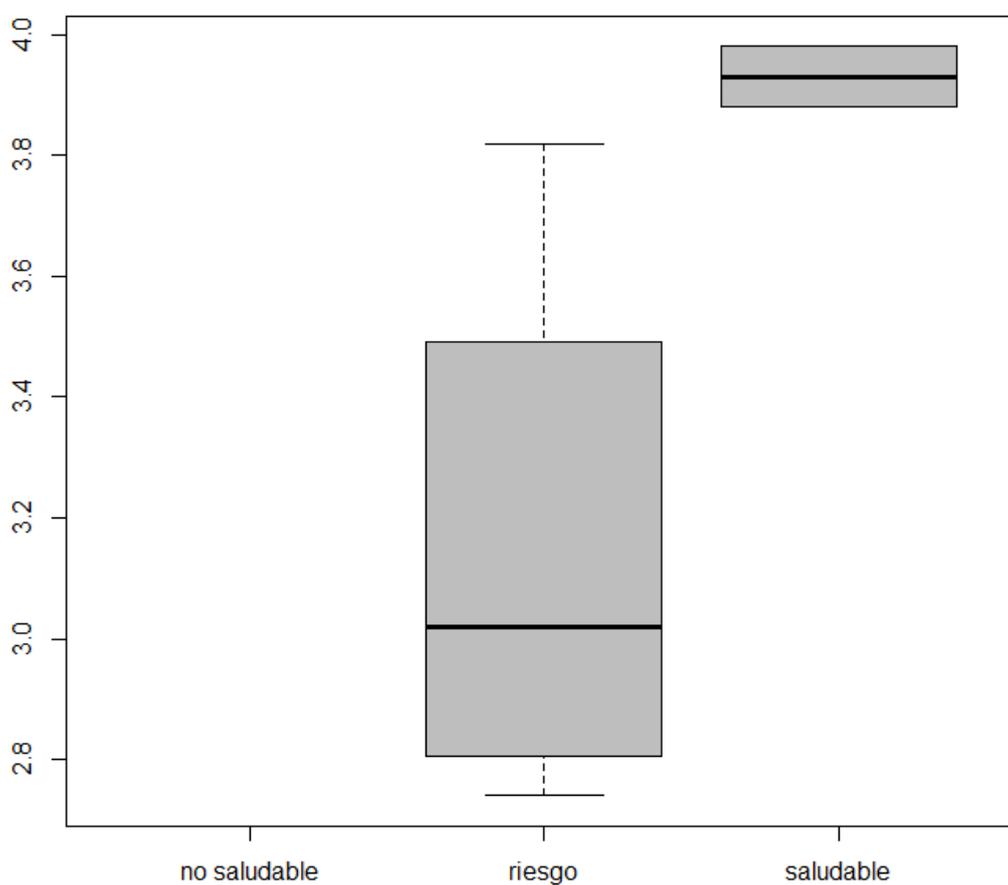


Promedio de Puntajes de Estados de Salud del Pastizal – Fase de Validación		
No saludable	Riesgo	Saludable
2.09	3.38	4.12

Anexo 16: Exploración de Puntajes de Estado de Salud del Pastizal – Fase de Validación (género *Festuca*)

Min.	2.74
1st Qu.	2.85
Median	3.25
Mean	3.31
3rd Qu.	3.78
Máx.	3.98

ESTADO DE SALUD - FASE DE VALIDACIÓN (*Festuca* sp)

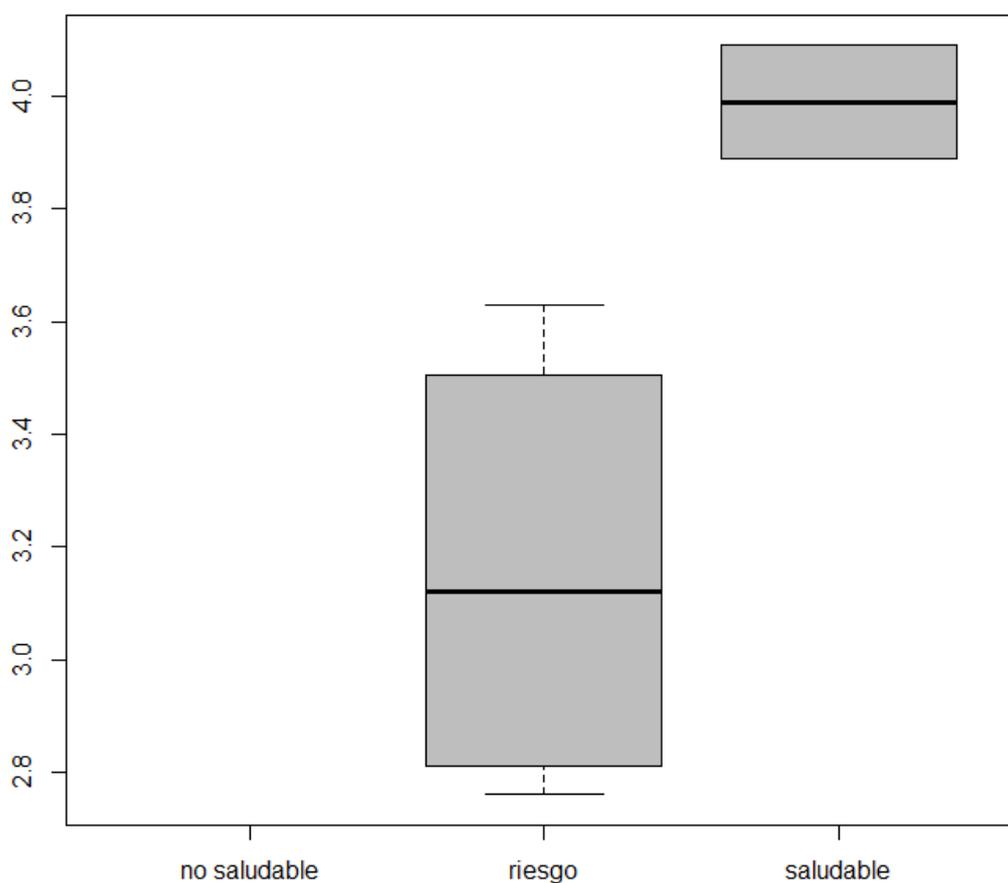


Promedio de Puntajes de Estados de Salud del Pastizal – Fase de Validación (<i>Festuca</i>)		
No saludable	Riesgo	Saludable
-	3.15	3.93

Anexo 17: Exploración de Puntajes de Estado de Salud del Pastizal – Fase de Validación (otros géneros)

Min.	2.76
1st Qu.	2.99
Median	3.51
Mean	3.44
3rd Qu.	3.83
Máx.	4.09

ESTADO DE SALUD - FASE DE VALIDACIÓN (otros géneros)

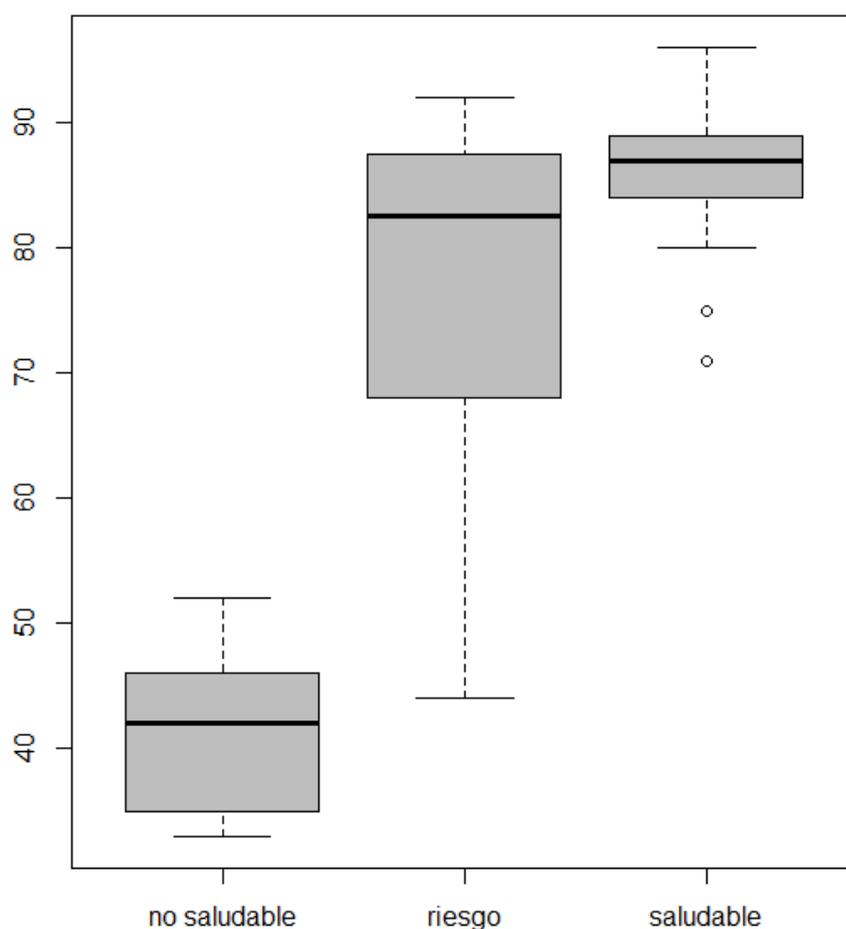


Promedio de Puntajes de Estados de Salud del Pastizal – Fase de Validación (<i>Festuca</i>)		
No saludable	Riesgo	Saludable
-	3.16	3.99

Anexo 18: Análisis de Sensibilidad de Cobertura Basal de Vegetación: Exploración de datos

Min.	33.00
1st Qu.	51.50
Median	84.00
Mean	72.36
3rd Qu.	87.25
Máx.	96.00

COBERTURA VEGETAL vs ESTADO DE SALUD



Promedio de Cobertura Vegetal según Estado de Salud del Pastizal %		
No saludable	Riesgo	Saludable
41.70	76.06	86.11

Anexo 19: Análisis de Sensibilidad de Cobertura Vegetal: Regresión Lineal Simple

VARIABLES INTRODUCIDAS/ELIMINADAS^a

Modelo	VARIABLES INTRODUCIDAS	VARIABLES ELIMINADAS	Método
1	PUNTAJE PYKE ^b	.	Introducir

a. Variable dependiente: COBERTURA VEGETAL

b. Todas las variables solicitadas introducidas.

RESUMEN DEL MODELO

Modelo	R	R ²	R ² corregida	Error típ. de la estimación
1	.90 ^a	.80	.80	9.09

a. Variables predictoras: (Constante). PUNTAJE PYKE

ANOVA^a

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.	
1	Regresión	14017.82	1	14017.82	169.55	.00 ^b
	Residual	3472.36	42	82.68		
	Total	17490.18	43			

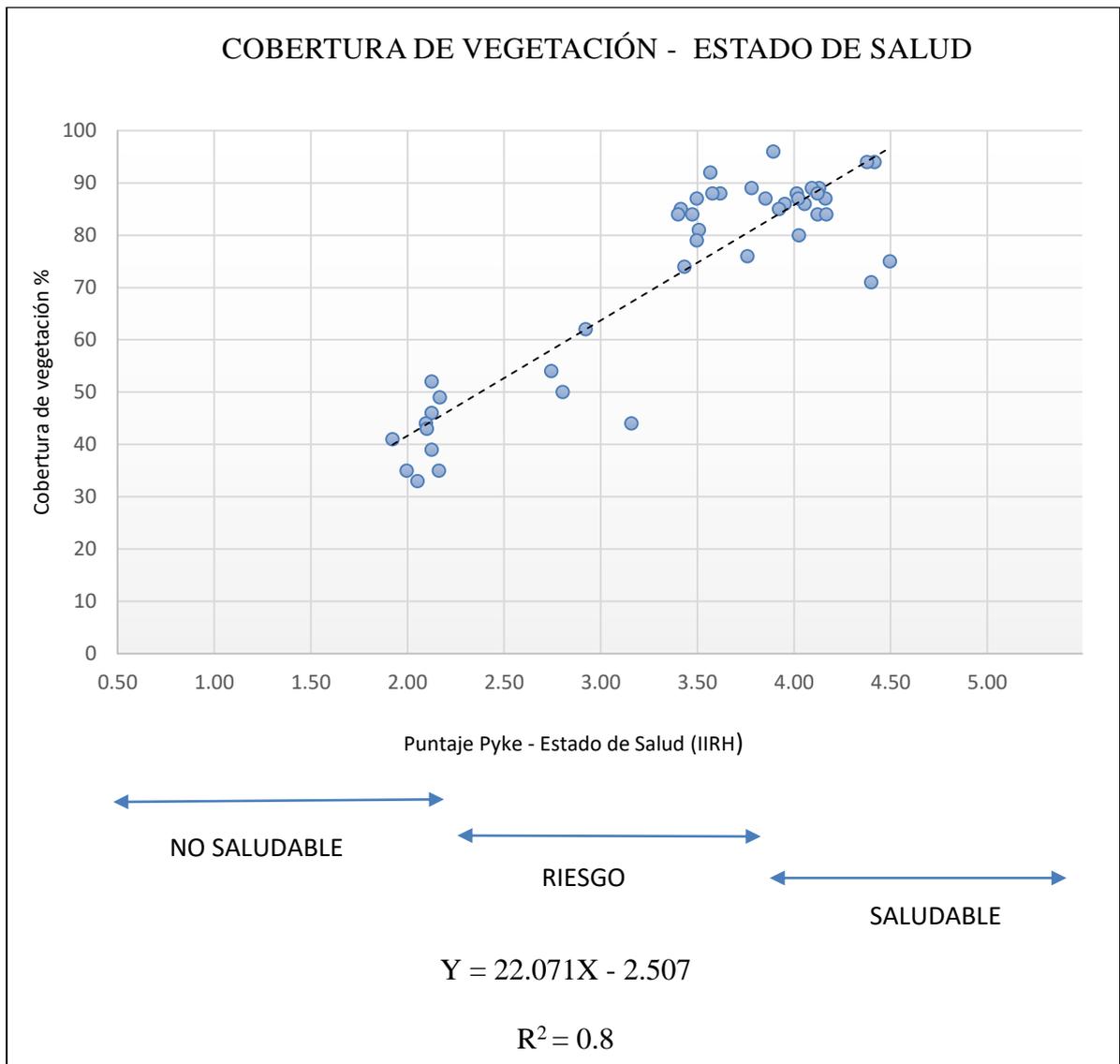
a. Variable dependiente: COBERTURA VEGETAL

b. Variables predictoras: (Constante). PUNTAJE PYKE

COEFICIENTES^a

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.	
	B	Error típ.	Beta			
1	(Constante)	-2.507	5.91			
	PUNTAJE PYKE	22.071	1.70	.90	13.02	.00

a. Variable dependiente: COBERTURA VEGETAL



Anexo 20: Análisis de Sensibilidad de Cobertura Vegetal: Correlación

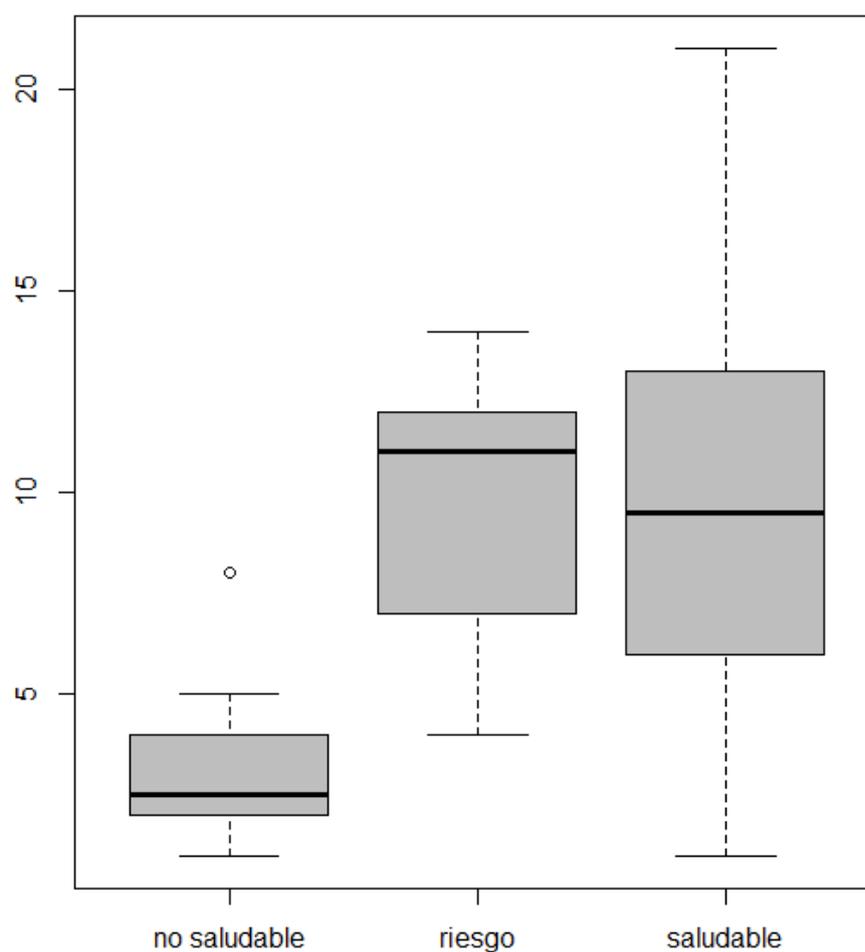
		PUNTAJE PYKE	COBERTURA VEGETAL
PUNTAJE PYKE	Correlación de Pearson	1	.895**
	Sig. (bilateral)		.00
	N	44	44
COBERTURA VEGETAL	Correlación de Pearson	.895**	1
	Sig. (bilateral)	.00	
	N	44	44

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

Anexo 21: Análisis de Sensibilidad de Cobertura Basal de Mantillo: Exploración de datos

Min.	1.00
1st Qu.	4.75
Median	8.50
Mean	8.48
3rd Qu.	12.00
Máx.	21.00

COBERTURA DE MANTILLO vs ESTADO DE SALUD



Promedio de Cobertura de Mantillo según Estado de Salud del Pastizal %		
No saludable	Riesgo	Saludable
3.20	9.88	10.17

Anexo 22: Análisis de Sensibilidad de Cobertura de Mantillo: Regresión Lineal Simple

VARIABLES INTRODUCIDAS/ELIMINADAS^a

Modelo	VARIABLES INTRODUCIDAS	VARIABLES ELIMINADAS	Método
1	PUNTAJE PYKE ^b	.	Introducir

a. Variable dependiente: COBERTURA MANTILLO

b. Todas las variables solicitadas introducidas.

RESUMEN DEL MODELO

Modelo	R	R ²	R ² ajustado	Error estándar de la estimación
1	.55 ^a	.30	.28	4.09

a. Variables predictoras: (Constante). PUNTAJE PYKE

ANOVA^a

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1 Regresión	298.96	1	298.96	17.79	.00 ^b
1 Residuo	706.02	42	16.81		
1 Total	1004.98	43			

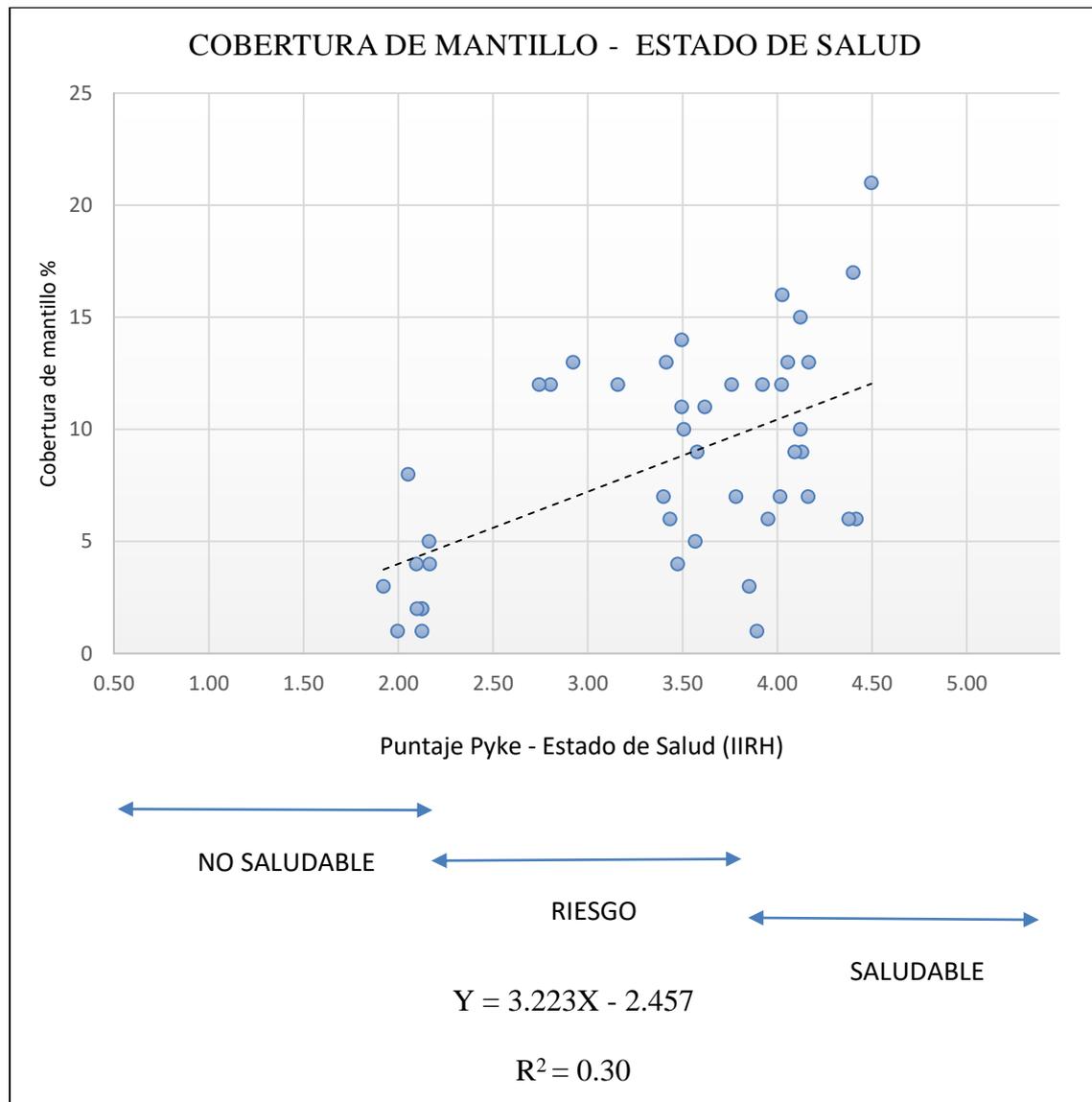
a. Variable dependiente: COBERTURA MANTILLO

b. Variables predictoras: (Constante). PUNTAJE PYKE

COEFICIENTES^a

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típ.	Beta		
1 (Constante)	-2.457	2.67		-.92	.36
1 PUNTAJE PYKE	3.223	0.76	.55	4.22	.00

a. Variable dependiente: COBERTURA MANTILLO



Anexo 23: Análisis de Sensibilidad de Cobertura de Mantillo: Correlación

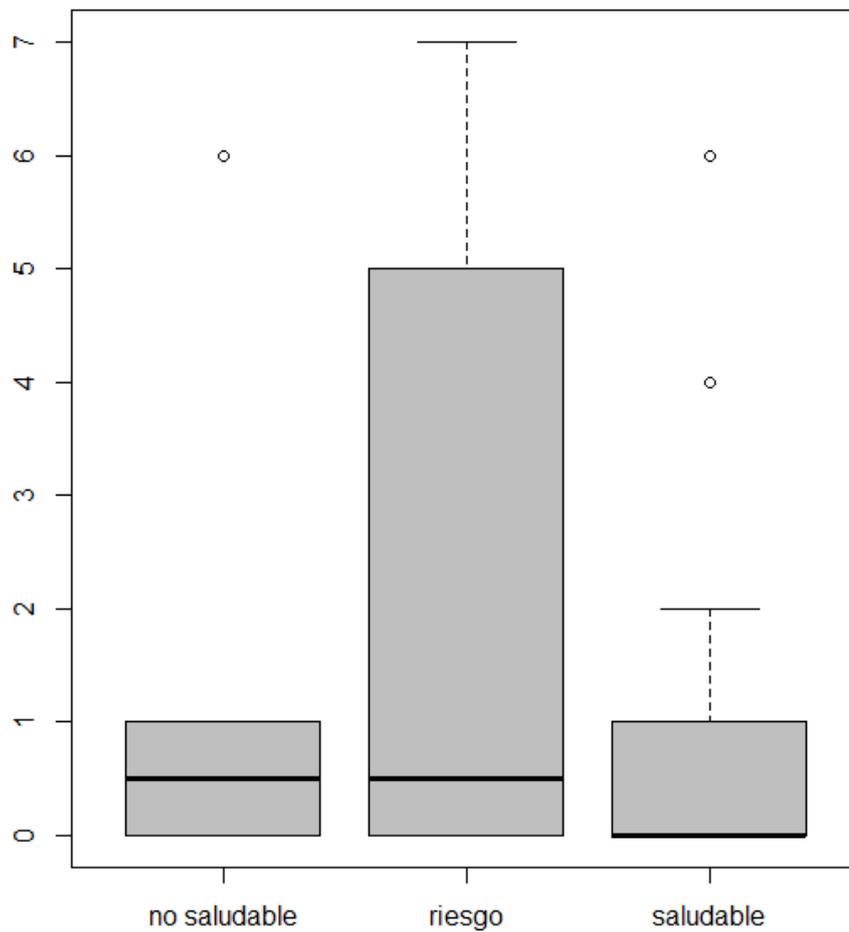
		PUNTAJE PYKE	COBERTURA DE MANTILLO
PUNTAJE PYKE	Correlación de Pearson	1	.55**
	Sig. (bilateral)		.00
	N	44	44
COBERTURA DE MANTILLO	Correlación de Pearson	.55**	1
	Sig. (bilateral)	.00	
	N	44	44

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

Anexo 24: Análisis de Sensibilidad de Cobertura de Musgo y Liquen: Exploración de datos

Min.	0.00
1st Qu.	0.00
Median	0.00
Mean	1.43
3rd Qu.	2.00
Máx.	7.00

COBERTURA DE MUSGO Y LIQUEN vs ESTADO DE SALUD



Promedio de Cobertura de Musgo y Liquen por Estado de Salud del Pastizal %		
No saludable	Riesgo	Saludable
1.00	2.31	0.89

**Anexo 25: Análisis de Sensibilidad de Cobertura de Musgo y Liquen: Regresión
Lineal Simple**

VARIABLES INTRODUCIDAS/ELIMINADAS^a

Modelo	VARIABLES INTRODUCIDAS	VARIABLES ELIMINADAS	Método
1	PUNTAJE PYKE ^b	.	Introducir

a. Variable dependiente: COBERTURA MUSGO Y LIQUEN

b. Todas las variables solicitadas introducidas.

RESUMEN DEL MODELO

Modelo	R	R ²	R ² ajustado	Error estándar de la estimación
1	.04 ^a	.002	-.02	2.23

a. Variables predictoras: (Constante). PUNTAJE PYKE

ANOVA^a

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1 Regresión	.04	1	.40	.08	.78 ^b
Residuo	208.40	42	4.96		
Total	208.80	43			

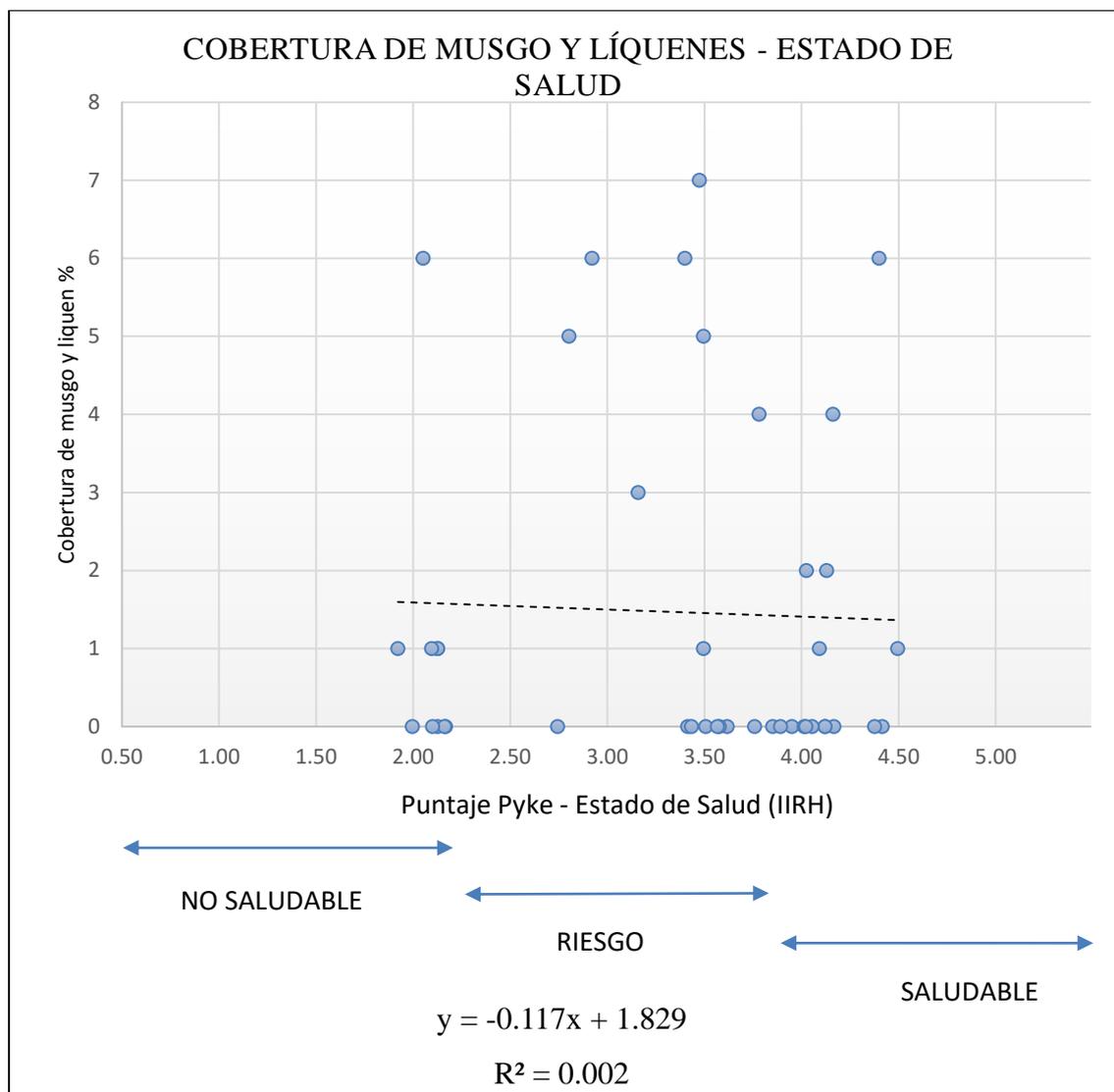
a. Variable dependiente: COBERTURA MUSGO Y LIQUEN

b. Variables predictoras: (Constante). PUNTAJE PYKE

COEFICIENTES^a

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típ.	Beta		
1 (Constante)	1.829	1.45		1.26	.21
PUNTAJE PYKE	-.117	.42	-.04	-.28	.78

a. Variable dependiente: COBERTURA MUSGO Y LIQUEN



Anexo 26: Análisis de Sensibilidad de Cobertura de Musgo y Lichen: Correlación

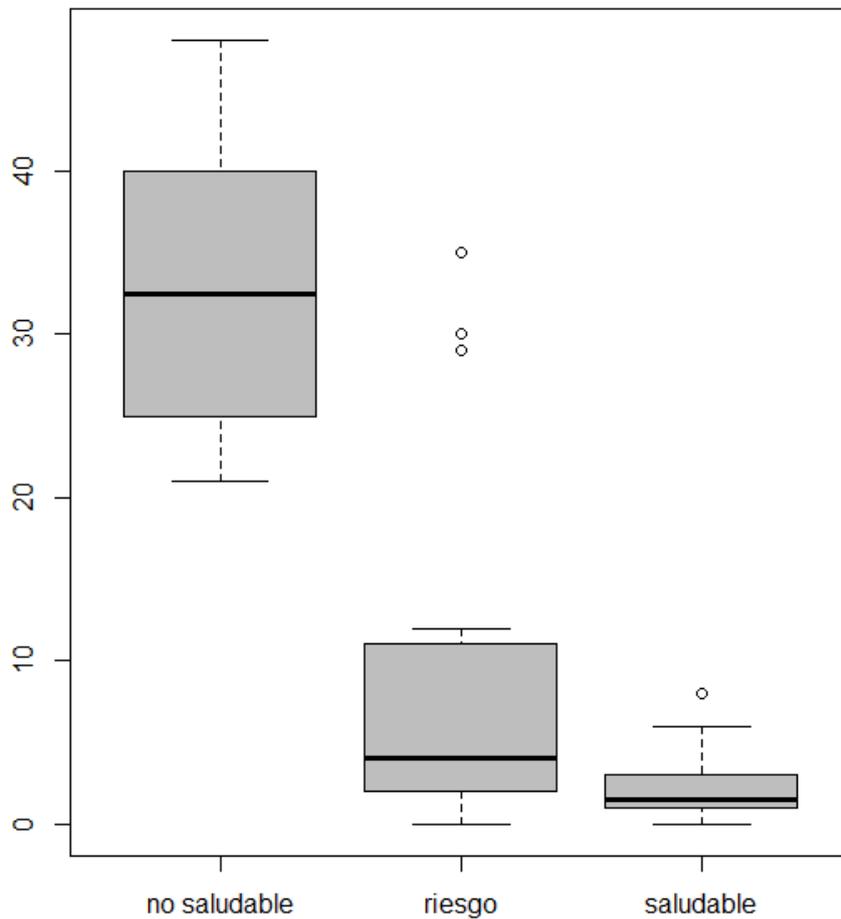
		PUNTAJE PYKE	COBERTURA DE MUSGO Y LIQUEN
PUNTAJE PYKE	Correlación de Pearson	1	-.04
	Sig. (bilateral)		.78
	N	44	44
COBERTURA DE MUSGO Y LIQUEN	Correlación de Pearson	-.04	1
	Sig. (bilateral)	.78	
	N	44	44

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

Anexo 27: Análisis de Sensibilidad de Cobertura de Suelo Desnudo: Exploración de datos

Min.	0.00
1st Qu.	1.00
Median	3.00
Mean	11.73
3rd Qu.	22.00
Máx.	48.00

COBERTURA DE SUELO DESNUDO vs ESTADO DE SALUD



Promedio de Cobertura de Suelo Desnudo según Estado de Salud del Pastizal %		
No saludable	Riesgo	Saludable
32.20	9.63	2.22

Anexo 28: Análisis de Sensibilidad de Cobertura de Suelo Desnudo: Regresión Lineal Simple

Variables introducidas/eliminadas^a

Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	PUNTAJE PYKE ^b	.	Introducir

a. Variable dependiente: COBERTURA SUELO DESNUDO

b. Todas las variables solicitadas introducidas.

Resumen del modelo

Modelo	R	R ²	R ² ajustado	Error estándar de la estimación
1	.87 ^a	.76	.75	7.05

a. Variables predictoras: (Constante). COBERTURA SUELO DESNUDO

ANOVA^a

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1 Regresión	6561.29	1	6561.29	132.14	.00 ^b
1 Residuo	2085.44	42	49.65		
1 Total	8646.73	43			

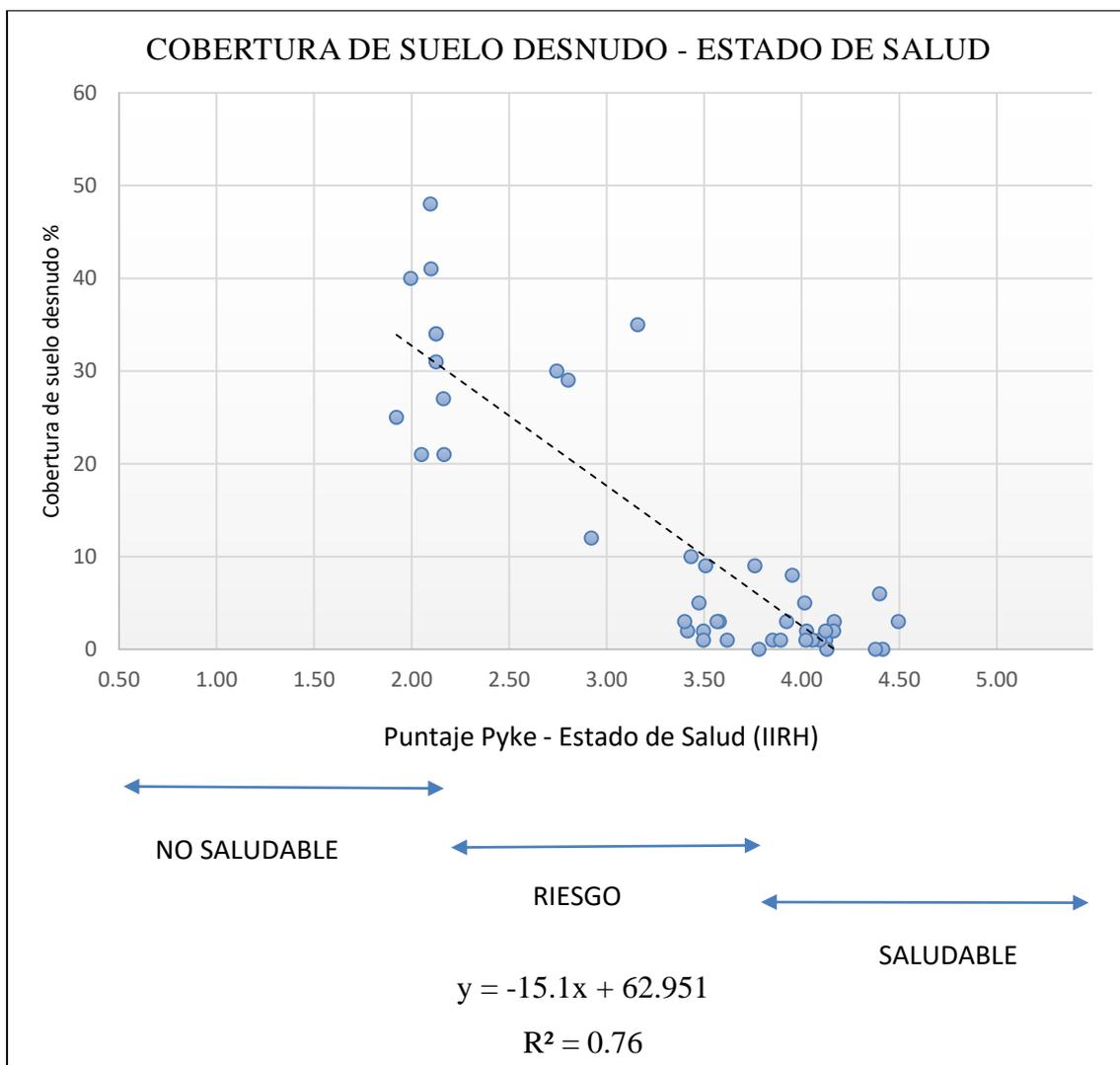
a. Variable dependiente: COBERTURA SUELO DESNUDO

b. Variables predictoras: (Constante). PUNTAJE PYKE

Coefficientes^a

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típ.	Beta		
1 (Constante)	62.951	4.58		13.74	.00
1 PUNTAJE PYKE	-15.10	1.31	-.871	-11.50	.00

a. Variable dependiente: COBERTURA SUELO DESNUDO



Anexo 29: Análisis de Sensibilidad de Cobertura de Suelo Desnudo: Correlación

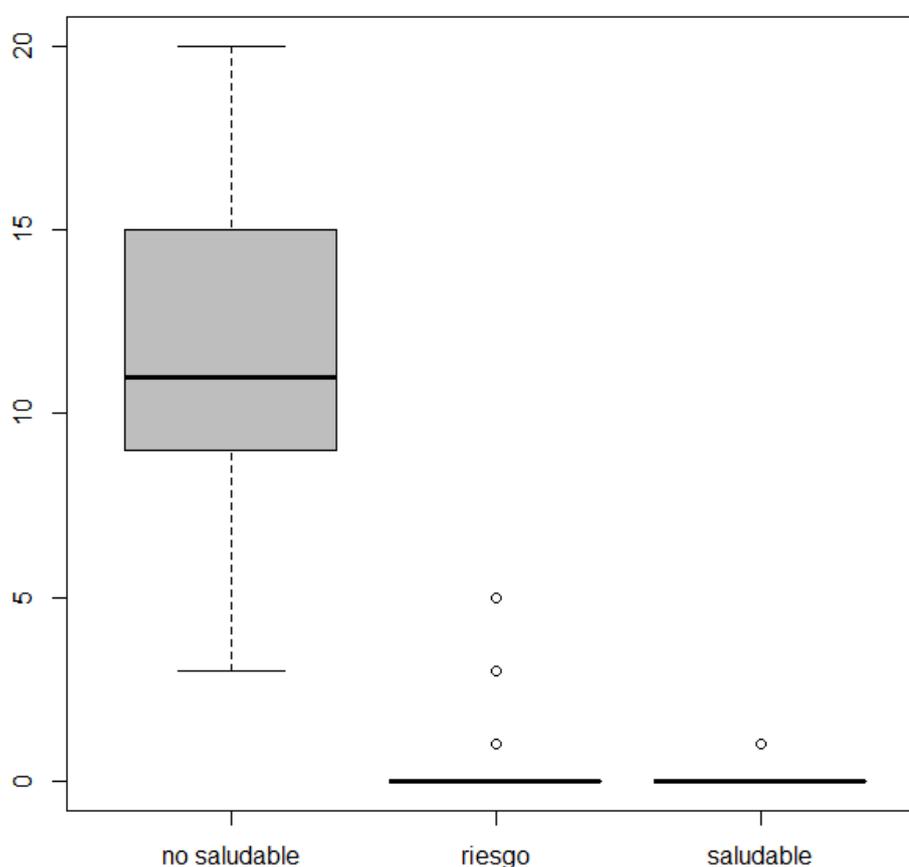
		PUNTAJE PYKE	COBERTURA DE MUSGO Y LIQUEN
PUNTAJE PYKE	Correlación de Pearson	1	-.87**
	Sig. (bilateral)		.00
	N	44	44
COBERTURA DE MUSGO Y LIQUEN	Correlación de Pearson	-.87**	1
	Sig. (bilateral)	.00	
	N	44	44

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

**Anexo 30: Análisis de Sensibilidad de Cobertura de Pavimento de Erosión:
Exploración de datos**

Min.	0.00
1st Qu.	0.00
Median	0.00
Mean	2.84
3rd Qu.	3.00
Máx.	20.00

COBERTURA DE PAVIMENTO DE EROSIÓN vs ESTADO DE SALUD



Promedio de Cobertura de Pavimento de Erosión según Estado de Salud del Pastizal %		
No saludable	Riesgo	Saludable
11.50	0.56	0.06

**Anexo 31: Análisis de Sensibilidad de Cobertura de Pavimento de Erosión: Regresión
Lineal Simple**

VARIABLES INTRODUCIDAS/ELIMINADAS^a

Modelo	VARIABLES INTRODUCIDAS	VARIABLES ELIMINADAS	Método
1	PUNTAJE PYKE ^b	.	Introducir

a. Variable dependiente: COBERTURA PAVIMENTO DE EROSIÓN

b. Todas las variables solicitadas introducidas.

RESUMEN DEL MODELO

Modelo	R	R ²	R ² ajustado	Error estándar de la estimación
1	.83 ^a	.68	.67	3.03

a. Variables predictoras: (Constante). COBERTURA PAVIMENTO DE EROSIÓN

ANOVA^a

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1 Regresión	821.52	1	821.52	89.30	.00 ^b
1 Residuo	368.37	42	9.20		
1 Total	1207.89	43			

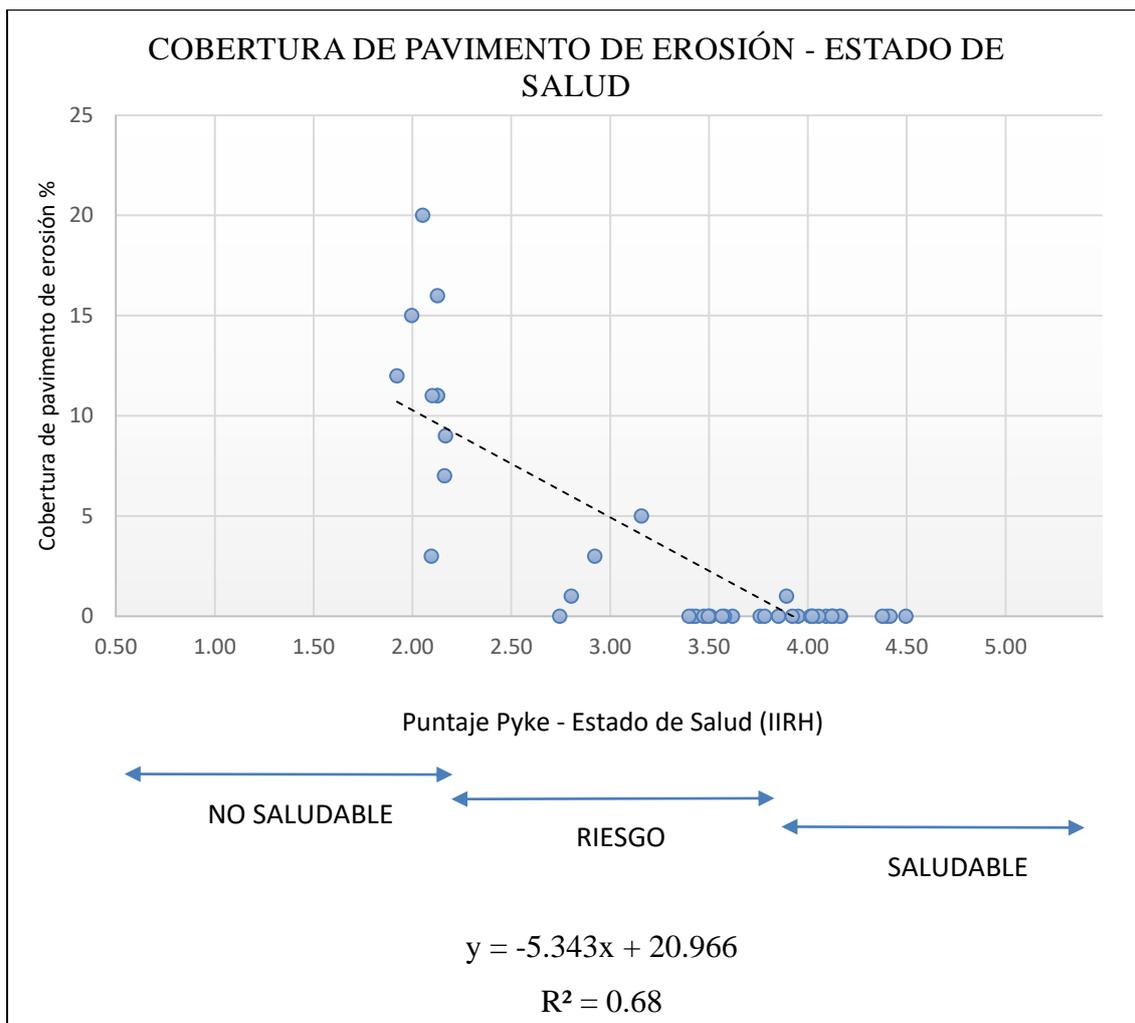
a. Variable dependiente: COBERTURA PAVIMENTO DE EROSIÓN

b. Variables predictoras: (Constante). PUNTAJE PYKE

COEFICIENTES^a

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típ.	Beta		
1 (Constante)	20.966	1.97		10.63	.00
1 PUNTAJE PYKE	-5.343	.57	-.83	-9.45	.00

a. Variable dependiente: COBERTURA PAVIMENTO DE EROSIÓN



**Anexo 32: Análisis de Sensibilidad de Cobertura de Pavimento de Erosión:
Correlación**

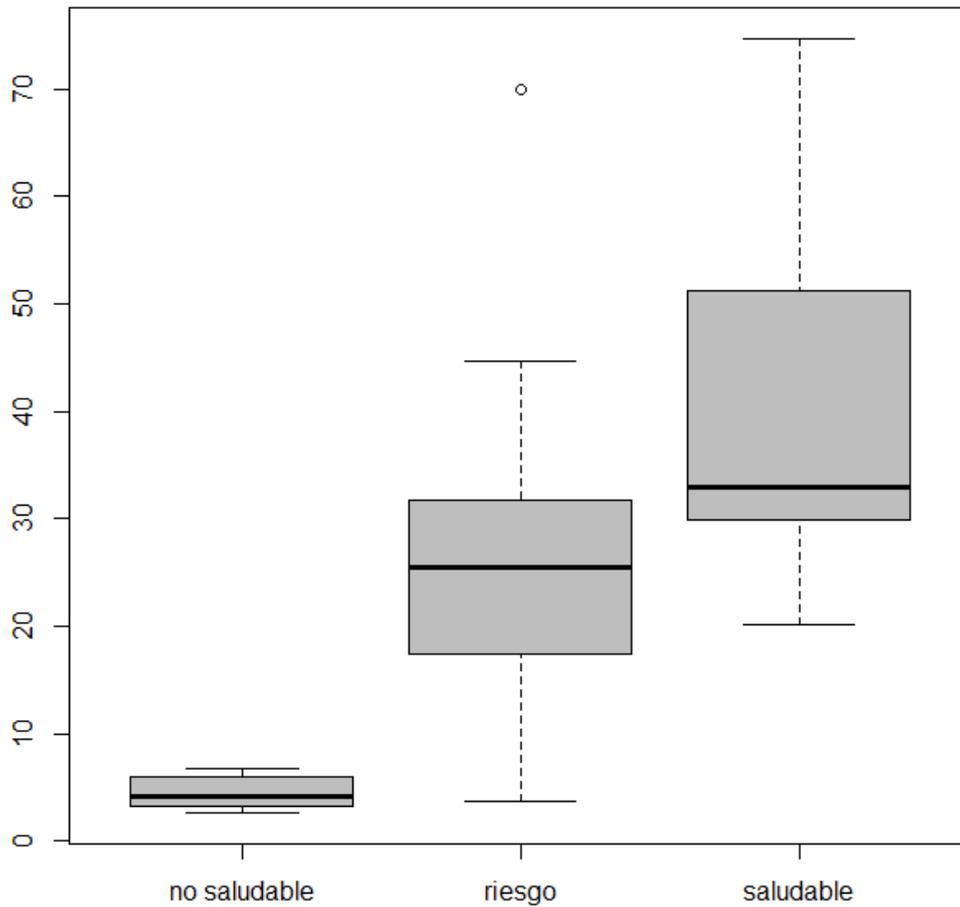
		PUNTAJE PYKE	COBERTURA DE PAVIMENTO DE EROSIÓN
PUNTAJE PYKE	Correlación de Pearson	1	-.83**
	Sig. (bilateral)		.00
	N	44	44
COBERTURA DE PAVIMENTO DE EROSIÓN	Correlación de Pearson	-.83**	1
	Sig. (bilateral)	.00	
	N	44	44

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

Anexo 33: Análisis de Sensibilidad de Vigor de Gramínea Importante: Exploración de datos

Min.	2.69
1st Qu.	6.67
Median	26.00
Mean	26.49
3rd Qu.	33.10
Máx.	74.67

VIGOR DE GRAMÍNEA IMPORTANTE vs ESTADO DE SALUD



Promedio de Vigor de Gramínea Importante según Estado de Salud del Pastizal %		
No saludable	Riesgo	Saludable
4.55	25.87	39.22

**Anexo 34: Análisis de Sensibilidad de Vigor de Gramínea Importante: Regresión
Lineal Simple**

VARIABLES INTRODUCIDAS/ELIMINADAS^a

Modelo	VARIABLES INTRODUCIDAS	VARIABLES ELIMINADAS	Método
1	PUNTAJE PYKE ^b	.	Introducir

a. Variable dependiente: VIGOR GRAMÍNEA IMPORTANTE

b. Todas las variables solicitadas introducidas.

RESUMEN DEL MODELO

Modelo	R	R ²	R ² ajustado	Error estándar de la estimación
1	.78 ^a	.61	.60	11.97

a. Variables predictoras: (Constante). VIGOR GRAMÍNEA IMPORTANTE

ANOVA^a

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1 Regresión	9475.51	1	9475.51	66.09	.00 ^b
1 Residuo	6021.67	42	143.37		
1 Total	15497.18	43			

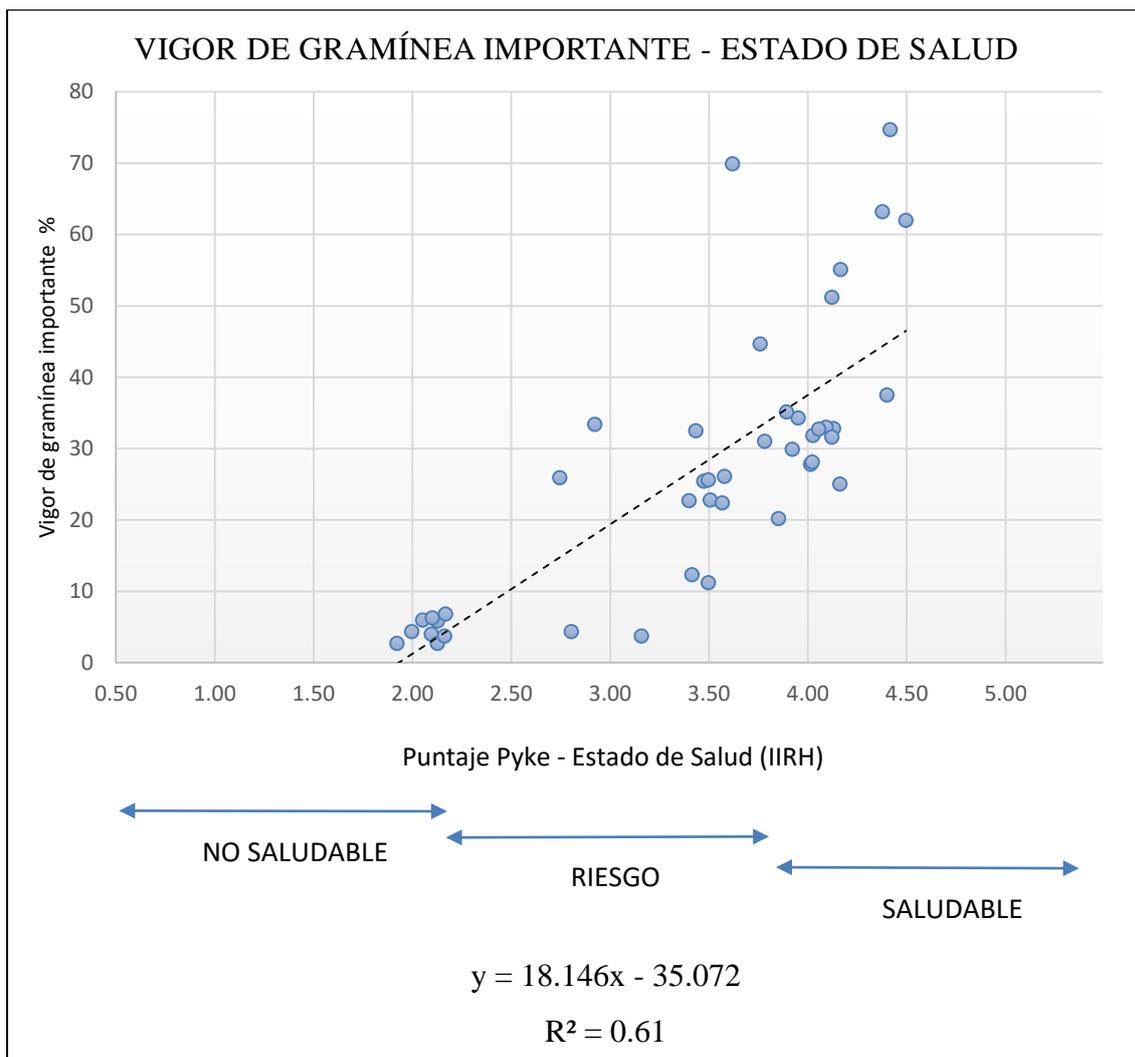
a. Variable dependiente: VIGOR GRAMÍNEA IMPORTANTE

b. Variables predictoras: (Constante). PUNTAJE PYKE

COEFICIENTES^a

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típ.	Beta		
1 (Constante)	-35.072	7.78		-4.51	.00
1 PUNTAJE PYKE	18.146	2.23	.78	8.13	.00

a. Variable dependiente: VIGOR GRAMÍNEA IMPORTANTE



Anexo 35: Análisis de Sensibilidad de Vigor de Gramínea Importante: Correlación

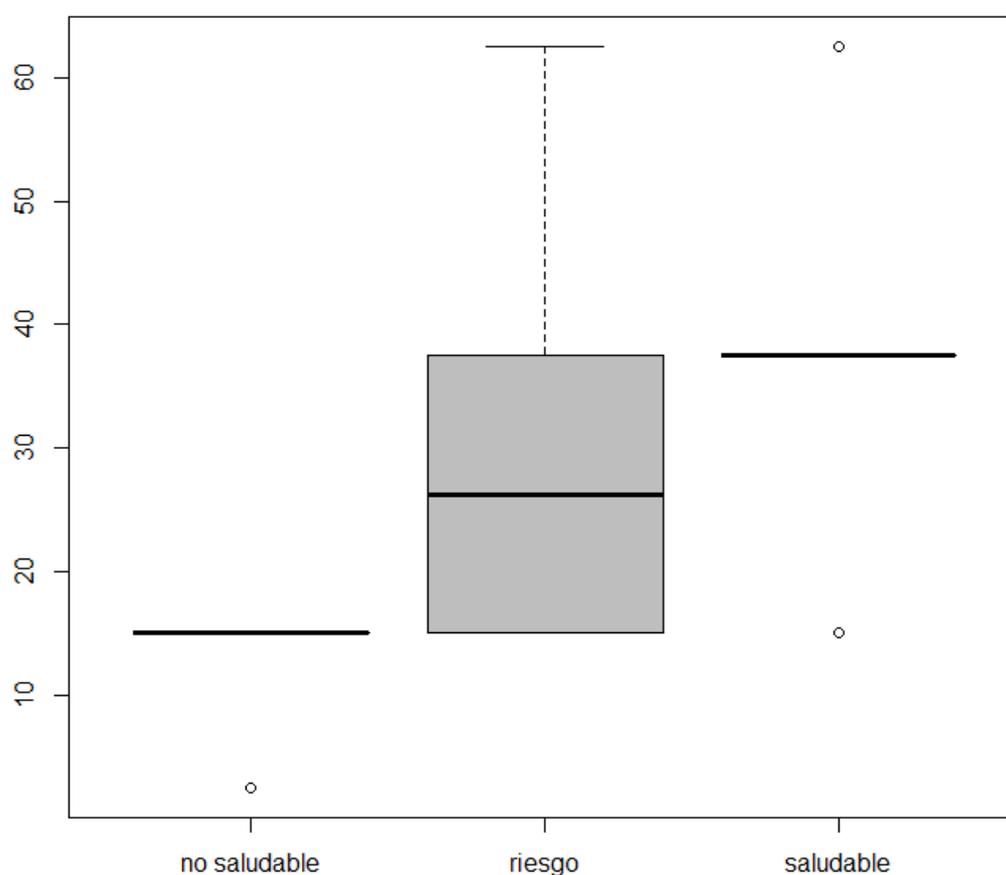
		PUNTAJE PYKE	VIGOR DE GRAMÍNEA IMPORTANTE
PUNTAJE PYKE	Correlación de Pearson	1	.78**
	Sig. (bilateral)		.00
	N	44	44
VIGOR DE GRAMÍNEA IMPORTANTE	Correlación de Pearson	.78**	1
	Sig. (bilateral)	.00	
	N	44	44

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

**Anexo 36: Análisis de Sensibilidad de Cobertura Aérea de Gramínea Importante:
Exploración de datos**

Min.	2.50
1st Qu.	15.00
Median	37.50
Mean	30.11
3rd Qu.	37.50
Máx.	62.50

COBERTURA AÉREA DE GRAMÍNEA IMPORTANTE vs ESTADO DE SALUD



Promedio de Cobertura Aérea de Gramínea Importante según Estado de Salud del Pastizal %		
No saludable	Riesgo	Saludable
12.50	29.38	40.56

**Anexo 37: Análisis de Sensibilidad de Cobertura Aérea de Gramínea Importante:
Regresión Lineal Simple**

VARIABLES INTRODUCIDAS/ELIMINADAS^a

Modelo	VARIABLES INTRODUCIDAS	VARIABLES ELIMINADAS	Método
1	PUNTAJE PYKE ^b	.	Introducir

a. Variable dependiente: COBERTURA GRAMÍNEA IMPORTANTE

b. Todas las variables solicitadas introducidas.

RESUMEN DEL MODELO

Modelo	R	R ²	R ² ajustado	Error estándar de la estimación
1	.71 ^a	.50	.49	12.35

a. Variables predictoras: (Constante). COBERTURA GRAMÍNEA IMPORTANTE

ANOVA^a

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1 Regresión	6507.52	1	6507.52	42.68	.00 ^b
1 Residuo	6404.42	42	152.49		
Total	12911.93	43			

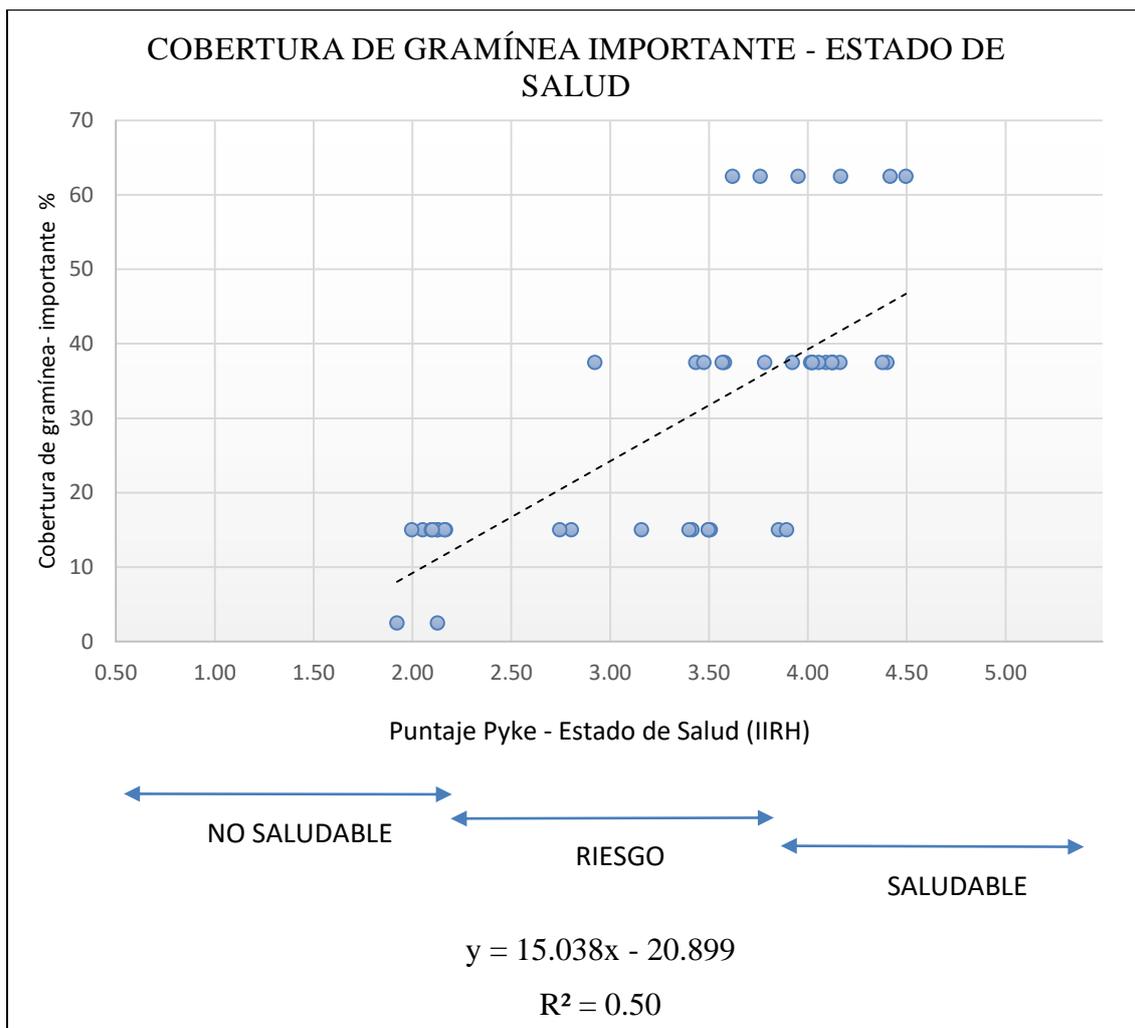
a. Variable dependiente: COBERTURA GRAMÍNEA IMPORTANTE

b. Variables predictoras: (Constante). PUNTAJE PYKE

COEFICIENTES^a

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típ.	Beta		
1 (Constante)	20.899	8.03		-2.60	.01
1 PUNTAJE PYKE	15.038	2.30	.71	-9.45	.00

a. Variable dependiente: COBERTURA GRAMÍNEA IMPORTANTE



**Anexo 38: Análisis de Sensibilidad de Cobertura Aérea de Gramínea Importante:
Correlación**

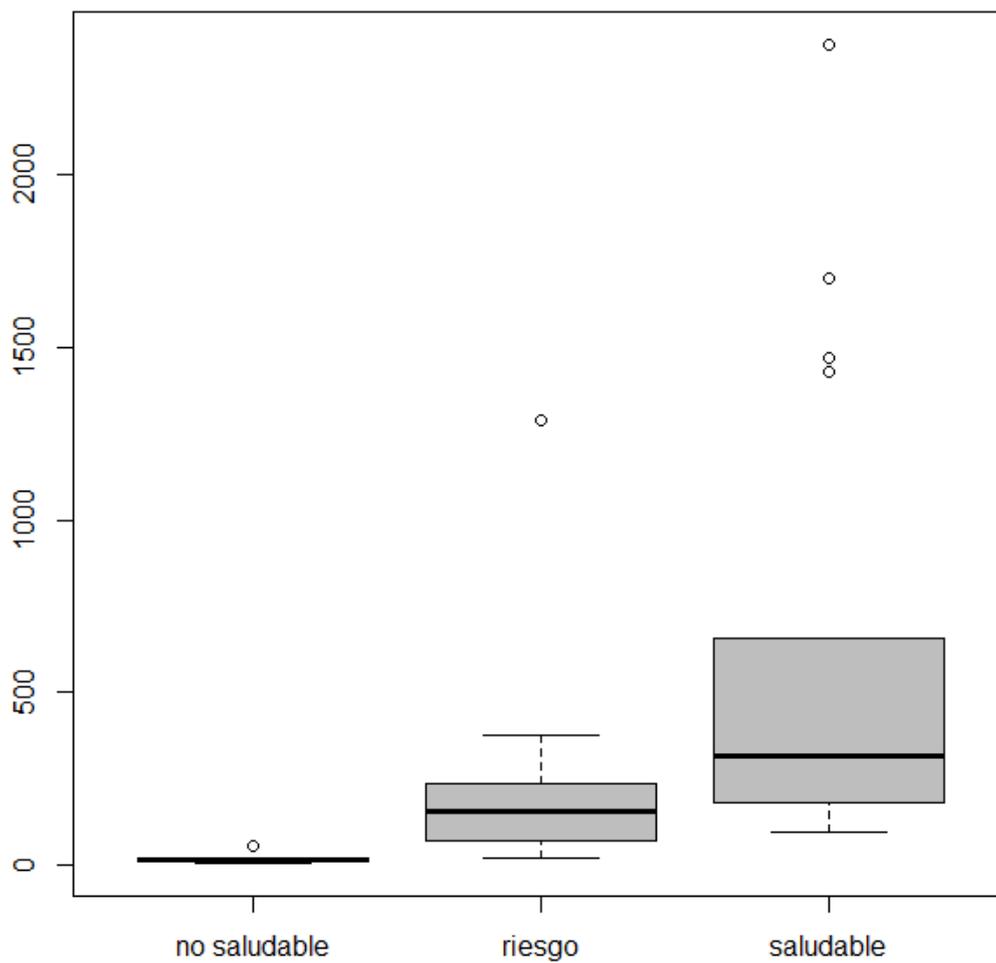
		PUNTAJE PYKE	COBERTURA DE GRAMÍNEA IMPORTANTE
PUNTAJE PYKE	Correlación de Pearson	1	.71**
	Sig. (bilateral)		.00
	N	44	44
COBERTURA DE GRAMÍNEA IMPORTANTE	Correlación de Pearson	.71**	1
	Sig. (bilateral)	.00	
	N	44	44

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

Anexo 39: Análisis de Sensibilidad de Biomasa Aérea: Exploración de datos

Min.	5.27
1st Qu.	33.12
Median	168.62
Mean	329.13
3rd Qu.	334.19
Máx.	2378.24

BIOMASA AÉREA vs ESTADO DE SALUD



Promedio de Biomasa Aérea según Estado de Salud del Pastizal g/m ²		
No saludable	Riesgo	Saludable
16.89	226.53	594.05

Anexo 40: Análisis de Sensibilidad de Biomasa Aérea: Regresión Lineal Simple

VARIABLES INTRODUCIDAS/ELIMINADAS^a

Modelo	VARIABLES INTRODUCIDAS	VARIABLES ELIMINADAS	Método
1	PUNTAJE PYKE ^b	.	Introducir

a. Variable dependiente: BIOMASA AÉREA

b. Todas las variables solicitadas introducidas.

RESUMEN DEL MODELO

Modelo	R	R ²	R ² ajustado	Error estándar de la estimación
1	.52 ^a	.27	.26	445.21

a. Variables predictoras: (Constante). BIOMASA AÉREA

ANOVA^a

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1 Regresión	3110934.79	1	3110934.79	15.70	.00 ^b
Residuo	8324973.45	42	198213.65		
Total	11435908.24	43			

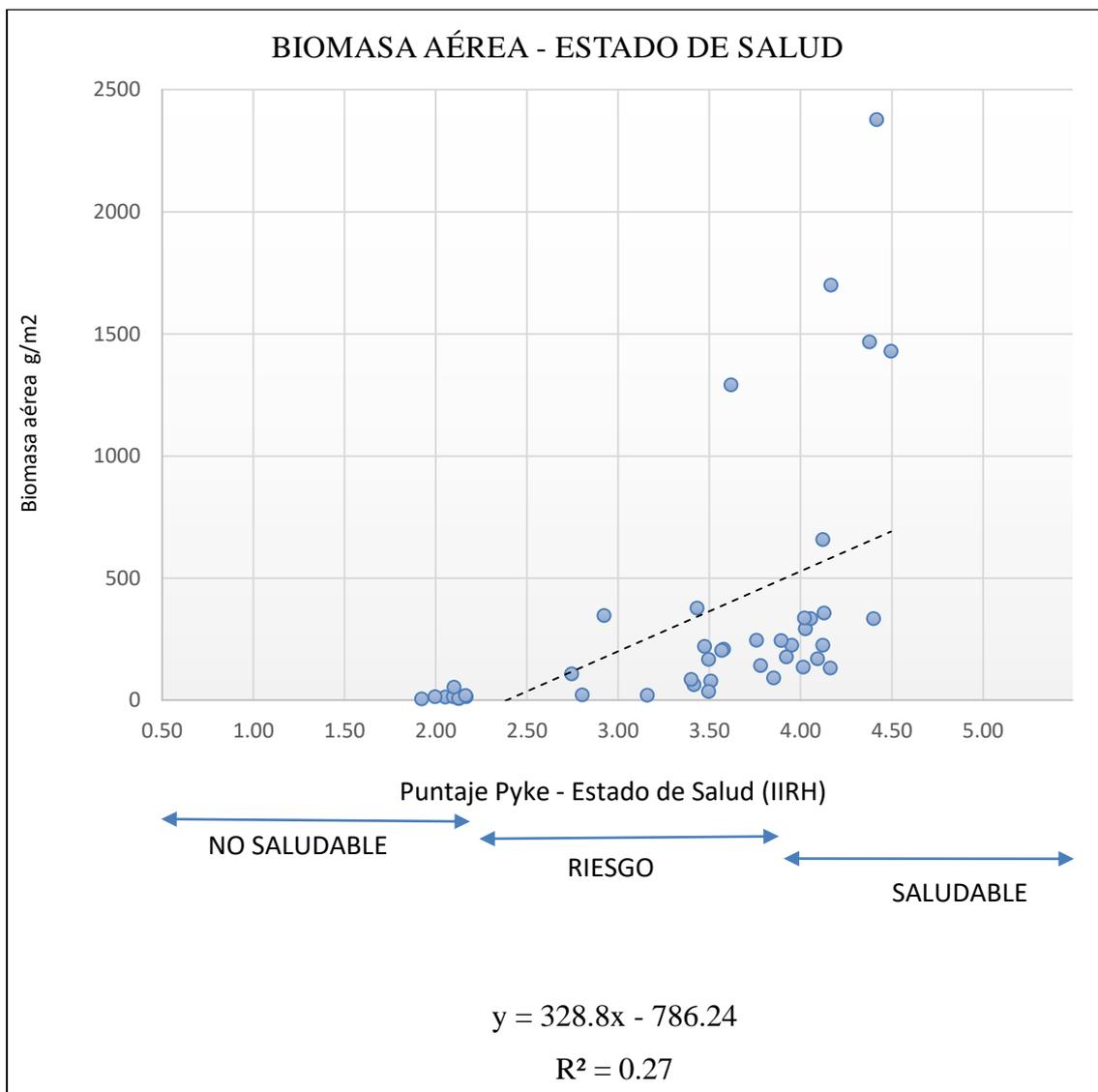
a. Variable dependiente: BIOMASA AÉREA

b. Variables predictoras: (Constante). PUNTAJE PYKE

COEFICIENTES^a

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típ.	Beta		
1 (Constante)	-786.242	289.43		-2.72	.01
PUNTAJE PYKE	328.797	82.99	.52	3.96	.00

a. Variable dependiente: BIOMASA AÉREA



Anexo 41: Análisis de Sensibilidad de Biomasa Aérea: Correlación

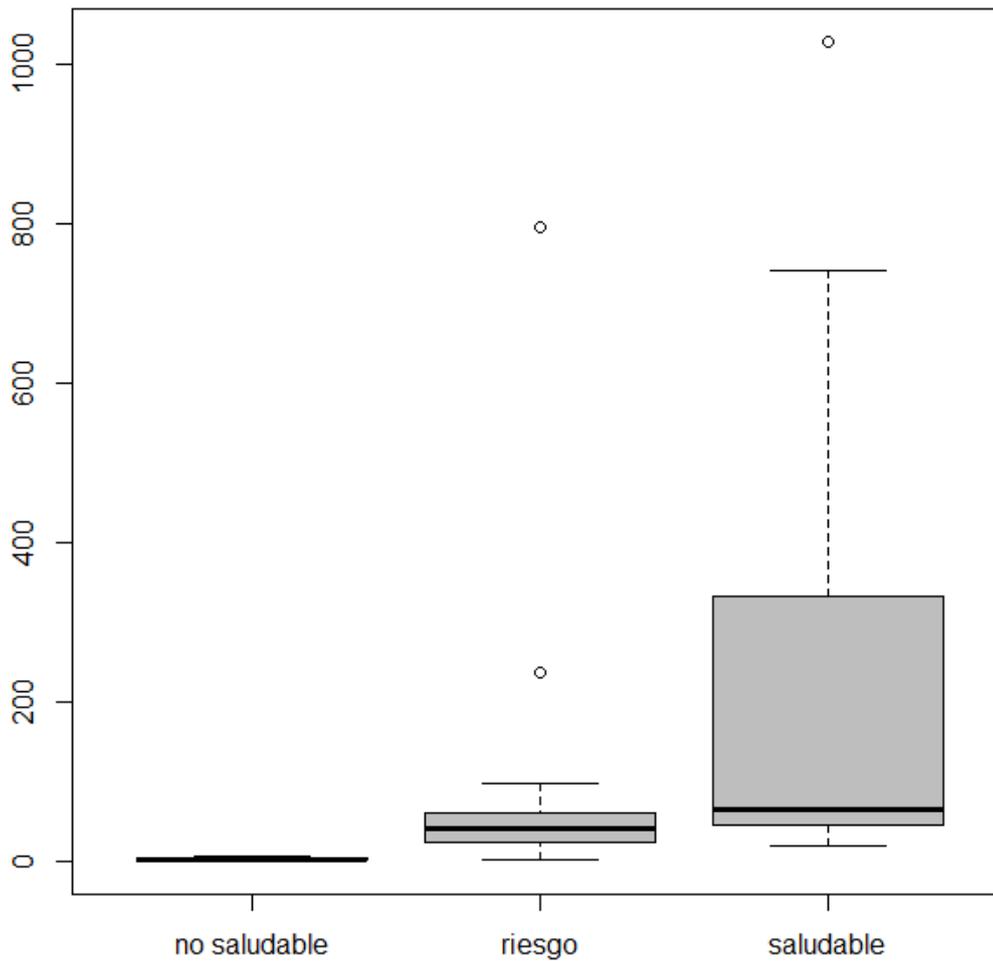
		PUNTAJE PYKE	BIOMASA
PUNTAJE PYKE	Correlación de Pearson	1	.52**
	Sig. (bilateral)		.00
	N	44	44
BIOMASA	Correlación de Pearson	.52**	1
	Sig. (bilateral)	.00	
	N	44	44

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

Anexo 42: Análisis de Sensibilidad de Mantillo: Exploración de datos

Min.	1.64
1st Qu.	6.39
Median	42.35
Mean	131.85
3rd Qu.	69.68
Máx.	1029.00

MANTILLO vs ESTADO DE SALUD



Promedio de Mantillo según Estado de Salud del Pastizal g/m ²		
No saludable	Riesgo	Saludable
3.71	98.57	232.62

Anexo 43: Análisis de Sensibilidad de Mantillo: Regresión Lineal Simple

Variables introducidas/eliminadas^a

Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	PUNTAJE PYKE ^b	.	Introducir

a. Variable dependiente: MANTILLO

b. Todas las variables solicitadas introducidas.

Resumen del modelo

Modelo	R	R ²	R ² ajustado	Error estándar de la estimación
1	.47 ^a	.22	.20	212.46

a. Variables predictoras: (Constante). MANTILLO

ANOVA^a

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1 Regresión	536870.12	1	536870.12	11.90	.00 ^b
Residuo	1895769.39	42	45137.37		
Total	2432639.51	43			

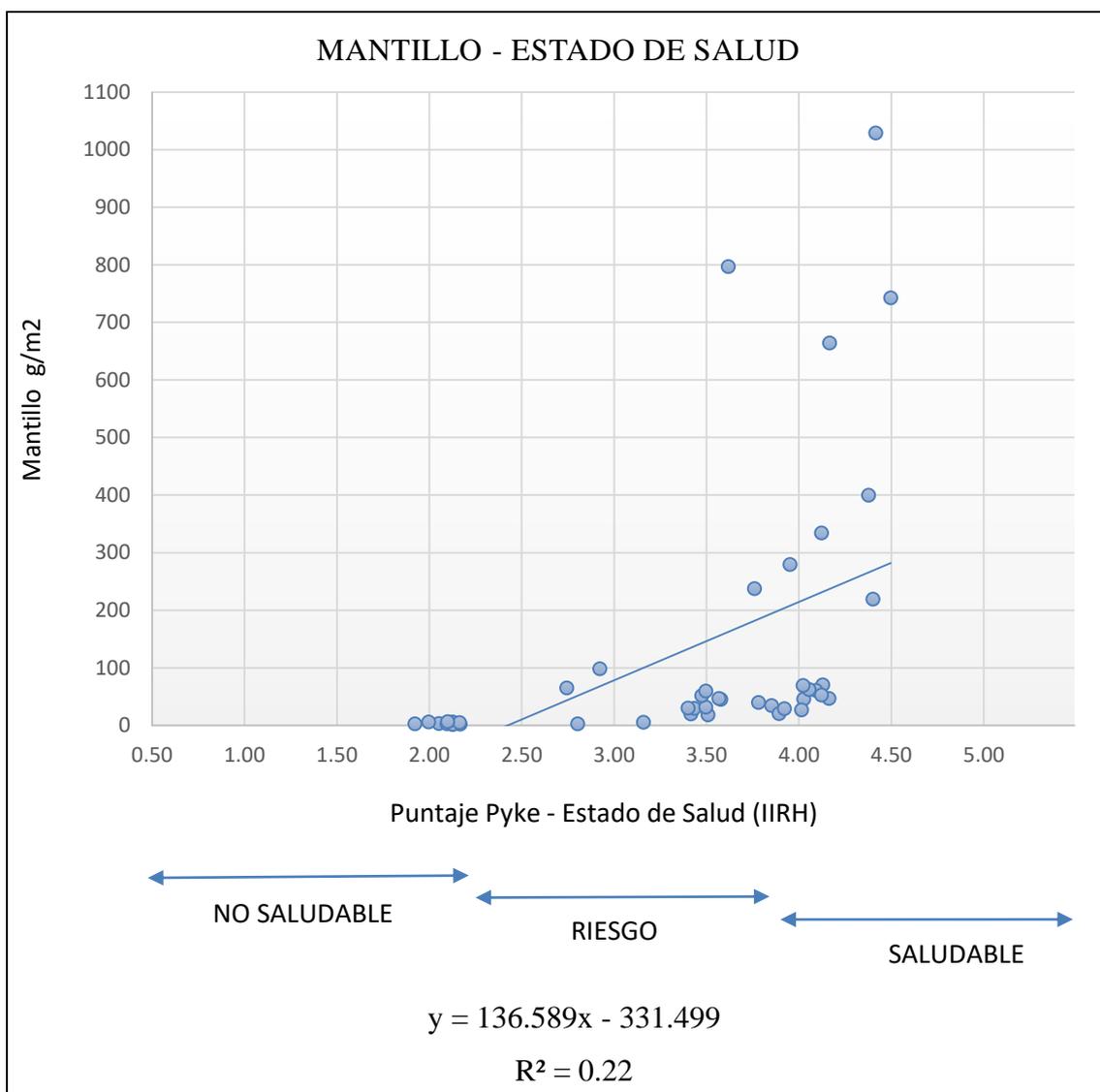
a. Variable dependiente: MANTILLO

b. Variables predictoras: (Constante). PUNTAJE PYKE

Coefficientes^a

Modelo	Coefficients no estandarizados		Coefficients estandarizados	t	Sig.
	B	Error típ.	Beta		
1 (Constante)	-331.499	138.12		-2.40	.02
PUNTAJE PYKE	136.589	39.61	.47	3.45	.00

a. Variable dependiente: MANTILLO



Anexo 44: Análisis de Sensibilidad de Mantillo: Correlación

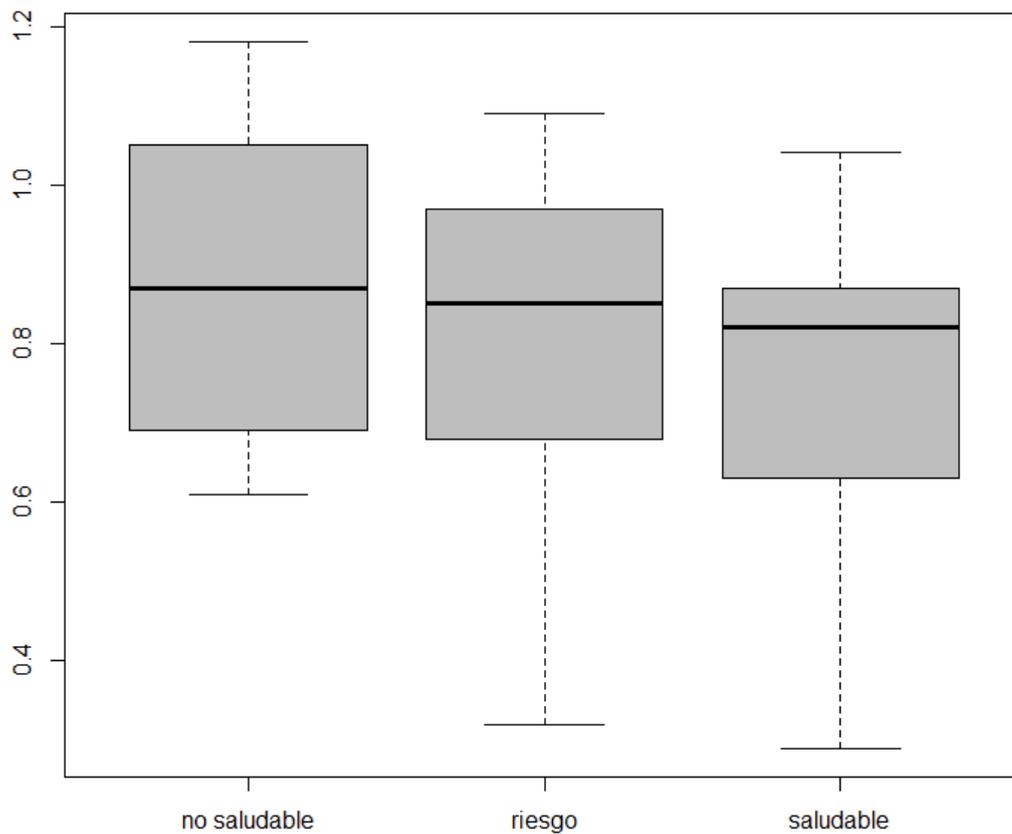
		PUNTAJE PYKE	MANTILLO
PUNTAJE PYKE	Correlación de Pearson	1	.47**
	Sig. (bilateral)		.00
	N	44	44
MANTILLO	Correlación de Pearson	.47**	1
	Sig. (bilateral)	.00	
	N	44	44

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

**Anexo 45: Análisis de Sensibilidad de Diversidad Botánica de Grupos Funcionales:
Exploración de datos**

Min.	0.29
1st Qu.	0.68
Median	0.83
Mean	0.81
3rd Qu.	0.94
Máx.	1.18

DIVERSIDAD DE GRUPOS FUNCIONALES DE PLANTAS vs ESTADO DE SALUD



Promedio de Diversidad Botánica de Grupos Funcionales según Estado de Salud del Pastizal		
No saludable	Riesgo	Saludable
0.88	0.81	0.77

Anexo 46: Análisis de Sensibilidad de Diversidad Botánica de Grupos Funcionales:

Regresión Lineal Simple

VARIABLES INTRODUCIDAS/ELIMINADAS^a

Modelo	VARIABLES INTRODUCIDAS	VARIABLES ELIMINADAS	Método
1	PUNTAJE PYKE ^b	.	Introducir

a. Variable dependiente: DIVERSIDAD GRUPOS FUNCIONALES

b. Todas las variables solicitadas introducidas.

Resumen del modelo

Modelo	R	R ²	R ² ajustado	Error estándar de la estimación
1	.20 ^a	.04	.02	.20

a. Variables predictoras: (Constante). DIVERSIDAD GRUPOS FUNCIONALES

ANOVA^a

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1 Regresión	.07	1	.07	1.82	.18 ^b
1 Residuo	1.69	42	0.4		
1 Total	1.76	43			

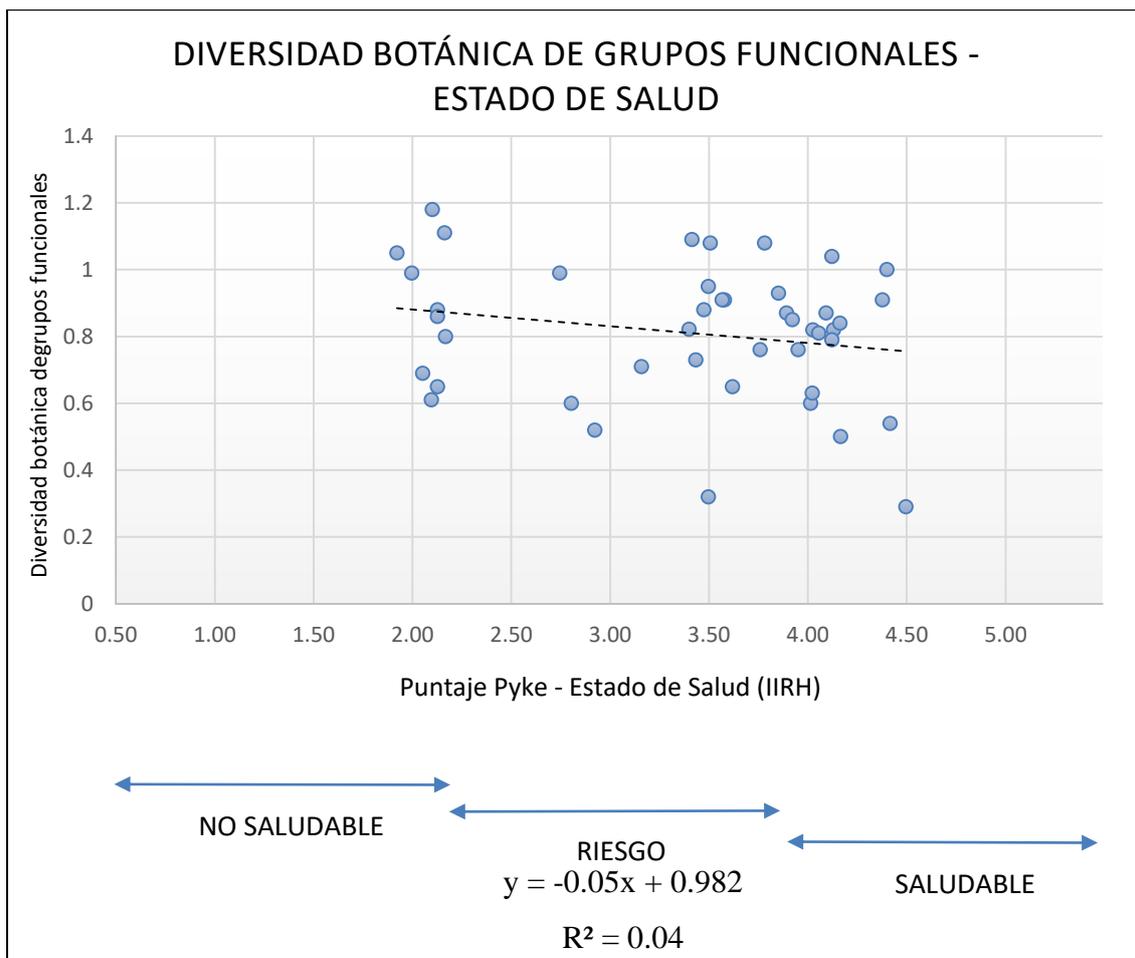
a. Variable dependiente: DIVERSIDAD GRUPOS FUNCIONALES

b. Variables predictoras: (Constante). PUNTAJE PYKE

Coefficientes^a

Modelo	Coefficients no estandarizados		Coefficients estandarizados	t	Sig.
	B	Error típ.	Beta		
1 (Constante)	.982	.13		7.54	.00
1 PUNTAJE PYKE	-.05	.04	-.20	-1.35	.18

a. Variable dependiente: DIVERSIDAD GRUPOS FUNCIONALES



**Anexo 47: Análisis de Sensibilidad de Diversidad Botánica de Grupos Funcionales:
Correlación**

		PUNTAJE PYKE	DIVERSIDAD BOTÁNICA DE GRUPOS FUNCIONALES
PUNTAJE PYKE	Correlación de Pearson	1	-.20
	Sig. (bilateral)		.18
	N	44	44
DIVERSIDAD BOTÁNICA DE GRUPOS FUNCIONALES	Correlación de Pearson	-.20	1
	Sig. (bilateral)	.18	
	N	44	44

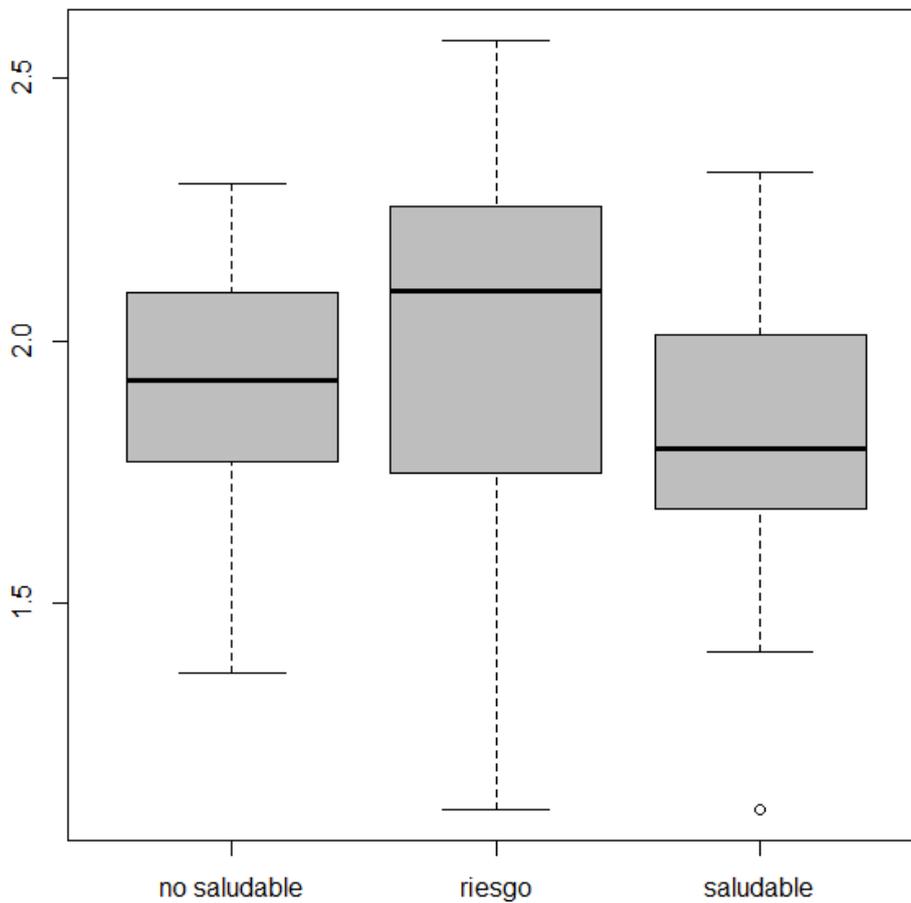
** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Anexo 48: Análisis de Sensibilidad de Diversidad Botánica de Plantas Perennes:

Exploración de datos

Min.	1.11
1st Qu.	1.72
Median	1.93
Mean	1.90
3rd Qu.	2.10
Máx.	2.57

DIVERSIDAD DE PLANTAS PERENNES vs ESTADO DE SALUD



Promedio de Diversidad Botánica de Plantas Perennes según Estado de Salud del Pastizal		
No saludable	Riesgo	Saludable
1.89	2.03	1.80

Anexo 49: Análisis de Sensibilidad de Diversidad Botánica de Plantas Perennes:

Regresión Lineal Simple

VARIABLES INTRODUCIDAS/ELIMINADAS^a

Modelo	VARIABLES INTRODUCIDAS	VARIABLES ELIMINADAS	Método
1	PUNTAJE PYKE ^b	.	Introducir

a. Variable dependiente: DIVERSIDAD PLANTAS PERENNES

b. Todas las variables solicitadas introducidas.

RESUMEN DEL MODELO

Modelo	R	R ²	R ² ajustado	Error estándar de la estimación
1	.13 ^a	.02	-.01	.33

a. Variables predictoras: (Constante). DIVERSIDAD PLANTAS PERENNES

ANOVA^a

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1 Regresión	.07	1	.07	.67	.42 ^b
1 Residuo	4.60	42	.11		
1 Total	4.68	43			

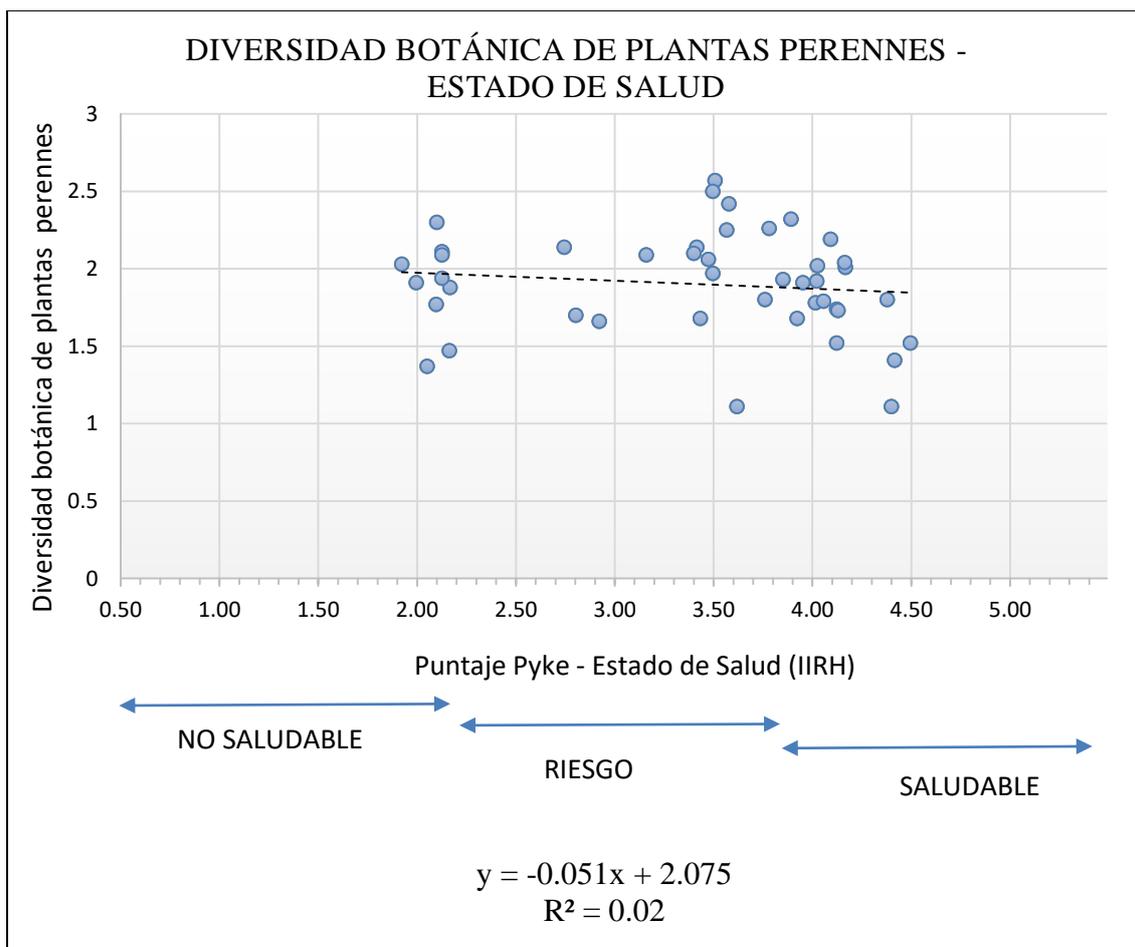
a. Variable dependiente: DIVERSIDAD PLANTAS PERENNES

b. Variables predictoras: (Constante). PUNTAJE PYKE

COEFICIENTES^a

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típ.	Beta		
1 (Constante)	2.075	.22		9.64	.00
1 PUNTAJE PYKE	-.051	.06	-.13	-.82	.42

a. Variable dependiente: DIVERSIDAD PLANTAS PERENNES



**Anexo 50: Análisis de Sensibilidad de Diversidad Botánica de Plantas Perennes:
Correlación**

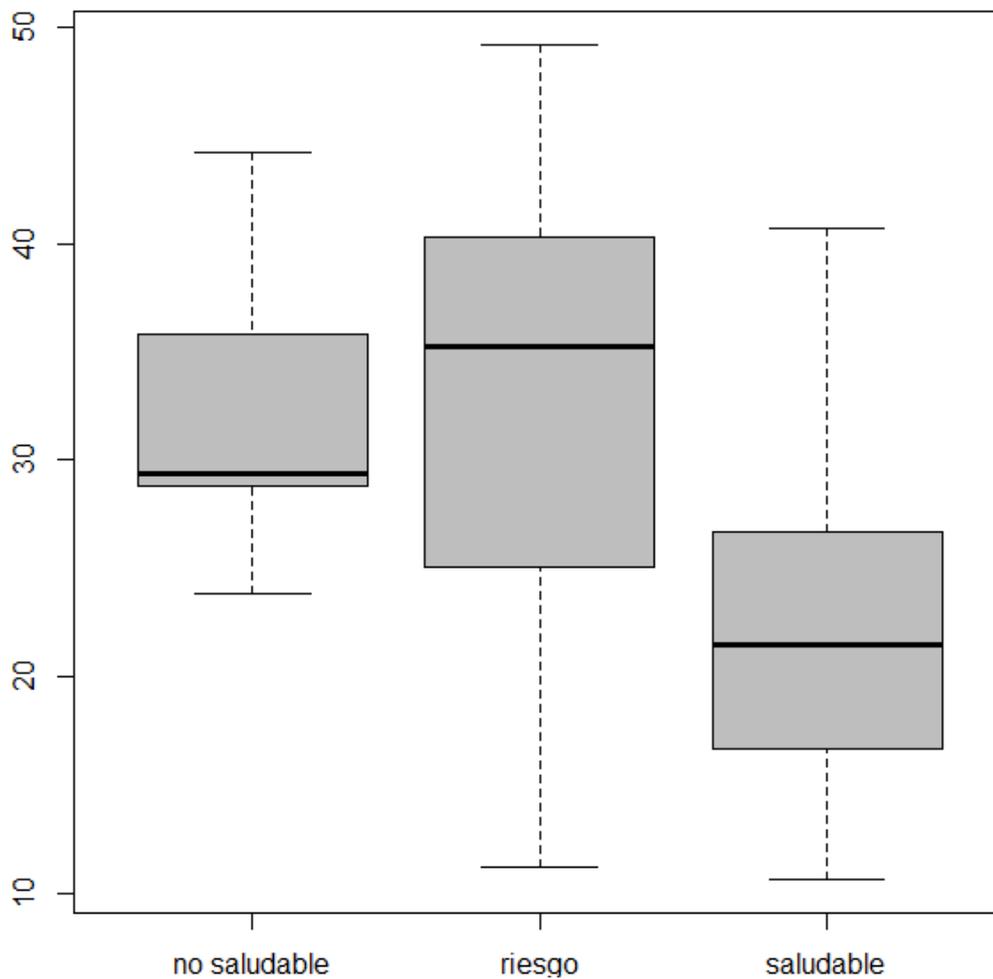
		PUNTAJE PYKE	DIVERSIDAD BOTÁNICA DE PLANTAS PERENNES
PUNTAJE PYKE	Correlación de Pearson	1	-.13
	Sig. (bilateral)		.42
	N	44	44
DIVERSIDAD BOTÁNICA DE PLANTAS PERENNES	Correlación de Pearson	-.13	1
	Sig. (bilateral)	.42	
	N	44	44

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

Anexo 51: Análisis de Sensibilidad de Plantas Invasoras: Exploración de datos

Min.	10.71
1st Qu.	21.00
Median	27.75
Mean	27.95
3rd Qu.	35.99
Máx.	49.14

PLANTAS INVASORAS vs ESTADO DE SALUD



Promedio de Plantas Invasoras según Estado de Salud del Pastizal %		
No saludable	Riesgo	Saludable
32.17	31.89	22.10

Anexo 52: Análisis de Sensibilidad de Plantas Invasoras: Regresión Lineal Simple

Variables introducidas/eliminadas^a

Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	PUNTAJE PYKE ^b	.	Introducir

a. Variable dependiente: PLANTAS INVASORAS

b. Todas las variables solicitadas introducidas.

Resumen del modelo

Modelo	R	R ²	R ² ajustado	Error estándar de la estimación
1	.46 ^a	.21	.19	8.65

a. Variables predictoras: (Constante). PLANTAS INVASORAS

ANOVA^a

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1 Regresión	822.12	1	822.12	10.98	.00 ^b
Residuo	3145.34	42	74.89		
Total	3967.46	43			

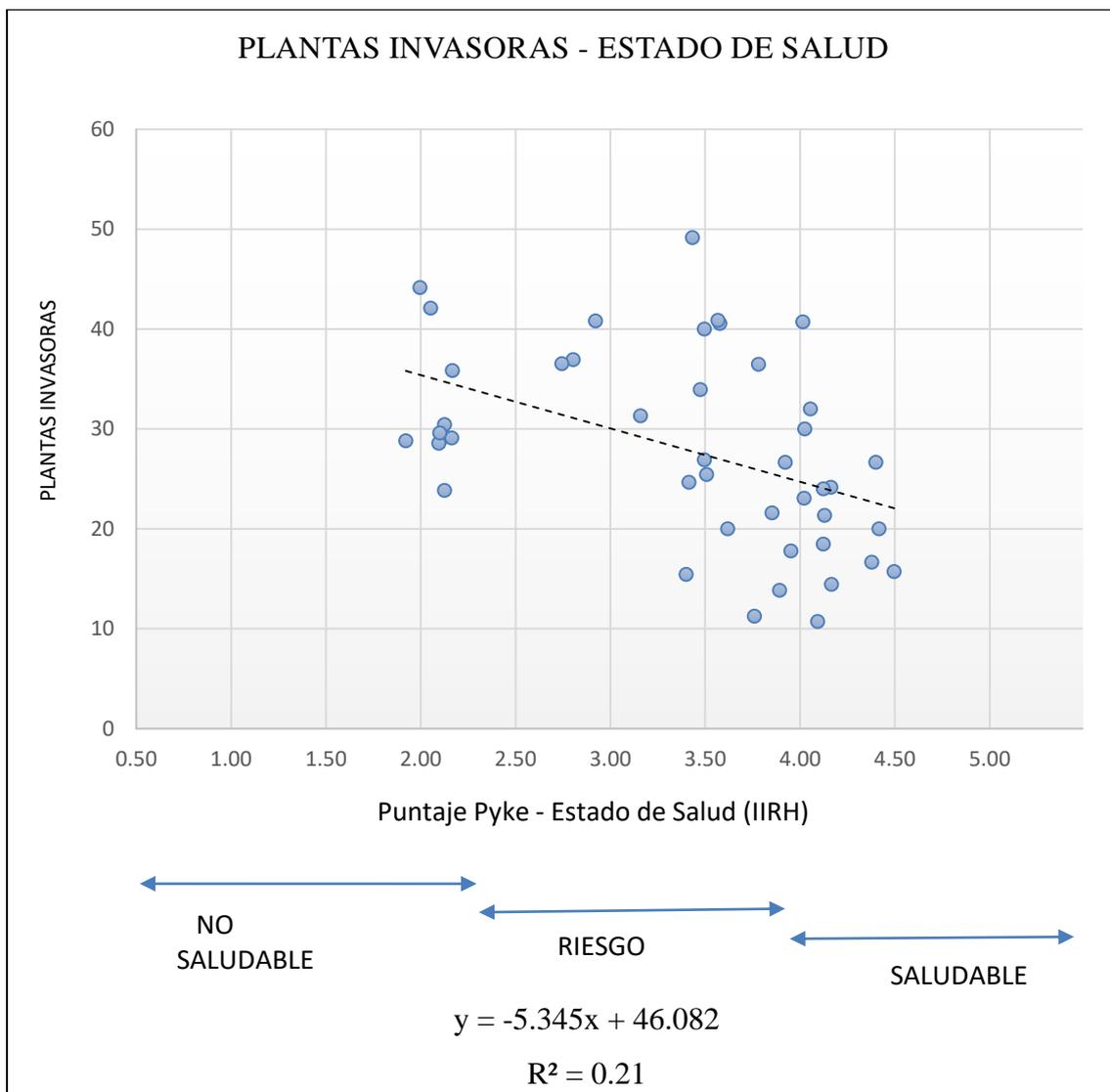
a. Variable dependiente: PLANTAS INVASORAS

b. Variables predictoras: (Constante). PUNTAJE PYKE

Coefficientes^a

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típ.	Beta		
1 (Constante)	46.082	5.63		8.19	.00
PUNTAJE PYKE	-5.345	1.61	-.46	-3.31	.00

a. Variable dependiente: PLANTAS INVASORAS



Anexo 53: Análisis de Sensibilidad de Plantas Invasoras: Correlación

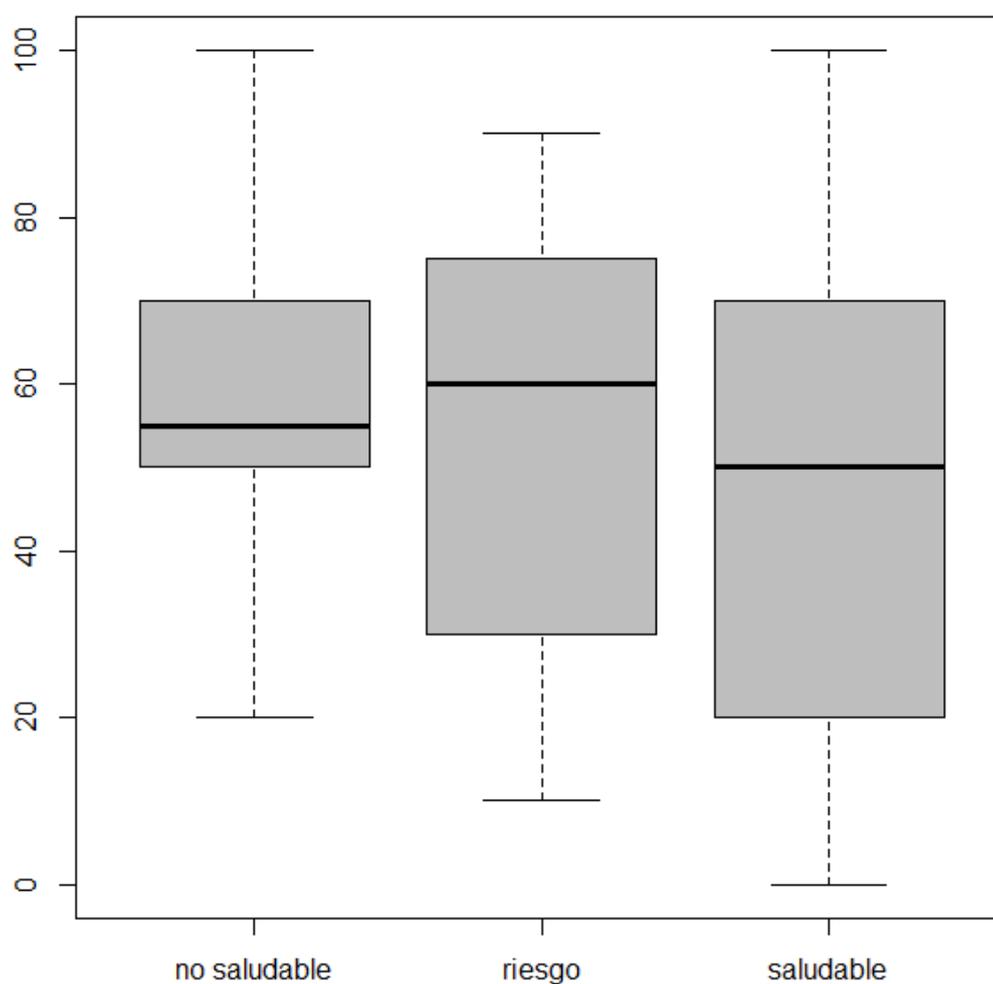
		PUNTAJE PYKE	PLANTAS INVASORAS
PUNTAJE PYKE	Correlación de Pearson	1	-.46**
	Sig. (bilateral)		.00
	N	44	44
PLANTAS INVASORAS	Correlación de Pearson	-.46**	1
	Sig. (bilateral)	.00	
	N	44	44

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

Anexo 54: Análisis de Sensibilidad de Mortalidad de Plantas: Exploración de datos

Min.	0.00
1st Qu.	30.00
Median	55.00
Mean	52.05
3rd Qu.	70.00
Máx.	100.00

MORTALIDAD DE PLANTAS vs ESTADO DE SALUD



Promedio de Mortalidad de Plantas según Estado de Salud del Pastizal %		
No saludable	Riesgo	Saludable
62.00	52.50	46.11

Anexo 55: Análisis de Sensibilidad de Mortalidad de Plantas: Regresión Lineal

Simple

VARIABLES INTRODUCIDAS/ELIMINADAS^a

Modelo	VARIABLES INTRODUCIDAS	VARIABLES ELIMINADAS	Método
1	PUNTAJE PYKE ^b	.	Introducir

a. Variable dependiente: MORTALIDAD DE PLANTAS

b. Todas las variables solicitadas introducidas.

RESUMEN DEL MODELO

Modelo	R	R ²	R ² ajustado	Error estándar de la estimación
1	.23 ^a	.05	.03	27.31

a. Variables predictoras: (Constante). MORTALIDAD DE PLANTAS

ANOVA^a

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1 Regresión	1779.72	1	1779.72	2.39	.13 ^b
1 Residuo	31336.19	42	746.10		
1 Total	33115.91	43			

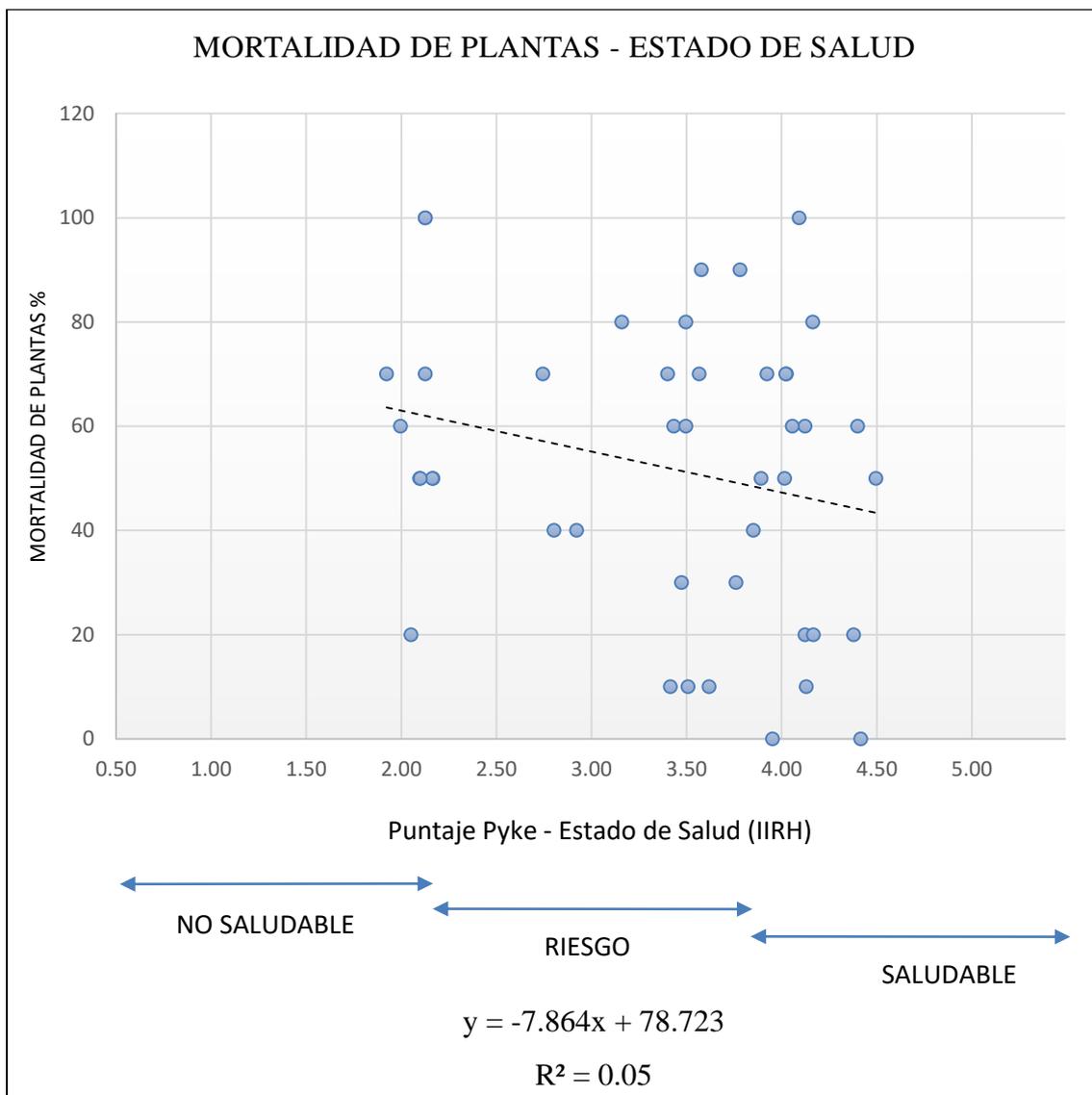
a. Variable dependiente: MORTALIDAD DE PLANTAS

b. Variables predictoras: (Constante). PUNTAJE PYKE

COEFICIENTES^a

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típ.	Beta		
1 (Constante)	78.723	17.76		4.43	.00
1 PUNTAJE PYKE	-7.86	5.09	-.23	-1.54	.13

a. Variable dependiente: MORTALIDAD DE PLANTAS



Anexo 56: Análisis de Sensibilidad de Mortalidad de Plantas: Correlación

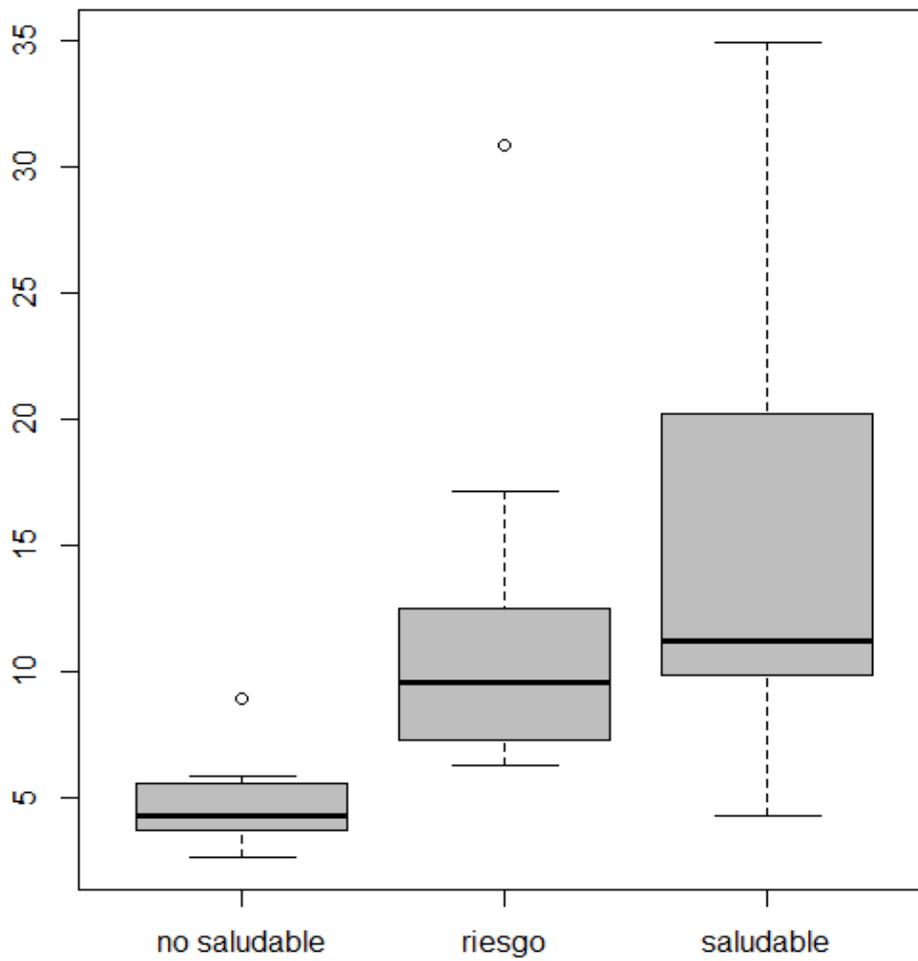
		PUNTAJE PYKE	MORTALIDAD DE PLANTAS
PUNTAJE PYKE	Correlación de Pearson	1	-.23
	Sig. (bilateral)		.13
	N	44	44
MORTALIDAD DE PLANTAS	Correlación de Pearson	-.23	1
	Sig. (bilateral)	.13	
	N	44	44

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

Anexo 57: Análisis de Sensibilidad de Materia Orgánica: Exploración de datos

Min.	2.70
1st Qu.	6.21
Median	9.69
Mean	11.29
3rd Qu.	12.21
Máx.	34.94

MATERIA ORGÁNICA vs ESTADO DE SALUD



Promedio de Materia Orgánica según Estado de Salud del Pastizal %		
No saludable	Riesgo	Saludable
4.78	11.30	14.91

Anexo 58: Análisis de Sensibilidad de Materia Orgánica: Regresión Lineal Simple

Variables introducidas/eliminadas^a

Modelo	VARIABLES INTRODUCIDAS	VARIABLES ELIMINADAS	Método
1	PUNTAJE PYKE ^b	.	Introducir

a. Variable dependiente: MATERIA ORGÁNICA

b. Todas las variables solicitadas introducidas.

Resumen del modelo

Modelo	R	R ²	R ² ajustado	Error estándar de la estimación
1	.49 ^a	.24	.22	6.79

a. Variables predictoras: (Constante). MATERIA ORGÁNICA

ANOVA^a

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1 Regresión	610.51	1	610.51	13.24	.00 ^b
Residuo	1936.92	42	46.12		
Total	2547.43	43			

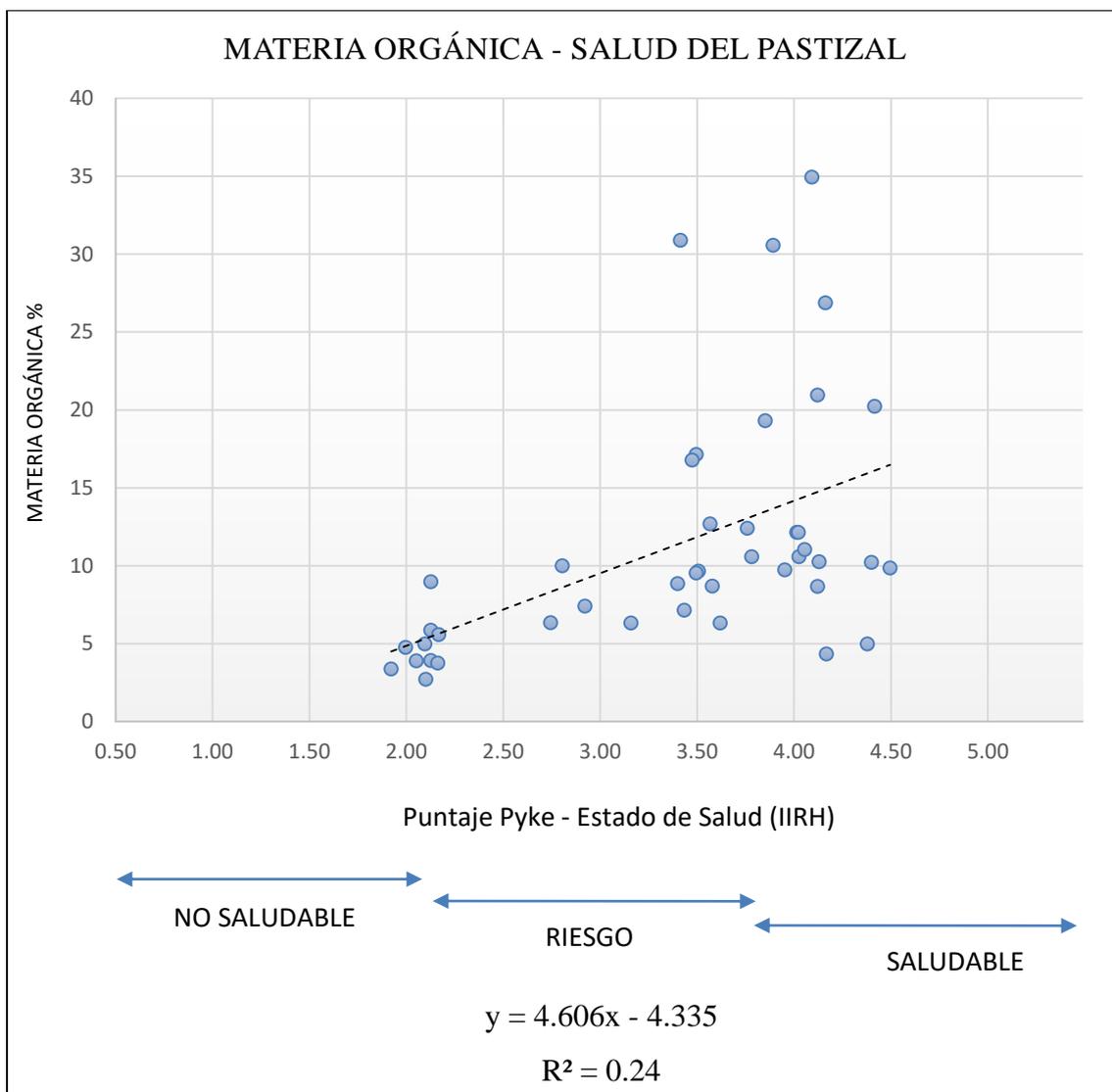
a. Variable dependiente: MATERIA ORGÁNICA

b. Variables predictoras: (Constante). PUNTAJE PYKE

Coefficientes^a

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típ.	Beta		
1 (Constante)	-4.34	4.42		-.98	.33
PUNTAJE PYKE	4.61	1.27	.49	3.64	.00

a. Variable dependiente: MATERIA ORGÁNICA



Anexo 59: Análisis de Sensibilidad de Materia Orgánica: Correlación

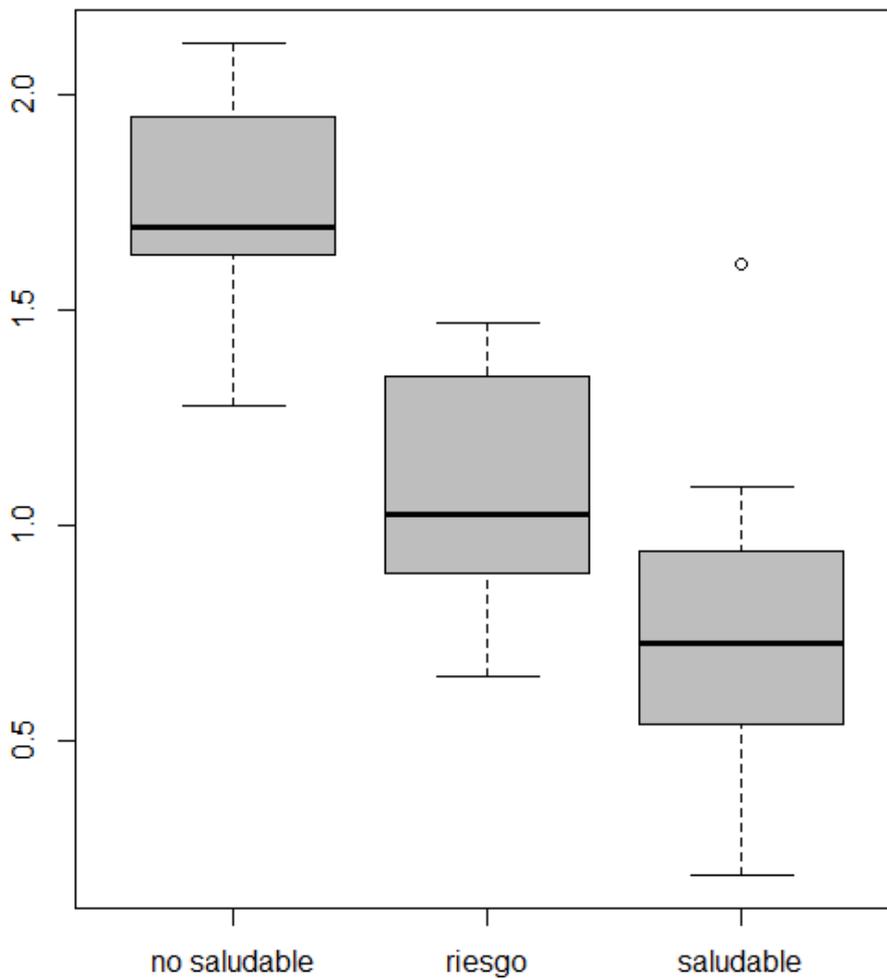
		PUNTAJE PYKE	MATERIA ORGÁNICA
PUNTAJE PYKE	Correlación de Pearson	1	.49**
	Sig. (bilateral)		.00
	N	44	44
MATERIA ORGÁNICA	Correlación de Pearson	.49**	1
	Sig. (bilateral)	.00	
	N	44	44

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

Anexo 60: Análisis de Sensibilidad de Densidad Aparente: Exploración de datos

Min.	0.19
1st Qu.	0.73
Median	1.03
Mean	1.11
3rd Qu.	1.51
Máx.	2.12

DENSIDAD APARENTE vs ESTADO DE SALUD



Promedio de Densidad Aparente según Estado de Salud del Pastizal g/cm ³		
No saludable	Riesgo	Saludable
1.75	1.07	0.78

Anexo 61: Análisis de Sensibilidad de Densidad Aparente: Regresión Lineal Simple

Variables introducidas/eliminadas^a

Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	PUNTAJE PYKE ^b	.	Introducir

a. Variable dependiente: DENSIDAD APARENTE

b. Todas las variables solicitadas introducidas.

Resumen del modelo

Modelo	R	R ²	R ² ajustado	Error estándar de la estimación
1	.77 ^a	.59	.58	.32

a. Variables predictoras: (Constante). DENSIDAD APARENTE

ANOVA^a

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.	
1	Regresión	6.14	1	6.14	60.46	.00 ^b
	Residuo	4.26	42	.10		
	Total	10.40	43			

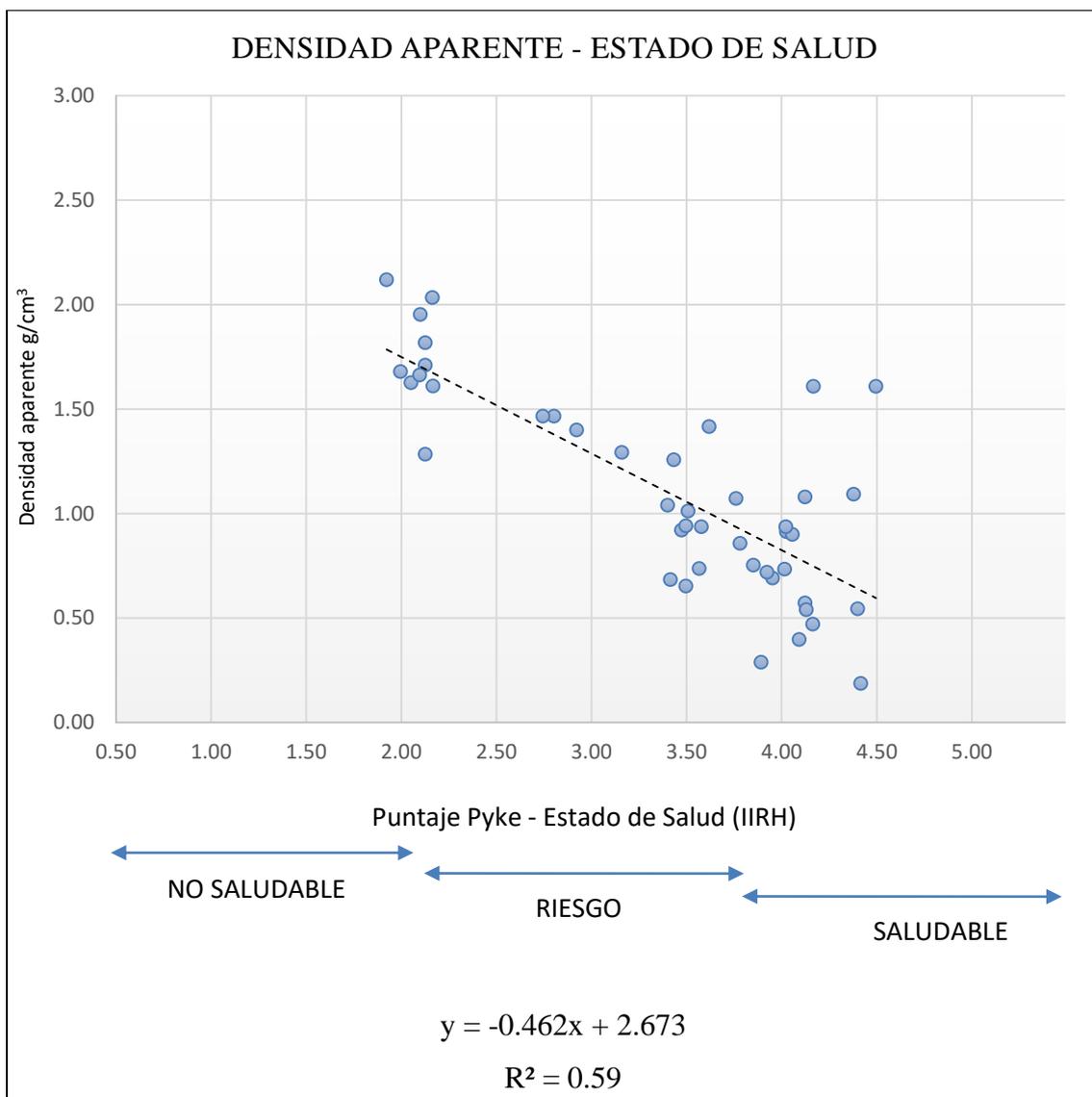
a. Variable dependiente: DENSIDAD APARENTE

b. Variables predictoras: (Constante). PUNTAJE PYKE

Coefficientes^a

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típ.	Beta		
1	(Constante)	2.67	.21	12.91	.00
	PUNTAJE PYKE	-.46	.06	-.77	.00

a. Variable dependiente: DENSIDAD APARENTE



Anexo 62: Análisis de Sensibilidad de Densidad Aparente: Correlación

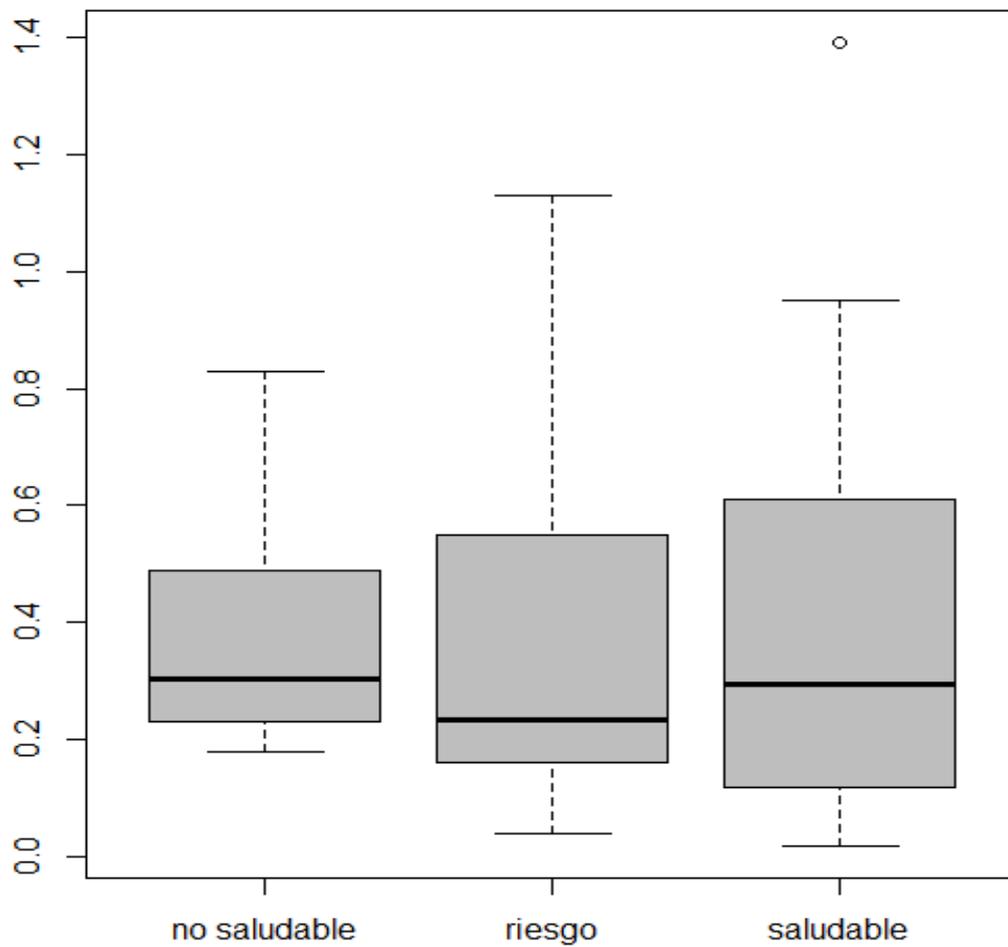
		PUNTAJE PYKE	DENSIDAD APARENTE
PUNTAJE PYKE	Correlación de Pearson	1	-.77**
	Sig. (bilateral)		.00
	N	44	44
DENSIDAD APARENTE	Correlación de Pearson	-.77**	1
	Sig. (bilateral)	.00	
	N	44	44

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

Anexo 63: Análisis de Sensibilidad de Tasa de Infiltración: Exploración de datos

Min.	0.02
1st Qu.	0.16
Median	0.29
Mean	0.37
3rd Qu.	0.53
Máx.	1.39

TASA DE INFILTRACIÓN vs ESTADO DE SALUD



Promedio de Densidad Aparente según Estado de Salud del Pastizal mm/min		
No saludable	Riesgo	Saludable
0.37	0.35	0.39

Anexo 64: Análisis de Sensibilidad de Tasa de Infiltración: Regresión Lineal Simple

Variables introducidas/eliminadas^a

Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	PUNTAJE PYKE ^b	.	Introducir

a. Variable dependiente: TASA DE INFILTRACIÓN

b. Todas las variables solicitadas introducidas.

Resumen del modelo

Modelo	R	R ²	R ² ajustado	Error estándar de la estimación
1	.02 ^a	.00	-.02	.31

a. Variables predictoras: (Constante). TASA DE INFILTRACIÓN

ANOVA^a

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1					
Regresión	.00	1	.00	.02	.90 ^b
Residuo	4.08	42	.10		
Total	4.08	43			

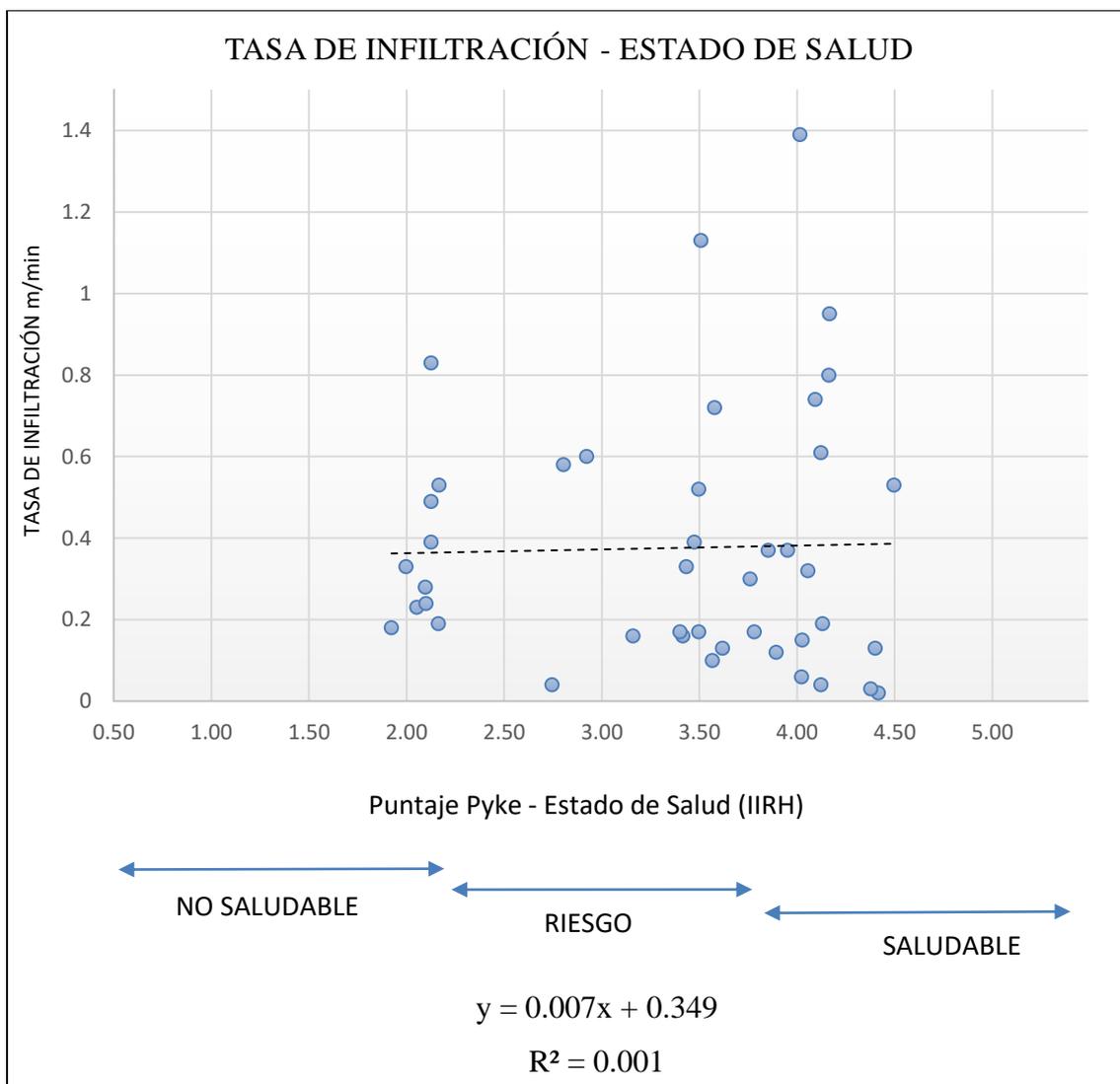
a. Variable dependiente: TASA DE INFILTRACIÓN

b. Variables predictoras: (Constante). PUNTAJE PYKE

Coefficientes^a

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típ.	Beta		
1					
(Constante)	.3445	.20		1.72	.00
PUNTAJE PYKE	.0094	.06	.02	.13	.00

a. Variable dependiente: TASA DE INFILTRACIÓN



Anexo 65: Análisis de Sensibilidad de Tasa de Infiltración: Correlación

		PUNTAJE PYKE	TASA DE INFILTRACIÓN
PUNTAJE PYKE	Correlación de Pearson	1	.02
	Sig. (bilateral)		.90
	N	44	44
TASA DE INFILTRACIÓN	Correlación de Pearson	.02	1
	Sig. (bilateral)	.90	
	N	44	44

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

Anexo 66: Coeficientes de las Funciones Discriminantes – Variables Completas

Nº	Variables Independientes	Coeficientes	
		LD1*	LD2**
1	Cobertura basal de la vegetación	0.0269	- 0.0039
2	Cobertura basal de pavimento de erosión	- 0.2345	0.1811
3	Cobertura basal de mantillo	0.1693	0.0360
4	Cobertura basal de suelo desnudo	0.0001	0.0083
5	Diversidad de plantas perennes	0.5063	- 3.3393
6	Diversidad botánica de grupos funcionales	- 0.6106	1.1363
7	Biomasa aérea	0.0010	0.0050
8	Mantillo	- 0.0045	- 0.0106
9	Plantas invasoras	0.0022	- 0.1172
10	Mortalidad de plantas	- 0.0036	0.0112
11	Tasa de infiltración	0.1996	1.6787
12	Materia orgánica	- 0.0026	- 0.0290
13	Densidad aparente	- 1.5358	- 2.3822
14	Cobertura basal de musgo y liquen	0.0914	- 0.2890
15	Cobertura aérea de gramínea importante	0.0098	0.0230
16	Vigor de gramínea importante	0.0476	- 0.0284

*LD1 = Función discriminante 1

** LD2 = Función discriminante 2

Anexo 67: Coeficientes de las Funciones Discriminantes – Lambda de Wilks

N°	Variables Independientes	Coeficientes	
		LD1*	LD2**
1	Cobertura basal de pavimento de erosión	- 0.2959	0.1570
2	Cobertura basal de mantillo	0.1363	- 0.0002
3	Cobertura basal de suelo desnudo	- 0.0308	- 0.0155
4	Diversidad de plantas perennes	0.9078	- 2.1962
5	Plantas invasoras	0.0200	- 0.0724
6	Densidad aparente	- 1.4613	- 1.6027
7	Cobertura basal de musgo y liquen	0.1102	- 0.3034
8	Vigor de gramínea importante	0.0320	- 0.0090

*LD1 = Función discriminante 1

** LD2 = Función discriminante 2

Anexo 68: Coeficientes de las Funciones Discriminantes – Paquete R Boruta

N°	Variables Independientes	Coeficientes	
		LD1*	LD2**
1	Cobertura basal de la vegetación	0.0221	0.0603
2	Cobertura basal de pavimento de erosión	- 0.2270	0.2514
3	Cobertura basal de mantillo	0.1767	0.0364
4	Cobertura basal de suelo desnudo	- 0.0068	0.0625
5	Diversidad de plantas perennes	0.1624	- 2.5120
6	Biomasa aérea	0.0014	0.0045
7	Mantillo	- 0.0048	- 0.0110
8	Plantas invasoras	- 0.0026	- 0.1051
9	Materia orgánica	- 0.0052	0.0035
10	Densidad aparente	- 1.7220	- 0.9484
11	Cobertura aérea de gramínea importante	0.0152	0.0313
12	Vigor de gramínea importante	0.0326	- 0.0170

*LD1 = Función discriminante 1

** LD2 = Función discriminante 2

**Anexo 69: Resultados de Matriz de Confusión de Modelo Seleccionado –
Fase de entrenamiento**

Nº	REGION	ESTADO DE SALUD REAL	ESTADO DE SALUD PREDICHO
1	ÁNCASH	SALUDABLE	SALUDABLE
2		SALUDABLE	SALUDABLE
3		RIESGO	SALUDABLE
4		SALUDABLE	SALUDABLE
5		RIESGO	RIESGO
6		RIESGO	RIESGO
7		SALUDABLE	SALUDABLE
8		SALUDABLE	SALUDABLE
9		RIESGO	RIESGO
10		SALUDABLE	SALUDABLE
11		SALUDABLE	SALUDABLE
12	HUANCAVELICA	NO SALUDABLE	NO SALUDABLE
13		RIESGO	RIESGO
14		NO SALUDABLE	NO SALUDABLE
15		NO SALUDABLE	NO SALUDABLE
16		NO SALUDABLE	NO SALUDABLE
17		NO SALUDABLE	NO SALUDABLE
18		NO SALUDABLE	NO SALUDABLE
19		RIESGO	RIESGO
20		NO SALUDABLE	NO SALUDABLE
21		NO SALUDABLE	NO SALUDABLE
22		NO SALUDABLE	NO SALUDABLE
23	NO SALUDABLE	NO SALUDABLE	
24	LIMA	RIESGO	RIESGO
25		SALUDABLE	SALUDABLE
26		SALUDABLE	RIESGO
27		RIESGO	RIESGO
28		RIESGO	RIESGO
29		RIESGO	RIESGO
30		RIESGO	RIESGO
31		RIESGO	RIESGO
32		SALUDABLE	SALUDABLE
33		SALUDABLE	SALUDABLE
34		PASCO	SALUDABLE
35	SALUDABLE		SALUDABLE
36	SALUDABLE		SALUDABLE
37	RIESGO		RIESGO
38	RIESGO		RIESGO
39	SALUDABLE		SALUDABLE
40	SALUDABLE		SALUDABLE
41	RIESGO		RIESGO
42	RIESGO		RIESGO
43	SALUDABLE		SALUDABLE
44	SALUDABLE		SALUDABLE

MATRIZ DE CONFUSIÓN

		PREDICHO		
		No saludable	Riesgo	Saludable
REAL	No saludable	10	0	0
	Riesgo	0	15	1
	Saludable	0	1	17

Conteo Valores Reales y Predichos		
1	No saludable REAL	10
2	Riesgo REAL	16
3	Saludable REAL	18
4	No saludable PREDICHO	10
5	Riesgo PREDICHO	16
6	Saludable PREDICHO	18

Indicadores		
1	Exactitud o tasa de buena clasificación	0.95
2	Tasa de error o mala clasificación	0.05
3	Sensibilidad (No saludable)	1.00
4	Sensibilidad (Riesgo)	0.94
5	Sensibilidad (Saludable)	0.94
6	Especificidad (No saludable)	1.00
7	Especificidad (Riesgo)	0.96
8	Especificidad (Saludable)	0.96
9	Precisión (No saludable)	1.00
10	Precisión (Riesgo)	0.94
11	Precisión (Saludable)	0.94
12	Valor predictivo negativo (No saludable)	1.00
13	Valor predictivo negativo (Riesgo)	0.96
14	Valor predictivo negativo (Saludable)	0.96

Anexo 70: Resultados de Matriz de Confusión de Modelo Seleccionado – Fase de validación (género *Festuca*)

	REGION	ESTADO DE SALUD REAL	ESTADO DE SALUD PREDICHO
1	ÁNCASH	RIESGO	RIESGO
2		RIESGO	RIESGO
3		RIESGO	RIESGO
4		SALUDABLE	RIESGO
5		RIESGO	RIESGO
6	HUANCAVELICA	RIESGO	RIESGO
7		RIESGO	RIESGO
8		RIESGO	RIESGO
9		RIESGO	RIESGO
10	PASCO	SALUDABLE	RIESGO

MATRIZ DE CONFUSIÓN

		PREDICHO		
		No saludable	Riesgo	Saludable
REAL	No saludable	0	0	0
	Riesgo	0	8	0
	Saludable	0	2	0

Conteo Valores Reales y Predichos		
1	No saludable REAL	-
2	Riesgo REAL	8
3	Saludable REAL	2
4	No saludable PREDICHO	-
5	Riesgo PREDICHO	10
6	Saludable PREDICHO	-

Indicadores		
1	Exactitud o tasa de buena clasificación	0.80
2	Tasa de error o mala clasificación	0.20
3	Sensibilidad (No saludable)	-
4	Sensibilidad (Riesgo)	1.00
5	Sensibilidad (Saludable)	-
6	Especificidad (No saludable)	1.00
7	Especificidad (Riesgo)	-
8	Especificidad (Saludable)	1.00
9	Precisión (No saludable)	-
10	Precisión (Riesgo)	0.80
11	Precisión (Saludable)	-
12	Valor predictivo negativo (No saludable)	1.00
13	Valor predictivo negativo (Riesgo)	-
14	Valor predictivo negativo (Saludable)	0.80

Anexo 71: Resultados de Matriz de Confusión de Modelo Seleccionado – Fase de validación (otras especies)

N°	REGION	ESTADO DE SALUD REAL	ESTADO DE SALUD PREDICHO
1	LIMA	RIESGO	RIESGO
2		RIESGO	RIESGO
3		RIESGO	RIESGO
4		RIESGO	RIESGO
5	PASCO	SALUDABLE	RIESGO
6		SALUDABLE	RIESGO

MATRIZ DE CONFUSIÓN

		PREDICHO		
		No saludable	Riesgo	Saludable
REAL	No saludable	0	0	0
	Riesgo	0	4	0
	Saludable	0	2	0

Conteo Valores Reales y Predichos		
1	No saludable REAL	-
2	Riesgo REAL	4
3	Saludable REAL	2
4	No saludable PREDICHO	-
5	Riesgo PREDICHO	6
6	Saludable PREDICHO	-

Indicadores		
1	Exactitud o tasa de buena clasificación	0.67
2	Tasa de error o mala clasificación	0.33
3	Sensibilidad (No saludable)	-
4	Sensibilidad (Riesgo)	1
5	Sensibilidad (Saludable)	0
6	Especificidad (No saludable)	1
7	Especificidad (Riesgo)	0
8	Especificidad (Saludable)	1
9	Precisión (No saludable)	-
10	Precisión (Riesgo)	0.67
11	Precisión (Saludable)	-
12	Valor predictivo negativo (No saludable)	1
13	Valor predictivo negativo (Riesgo)	-
14	Valor predictivo negativo (Saludable)	0.67

