

Relaciones entre variables agro edafológicas de cuatro mezclas forrajeras con índices de vegetación en tres etapas de corte

Sarmiento Salazar, Juan Diego

Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Trabajo de Titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Agropecuario

Ing. Pérez Guerrero, Patricio Alejandro, Ph. D.

5 de agosto de 2022



Introducción

La superficie de suelo destinada a la agricultura en Ecuador corresponde a 5.018.121 hectáreas de las cuales para pastoreo se destina un 55.45%, dentro de este promedio el 41.60% corresponde a pasto sembrado y 13.85% a pasto natural. (León et al., 2018).



Para el ámbito agrícola el suelo es considerado como un activo no renovable y es indispensable para la producción pecuaria ya que brinda una fuente de alimentos de bajo costo y con alto contenido de nutrientes.

En la actualidad el uso de tecnologías aeroespaciales nos brinda una herramienta para mejorar el rendimiento de los cultivos, esto en un mundo globalizado y de continuo crecimiento es de gran ayuda ya que la superficie terrestre para la producción agrícola no está aumentando mientras que la población si aumenta, al igual que la necesidad de alimentos de alto valor nutricional y bajo costo (Sönmez et al., 2008).



Justificación

El aumento de la población mundial en la actualidad está llevando a que la agricultura ocasione cambios negativos a los recursos naturales como al suelo y agua, en nuestro país el recurso suelo se encuentra con grandes retos ya que la explosión demográfica cada vez mayor reduce las áreas para explotación agropecuaria produciendo una baja producción de alimentos



Con este rápido crecimiento poblacional también se han creado nuevas tecnologías como son los sensores remotos fusionados con la agricultura nos permiten predecir, controlar y precautelar los cultivos de posibles pérdidas. Con el uso de estos sensores se pueden calcular los índices de vegetación siendo estos una herramienta para mejorar la percepción del manejo tanto de los cultivos como de los recursos naturales

En el presente estudio se incluirá tecnología en los procesos agropecuarios, mediante la comparación de productos de sensores remotos a partir de los índices de vegetación y suelo; estos, permitirán desarrollar un modelo predictivo a partir de las respuestas espectrales características de cada muestra de proporción forrajera con la finalidad de obtener un modelo que permita predecir tanto las variables edafológicas como las agrícolas de la pastura; puesto que los métodos de evaluación tradicionales de estas variables demandan una elevada cantidad de tiempo, costo y mano de obra para obtener resultados producibles.



Objetivos

Objetivo general

- Determinar la relación entre variables agro edafológicas de cuatro mezclas forrajeras con tres índices de vegetación en tres etapas de corte.

Objetivos específicos

- Evaluar las variables agras edafológicas de cuatro mezclas forrajeras en tres etapas de corte.
- Determinar la relación entre las variables agro edafológicas y tres índices de vegetación.



Marco teórico

Al suelo se lo puede considerar como una conjunción de diversas partículas de procedencia tanto orgánica como inorgánica, estos serán distintos dependiendo del lugar de procedencia ya que su composición se ve influida directamente por los cambios físicos, químicos y naturales

Suelo

Textura

Estructura

Porosidad del suelo

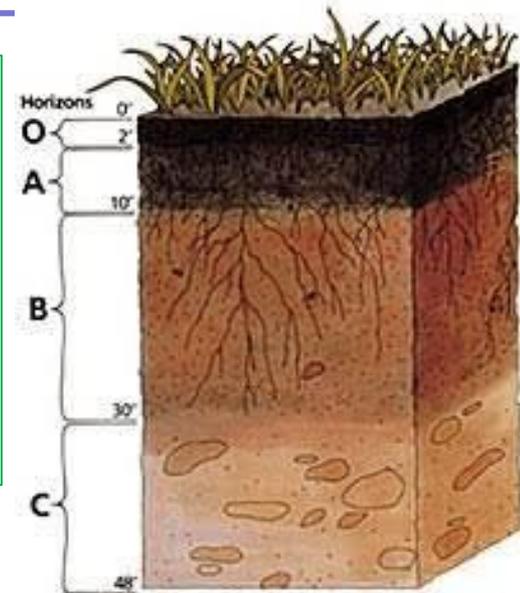
La textura se define como el contenido de las partículas de diferente tamaño definiendo a estas partículas como arena, limo y arcilla.

Es la unión de agregados que da estabilidad en el tiempo y espacio.

Propiedades químicas del suelo

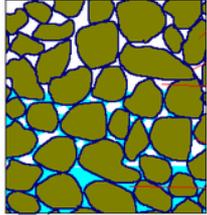
La porosidad es una relación del volumen que considera el volumen de vacíos y el volumen total de la masa de suelo, el volumen de vacíos.

Los minerales y la materia orgánica serán las principales influencias para las propiedades químicas del suelo porque dominaran de forma directa los nutrientes y su disponibilidad en el suelo



Variables agroedafológicas

Humedad del suelo



Una definición precisa de la humedad de suelo es, la cantidad de agua presente por volumen de suelo en un sitio determinado.

Compactación del suelo

La compactación del suelo es un fenómeno que puede ser causado por seres vivos o de forma natural en el cual se altera la estructura del suelo (Blanco-Sepúlveda, 2009), este proceso se da en suelos que se encuentran sin agua en sus poros, se le aplica una fuerza durante un tiempo corto sin que se expulse la totalidad de agua (Laureda et al., 2016)

Rendimiento de pasturas

El rendimiento se entiende como producción total del pasto por hectárea de terreno utilizado y se mide usualmente en toneladas métricas por hectárea (T.M./ha.) (Hernández-Garay et al., 2012). El rendimiento de un cultivo está estrechamente ligado a tres características genéticas: productividad potencial, rusticidad y condiciones ambientales (Espitia et al., 2012)



Pastos

Para los animales herbívoros con fines de explotación productiva sea de leche o de carne, los pastos constituyen la principal fuente de nutrientes para su alimentación, siendo esta una herramienta principal para mejorar la producción animal.

Gramíneas

Las gramíneas representan el porcentaje más grande e importante de forraje para la alimentación de ganado.



Leguminosas

Las leguminosas son plantas que tienen la capacidad de sintetizar altos niveles de proteína,

Rye Grass perenne (*Lolium perenne*)

El Rye grass perenne crece en macollos con hojas cortas sin la presencia de vellosidades y rígidas plegadas en la yema, en el envés se observa un color verdoso oscuro muy brillante, los tallos vegetativos son erectos, con abundantes hojas que surgen intravaginalmente.

Trébol blanco (*Trifolium repens*)

Es una leguminosa que está presente en las praderas ecuatorianas esto debido a su rebrote, y cantidad de proteína que contiene. El trébol blanco es una planta de crecimiento postrado que se desarrolla en base a tallos rastreros denominados estolones que cumplen una función equivalente a los macollos en las gramíneas





Teledetección

La teledetección es una técnica que permite la toma, procesamiento y análisis de un objeto, área o fenómeno situado a distancia sobre la superficie terrestre, marina o atmósfera, a través de imágenes capturadas por medio de sensores aéreos o espaciales (Chuvieco, 2006).

Firma espectral

La firma espectral es única por cada objeto, esto permite visualizar el comportamiento en términos de energía reflejada, frente a la longitud de onda que se conoce como curva espectral.



Índices de vegetación

Índice de vegetación normalizada NDVI

Índice de coloración CI

Índice de suelo ajustado a la vegetación SAVI



Ubicación del experimento

Figura 1

Imagen satelital de la ubicación del lugar de investigación



Nota: Ubicación del experimento Estación experimental Santa Catalina.

Provincia: Pichincha

Cantón: Mejía

Sector: Cutuglagua

Latitud: 0°22'00" S

Taxonomía del suelo

Tabla 3

Taxonomía del suelo

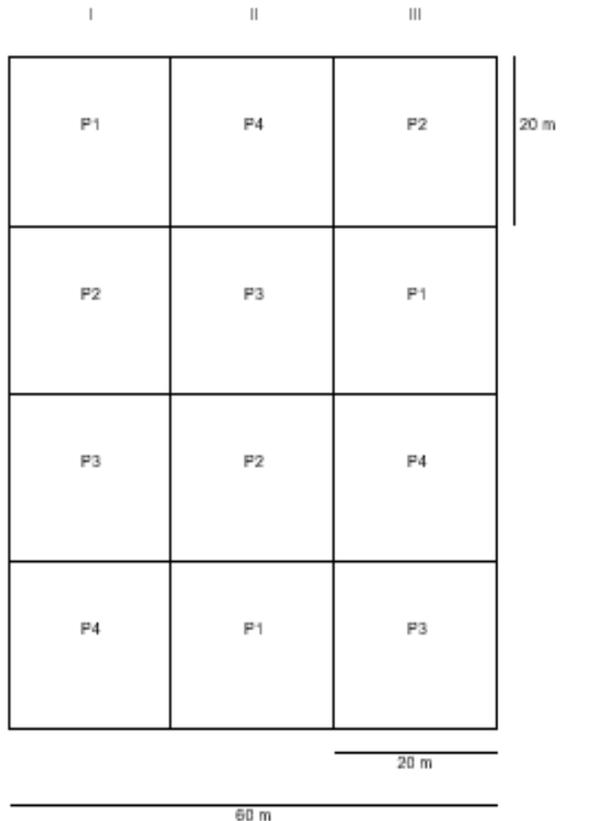
Detalle	Características
Orden	Andisols
Suborden	Udands
Gran grupo	Hapludands
Subgrupo	Vitric hapludands
Textura	Franco

Nota: ~~Color Negro~~ taxonomía del suelo presente en la Estación experimental de Santa Catalina.



Figura 2

Croquis experimental aplicado al ensayo



El experimento se dispuso bajo un diseño completamente al azar con 3 repeticiones. Cada una de las bebidas preparadas que constituyó la unidad experimental, en total se usaron 12 unidades experimentales.

Tabla 3. Descripción de los tratamientos del experimento

Tratamiento	Código	descripción
T1	P1	0% trébol blanco y 100% rye grass perenne
T2	P2	10% trébol blanco y 90% rye grass perenne
T3	P3	20% trébol blanco y 80% rye grass perenne
T4	P4	30% trébol blanco y 70% rye grass perenne

El modelo matemático fue:

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

$$r_{xy} = \frac{\sum Z_x Z_y}{N}$$

$$Y = a + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_k x_k + error$$



Metodología

Se delimitó 12 parcelas experimentales en cada localidad con las siguientes dimensiones; 20 m de ancho por 20 m de largo siendo cada parcela de 400 m².



Las semillas fueron distribuidas uniformemente al voleo en forma manual en cada parcela, finalmente se realizó el tapado de las semillas utilizando un rastrillo.



Se realizaron fertilizaciones de fondo, desarrollo y mantenimiento del experimento de acuerdo a la recomendación que establece el Programa de Ganadería y Pastos de la Estación. Las dosis que se aplicó fueron de 80 kg ha⁻¹ de N, 76 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 12 kg ha⁻¹ de CaO.

Se realizó el pastoreo directo entre los 30 a 35 días, en el estado fenológico completo del pasto para su nuevo aprovechamiento. Los indicativos fenológicos que muestran que las plantas están listas para ser aprovechadas son: para el rye grass perenne cuando tengan tres hojas por macollo y en el trébol blanco cuando empiecen a aparecer las primeras inflorescencias.



VARIABLES A MEDIR

VARIABLES AGROEDAFOLÓGICAS

- Humedad gravimétrica
- Compactación del suelo
- Rendimiento de pasturas



DATOS ESPECTRALES

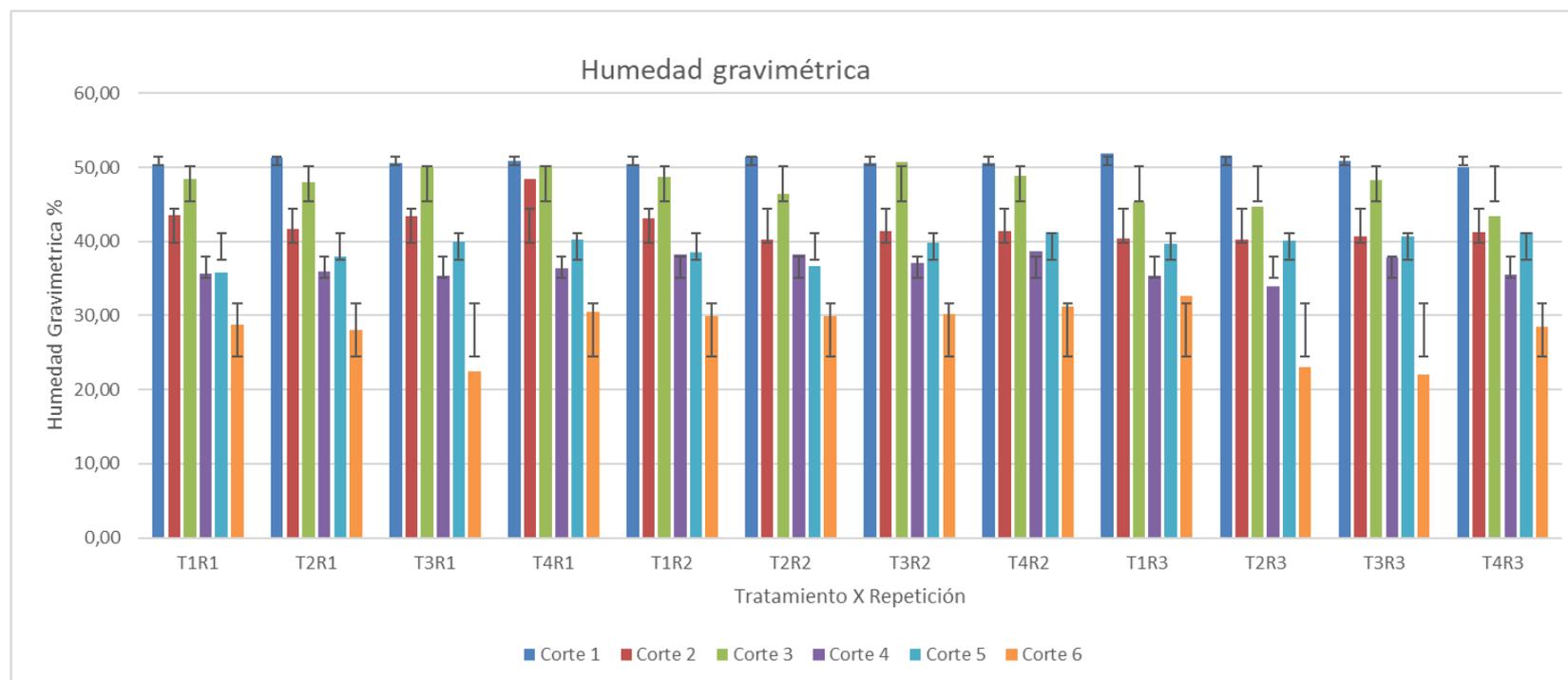
- NDVI
- SAVI
- CI



Humedad gravimétrica

Figura 3

Grafica de humedad gravimétrica por tratamiento y repetición vs corte



La prueba de Tukey al 5% aplicado a los promedios de la media para el tratamiento, repeticiones y el corte nos muestra que, si hay una diferencia significativamente alta solo para la variable corte, los cortes 1, 3 y 5 que corresponde a la humedad presente en el suelo antes del pastoreo es significativamente más alta a los cortes 2, 4 y 6 que correspondes a la humedad presente en el suelo después del pastoreo.

Figura 4

Correlación de Pearson entre la humedad gravimétrica y NDVI

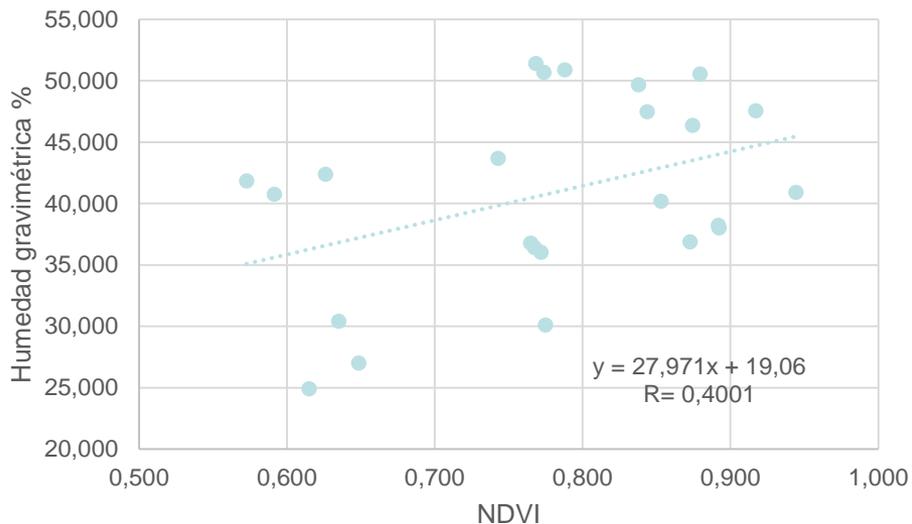


Figura 5

Correlación de Pearson entre la humedad gravimétrica y SAVI

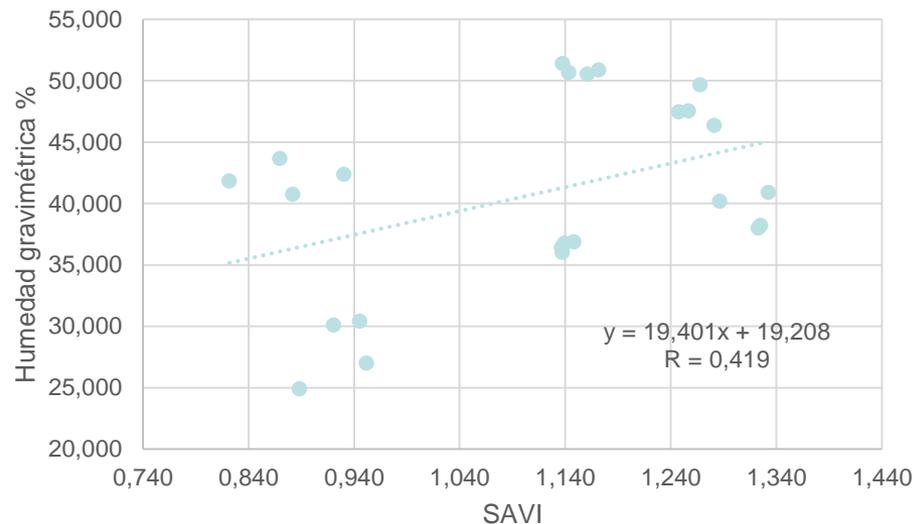
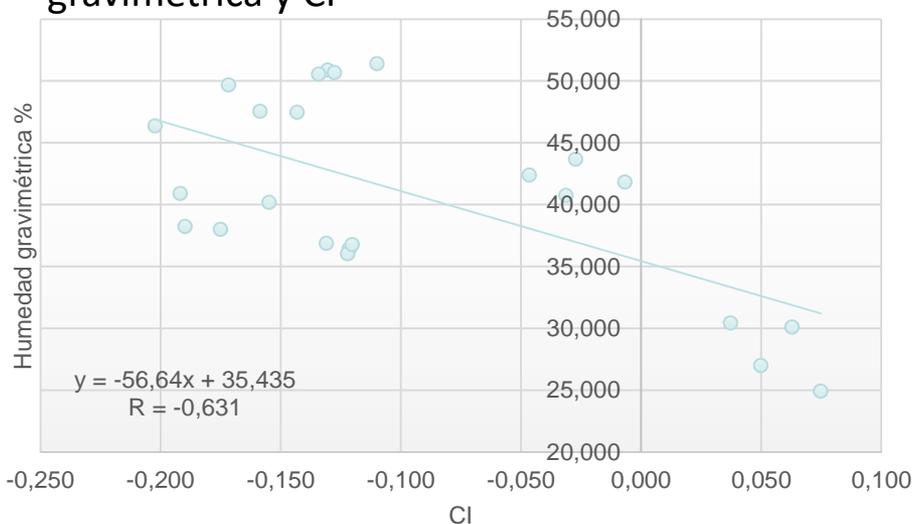


Figura 6

Correlación de Pearson entre la humedad gravimétrica y CI



Análisis de regresión multivariable

Tabla 4.
Coeficientes de regresión y estadísticos asociados.

Coef	Est	E.E	LI	LS	T	P-valor	CpMallows
Const	48.88	1.25	46.42	51.33	39.06	<0.0001	
CI	132.41	3.26	138.79	126.02	40.67	<0.0001	1656.43
SAVI^2	-21.60	0.98	-23.52	-19.68	-22.04	<0.0001	487.72
NDVI	8.10	2.35	3.49	12.72	3.45	0.0006	13.87

Tabla 5.
Análisis de la varianza para comprobar el modelo.

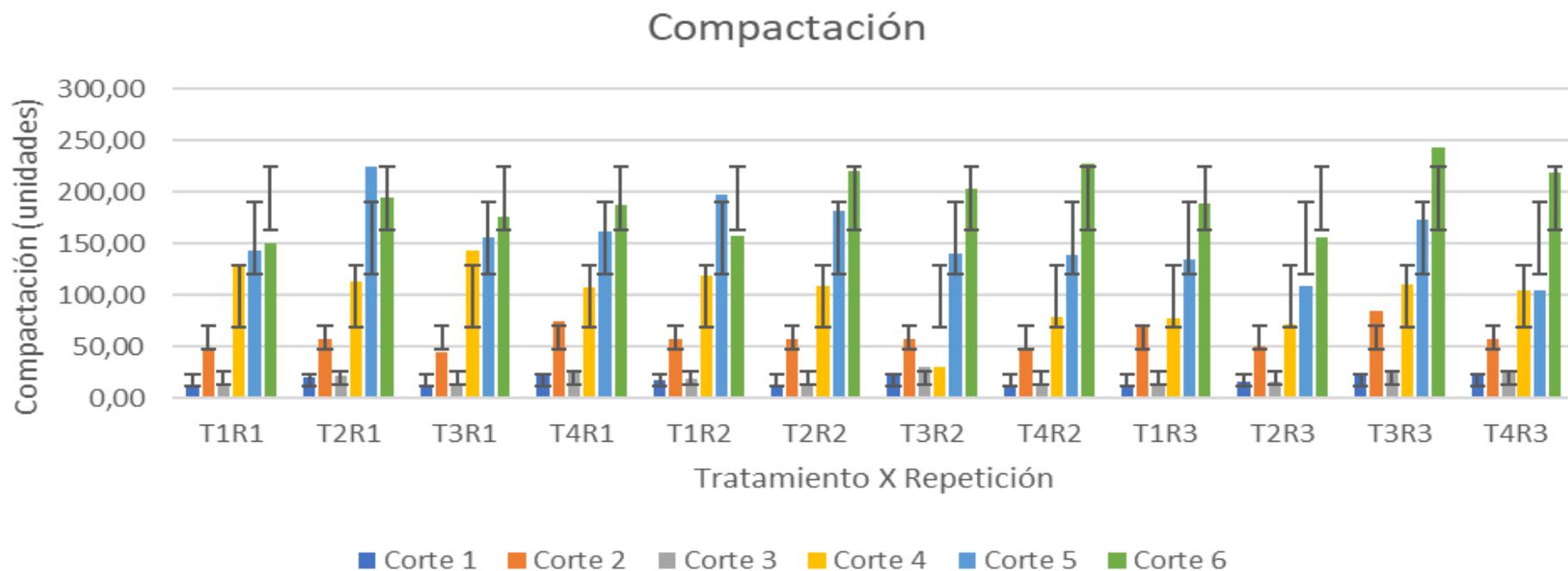
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	19248.40	3	6416.13	812.52	<0.0001
NDVI	98.19	1	98.19	12.44	0.0004
CI	12968.71	1	12968.71	1642.32	<0.0001
SAVI	3799.67	1	3799.67	481.18	<0.0001
Error	15951.04	2020	7.90		
Total	35199.45	2023			

$$\text{Humedad gravimétrica} = 48.88 - 132.41 \text{ CI} - 21.60 \text{ SAVI}^2 + 8.10 \text{ NDVI} + 7.882$$



Figura 7

Grafica de compactación de suelo por tratamiento y repetición vs corte



En la prueba de Tukey al 5% aplicada al corte se observa una diferencia significativamente alta para las medias de la compactación en el suelo que va en orden de ascendente a descendente observando que en el corte 6 correspondiente al tercer corte después del pastoreo presenta una media más alta en comparación a los demás cortes igual se observa una diferencia entre el corte 2 correspondiente al primer corte después del pastoreo y el corte 3 correspondiente al segundo corte antes del pastoreo mismo que tiene una media de compactación más baja en comparación al corte 2.



Tabla 6.

Coeficientes de regresión y estadísticos asociados.

Coef	Est	E.E	LI	LS	T	P-valor	CpMallows
Const	-99.09	6.08	-111.02	-87.16	-16.29	<.0001	
CI	1367.23	29.14	1310.09	1424.37	46.93	<0.0001	2203.17
SAVI^2	256.33	6.79	243.01	269.65	37.74	<0.0001	1425.06

Tabla 7.

Análisis de la varianza para comprobar el modelo.

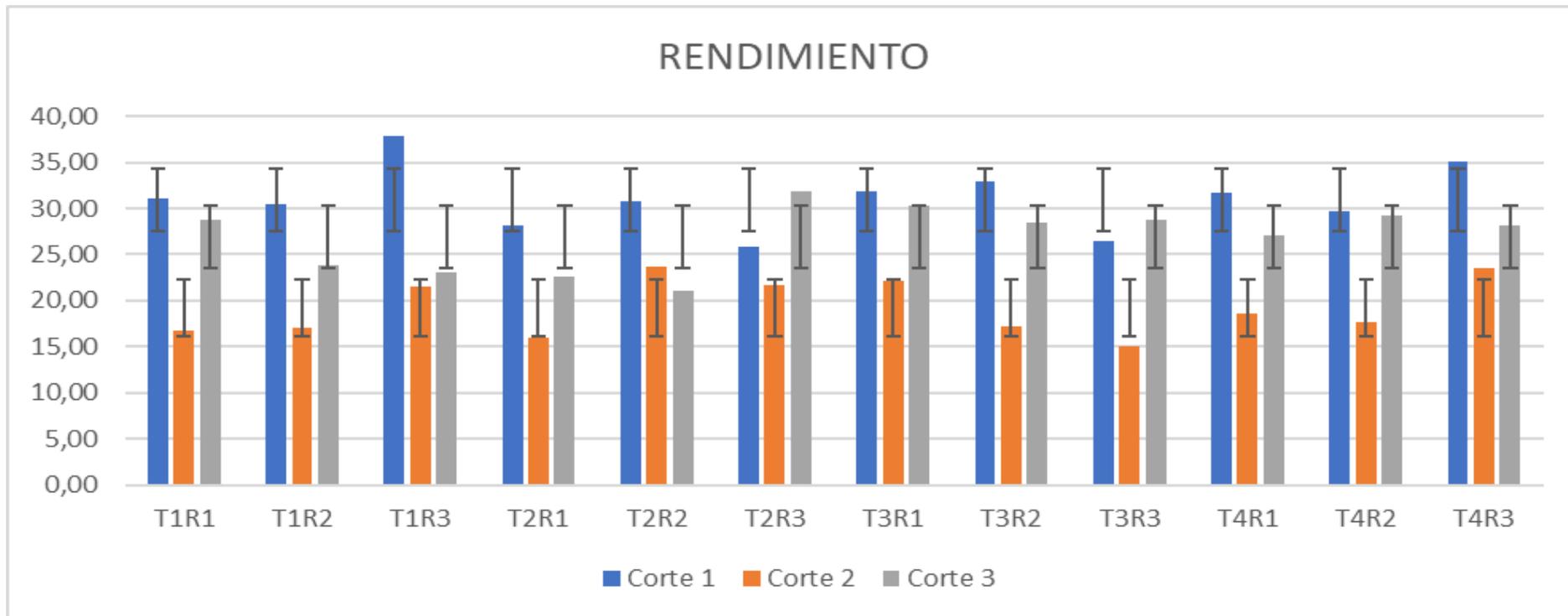
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1487133.71	4	371783.43	589.15	<0.0001
NDVI	1827.29	1	1827.29	2170.00	0.0890
CI	1369370.69	1	1369370.69	2170.0	<0.0001
SAVI	502587.23	2	251293.61	389.22	<0.0001
Error	1274082.78	2019	631.05		
Total	2761216.49	2023			

$$\text{Compactación del suelo} = -99.09 + 1367.23CI + 256.33SAVI^2 + 631.52$$



Figura 11

Grafica de Rendimiento por tratamiento y repetición vs corte

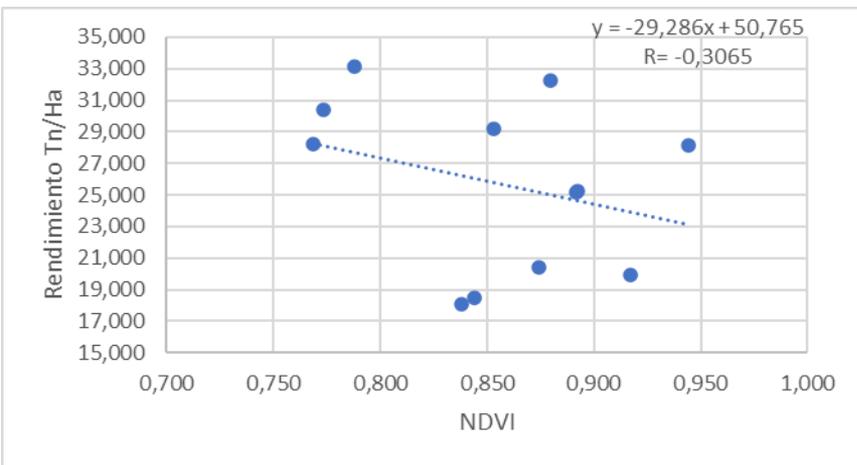


En la prueba de Tukey al 5% aplicada para los tratamientos, corte y repeticiones se puede observar en la figura 11 que es la única que presenta diferencias significativamente altas ordenado de forma descendente podemos ver que en el primer corte se obtiene un rendimiento de pasturas más alto con una media de 30.99 seguido por el tercer corte con una media de 26.93 y el segundo corte con el menor rendimiento teniendo una media de 19.22. Los datos de rendimiento se tomaron y transformaron a toneladas por hectárea para su mejor comprensión.

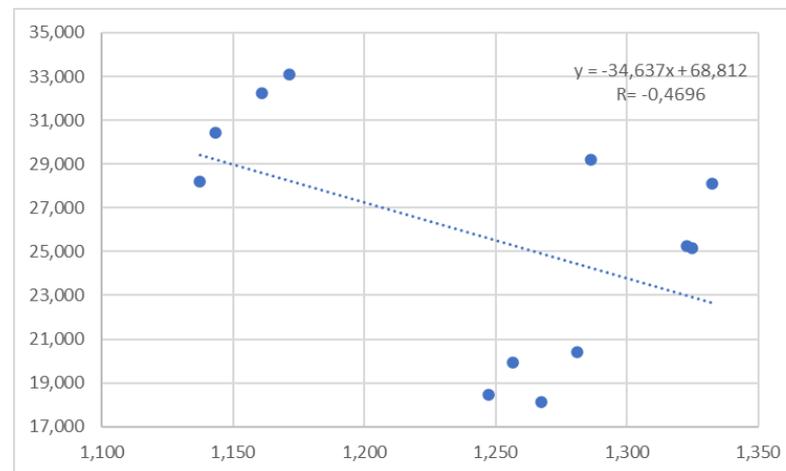


Figura 12

Correlación de Pearson entre rendimiento y NDVI

**Figura 13**

Correlación de Pearson entre rendimiento y SAVI

**Figura 14**

Correlación de Pearson entre rendimiento y CI

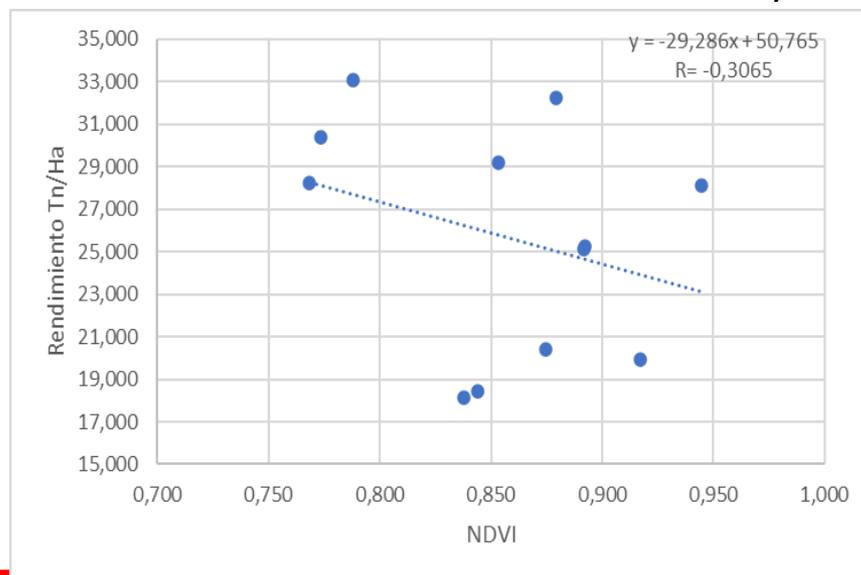


Tabla 8.

Coeficientes de regresión y estadísticos asociados.

Coef	Est	E.E	LI	LS	T	P-valor	CpMallows
Const	54.35	3.74	47.01	61.69	14.53	<.0001	
SAVI	-27.59	4.32	-36.07	-19.12	-6.39	<0.0001	42.80
CI	44.24	9.05	26.47	62.01	4.89	<0.0001	25.88
NDVI	14.81	4.19	6.58	23.04	3.53	0.0004	14.48

Tabla 9.

Análisis de la varianza para comprobar el modelo.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	549.72	3	183.24	101.45	<0.0001
NDVI	22.54	1	22.54	12.48	0.0004
SAVI	73.69	1	73.69	40.80	<0.0001
CI	43.14	1	43.14	23.88	<0.0001
Error	1661.79	920	1.81		
Total	2211.51	923			

$$\text{Rendimiento} \frac{Tn}{ha} = 54.35 - 27.59SAVI + 44.24CI + 14.81NDVI + 1.806$$



Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

Tabla 10.

Análisis de la varianza NDVI.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.27	8	0.003	75.48	<0.0001
Tratamiento	0.005	3	0.02	37.43	<0.0001
Corte	0.22	5	0.04	98.32	<0.0001
Error	0.001	15	4.5E-04		
Total	0.28	23			

Nota: Análisis de la varianza aceptable con un p-valor <0.0001 en el caso de modelo.

Tabla 11.

Prueba Tukey 5% para NDVI promedio entre cortes.

Cortes	Medias	n	E.E	
5	0.90	4	0.01	A
3	0.87	4	0.01	A
1	0.80	4	0.01	B
4	0.79	4	0.01	B
6	0.67	4	0.01	C
2	0.63	4	0.01	C

Tabla 12.

Prueba Tukey 5% para NDVI promedio entre tratamientos.

Tratamiento	Medias	n	E.E	
4	0.86	6	0.01	A
1	0.76	6	0.01	B
2	0.76	6	0.01	B
3	0.74	6	0.01	B



Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)

Tabla 13.

Análisis de la varianza SAVI.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.63	8	008	168.67	<0.001
Tratamiento	4.1E-03	3	4E-03	2.93	0.0680
Corte	0.63	5	0.13	268.12	<0.0001
Error	0.01	15	4.7E-04		
Total	0.64	23			

Tabla 12.

Prueba Tukey 5% para SAVI promedio entre tratamientos.

Tratamiento	Medias	n	E.E	
1	1.13	6	0.01	A
2	1.12	6	0.01	A
4	1.11	6	0.01	A
3	1.09	6	0.01	A

Tabla 11.

Prueba Tukey 5% para SAVI promedio entre cortes.

Corte	Medias	n	E.E	
5	1.32	4	0.01	A
3	1.26	4	0.01	B
1	1.15	4	0.01	C
4	1.14	4	0.01	C
6	0.93	4	0.01	D
2	0.88	4	0.01	E

Lo que estos índices de vegetación tanto el SAVI como el NDVI nos muestran es como tras realizado el pastoreo el vigor de las plantas baja, de igual manera estos índices se encuentran ligados al desarrollo fenológico de las plantas como se observa en el quinto corte el pasto se encuentra en su máximo desarrollo lo que se evidencia con medias más altas tanto para el índice NDVI como para el SAVI.



Coloration Index (CI)

Tabla 13.

Análisis de la varianza SAVI.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.17	8	0.02	81.06	<0.001
Tratamiento	8.9E-04	3	3.0E-04	1.15	0.3608
Corte	0.17	5	0.03	129.01	<0.0001
Error	3.9E-03	15	2.6E-04		
Total	0.17	23			

Tabla 12.

Prueba Tukey 5% para SAVI promedio entre tratamientos.

Tratamiento	Medias	n	E.E	
3	-0.008	6	0.01	A
1	-0.10	6	0.01	A
4	-0.10	6	0.01	A
2	-0.10	6	0.01	A

Tabla 11.

Prueba Tukey 5% para SAVI promedio entre cortes.

Tratamiento	Medias	n	E.E	
6	0.06	4	0.01	A
2	-0.03	4	0.01	B
4	-0.12	4	0.01	C
1	-0.13	4	0.01	C
3	-0.17	4	0.01	D
5	-0.18	4	0.01	D



CONCLUSIONES

- Con el análisis de varianza realizado a las variables agro edafológicas se determinó el comportamiento de estas a lo largo del tiempo, en el caso de la humedad gravimétrica compactación y rendimiento se observó cambios estadísticamente significativos para los cortes, siendo los cortes 1, 3 y 5 los que presentaron mejor respuesta a comparación con los cortes 2, 4 y 6, lo que indica que posterior al paso del ganado no solo las variables edafológicas se ven afectadas sino también las variables agrícolas.
- En el caso de los índices de vegetación nos permitió corroborar la anterior conclusión mencionada, ya que se observa diferencia estadísticamente significativa solo para la variable corte, presentando valores bajos para los cortes 2, 4 y 6 en comparación a los cortes 1, 3 y 5, en el caso del índice de coloración fue lo contrario se observaron valores altos para los cortes 2, 4 y 6 lo que según la literatura nos indica que después del paso del ganado para su alimentación los suelos se afectan perdiendo humedad, compactándose y bajando el rendimiento de las pasturas.



CONCLUSIONES

- La correlación existente entre las variables agro edafológicas y los índices de vegetación, para el caso de la humedad gravimétrica tuvo una correlación positiva débil con los índices de vegetación NDVI y SAVI por otro lado con el índice de vegetación CI presento una correlación negativa alta lo cual indica que con el paso del tiempo y el pastoreo tanto el CI como la humedad gravimétrica van bajando. Para la compactación de igual manera se encontró una correlación negativa débil con los índices de vegetación NDVI y SAVI, a diferencia del índice de vegetación CI el cual presento una correlación positiva débil. El rendimiento mostro una correlación negativa débil con los tres índices de vegetación analizados lo cual nos indica que mientras pasa el tiempo de pastoreo los índices de vegetación bajan al igual que el rendimiento de esos pastos.
- Se logro obtener tres modelos predictivos para determinar la humedad gravimétrica promedio a una profundidad de 0 a 30 cm usando los índices de vegetación CI, SAVI² Y NDVI de los cuales, el CI al igual que en la correlación presento una mayor importancia en el modelo. En el caso de la compactación se estableció el modelo predictivo para calcular la compactación del suelo de 0 a 30 cm de profundidad en Kg/cm² solo usando dos de los tres índices de vegetación los cuales fueron CI y SAVI² al igual que la humedad se encuentra una gran influencia en el modelo por parte del índice de vegetación CI. Para calcular el rendimiento en Tn/ha con el modelo predictivo se usó los tres índices de vegetación en este caso el que mayor influencia tuvo sobre el modelo fue el índice SAVI ya que nos permite ver el estado del cultivo sin la influencia del suelo.



- Realizar un estudio para obtener modelos predictivos usando más índices de vegetación para poder determinar un modelo con mayor exactitud.
- Utilizar el estudio en diferentes pisos climáticos para determinar si existe relación entre los índices de vegetación y las variables agro edafológicas con la altura con la que se trabaja.
- Incluir otras variables como fertilización, dotación de agua para que el modelo de regresión sea más preciso.
- Probar realizando un modelo predictivo entre diferentes índices de vegetación con la calidad forrajera para así poder determinar esta sin necesidad de estar en campo.
- Comprobar si los modelos predictivos sirven para otras mezclas forrajera o diferentes proporciones que las que se estudió en esta investigación.



Enlace:

https://drive.google.com/drive/folders/1dPu-ILj_u6o1_atqKeklo4RJAVEdw91n

