

Estimación de la Biomasa de Pasturas con tres modelos geoestadísticos de humedad gravimétrica del suelo

Jaramillo Proaño, Bryan Andres

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. Perez Guerrero, Patricio Alejandro PhD.

10 de febrero del 2022



ANTECEDENTES



El territorio ecuatoriano en su mayoría presenta condiciones medioambientales favorables para la producción de pastos durante todo el año.

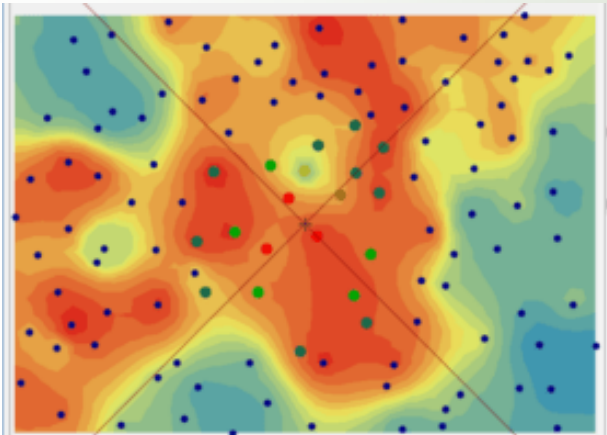


El contenido de humedad gravimétrica del suelo esta relacionado con la cantidad de Biomasa de los pastos.



Los suelos del Ecuador presentan gran cantidad de materia orgánica y características físico-químicas variables.





Existen herramientas como los modelos geostatísticos para interpretar variables en el suelo.

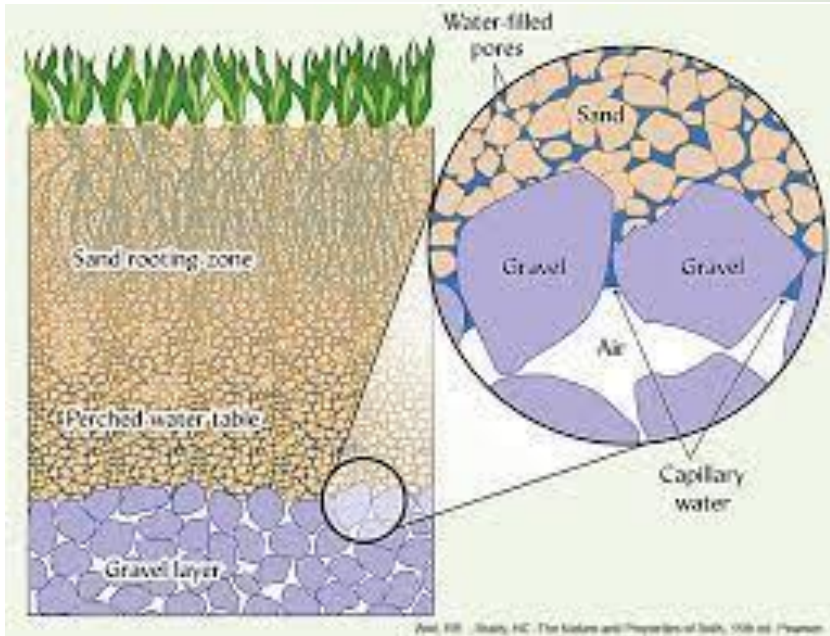


A través de interpoladores geostatísticos se puede estudiar la variabilidad espacial de la humedad para analizar su comportamiento



La aplicación de los Sistemas de Información Geográficos (SIG) ha impulsado el análisis de la distribución de las diferentes variables aplicadas en la agricultura, ecología y las ciencias ambientales.





El movimiento del agua dentro del suelo es importante en cuanto a disposición de nutrientes, turgencia de las plantas y nutrición animal.



La información con modelos geoestadísticos aplicados a la agricultura son escasos y los métodos de interpolación son buenas herramientas de predicción.



Los métodos de evaluación tradicionales de las variables a estudiar demanda elevada cantidad de tiempo, costo y mano de obra para obtener resultados producibles.



SUELO Y SUS HORIZONTES



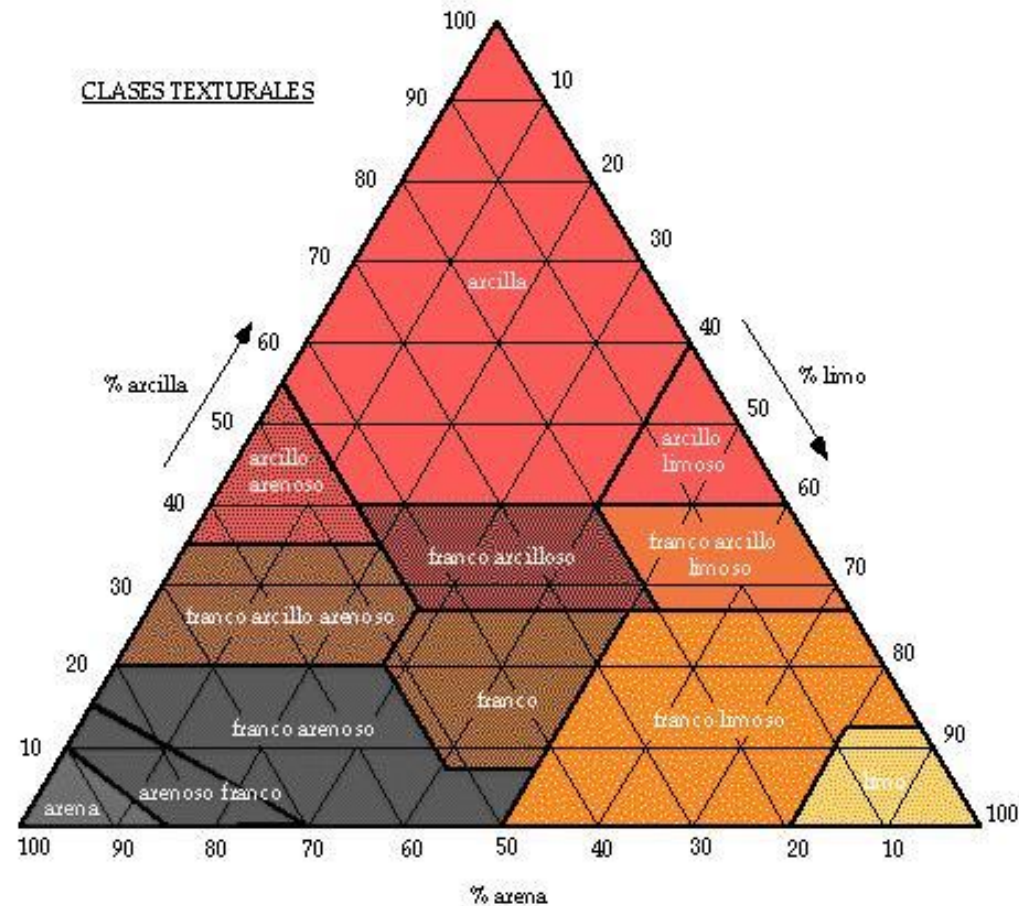
Colección de cuerpos naturales que se encuentran sobre la superficie terrestre, modificados o incluso creados artificialmente por la actividad humana a partir de materiales terrosos, que contienen organismos vivos y tienen la capacidad de sustentar plantas al aire libre.

Los horizontes del suelo son volúmenes de suelo casi paralelos a la superficie terrestre, descritos por varios ensambles, su relación específica de color y cromas, agregados, poros, entre otras características propias de los horizontes.

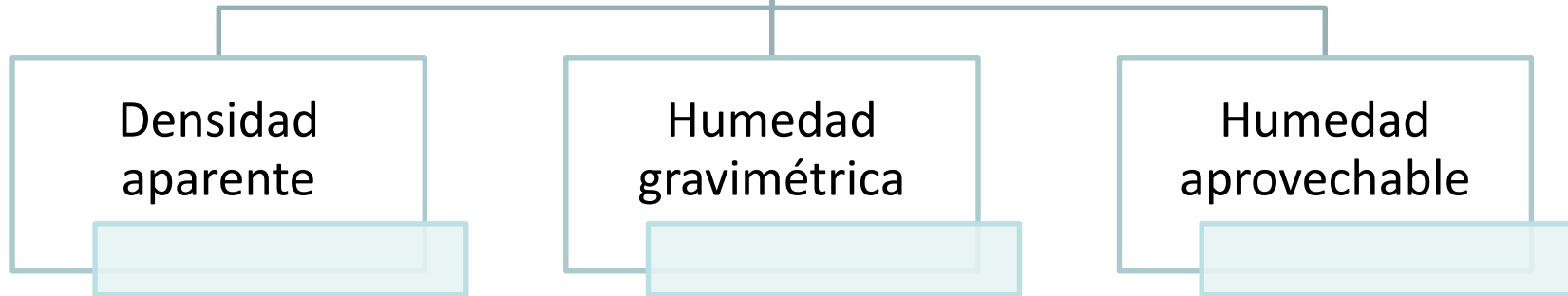


TEXTURA DEL SUELO

Existen varias clases texturales que pueden presentarse en los suelos según la cantidad de arena, limo y arcilla y se presentan las texturas generales según el USDA, es importante realizar la mecánica del suelo en un laboratorio para determinar de forma cuantitativa el tamaño de las partículas

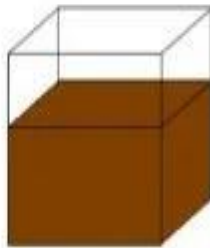
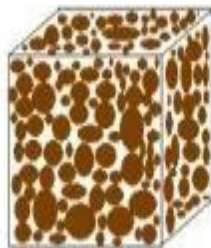


PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO



Muestra Inalterada

Muestra Disturbada



Una manera fácil de determinar la densidad aparente del suelo es tomar un cilindro y enterrarlo en el suelo, procurando que la muestra no se dañe.

Es la manera de expresar la cantidad de agua que contiene el perfil del suelo a una cierta profundidad, en un tiempo determinado.

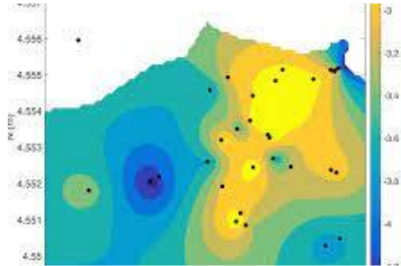
Relación entre la textura del suelo y la disponibilidad de agua



INTERPOLACIONES GEOESTADÍSTICAS

Campo de la geoestadística, basada en la estimación de valores que no son conocidos de una variable espacial, a partir de otros datos que se conocen.

KRIGING



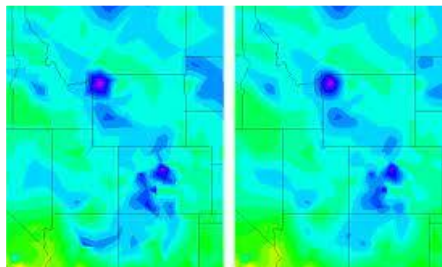
Menor distancia presentaran atributos más semejantes en comparación a puntos o bloques que se encuentran más separados.

PONDERACIÓN DE DISTANCIA INVERSA IDW



Se realiza asignando pesos a los datos del entorno en función inversa de la distancia que los separa. Los pesos varían entre 0 y 1 y la suma de puntos es la unidad.

VECINO NATURAL



Polígonos creados alrededor del punto de medición, la sobreposición entre los polígonos se utiliza para otorgar los pesos en los diferentes puntos en estudio.

General

Determinar la biomasa de pasturas con tres modelos geoestadísticos de la humedad gravimétrica del suelo.

Específicos

- Validar tres modelos geoestadísticos de interpolación para datos de humedad en suelo a diferentes profundidades y etapas de crecimiento del pasto.
- Realizar curvas de retención de humedad en función de la textura del suelo en estudio.
- Realizar mapas de distribución con datos de humedad obtenidos mediante sonda FDR (Divinner 2000).
- Determinar la correlación entre biomasa y distribución de humedad en el suelo.



Ubicación del trabajo de investigación

Provincia: Pichincha

Cantón: Mejía

Parroquia: Cutuglahua

Altitud: 3058 msnm

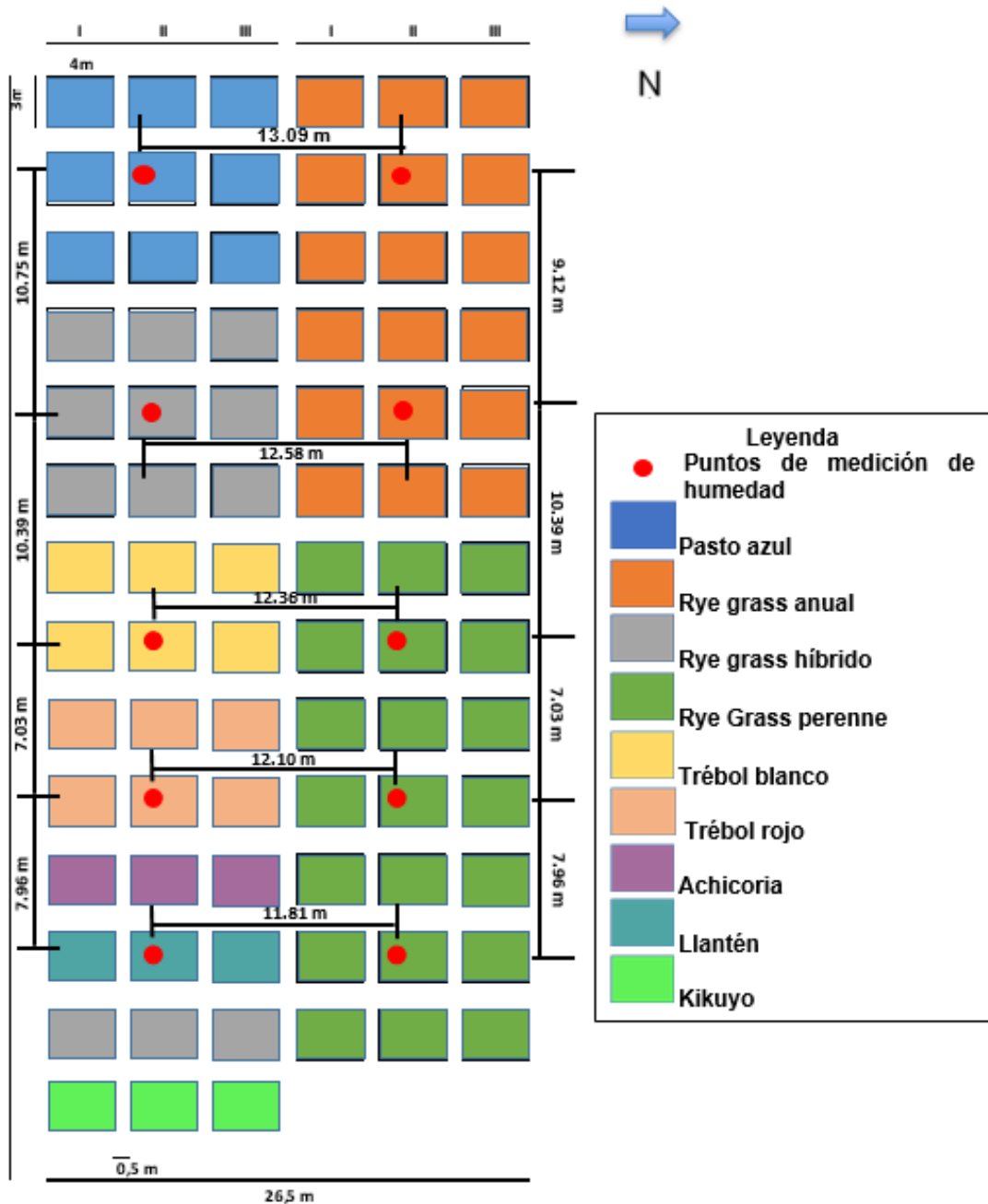


El presente estudio se realizó en el lote No. 19 de la Unidad de Apoyo a la Investigación Pecuaria (UIAP) del Programa de Ganadería y Pastos de la Estación Experimental Santa Catalina del INIAP

Se delimitaron 81 parcelas experimentales de 4 m de ancho por 3 m de largo siendo cada parcela de 12 m²



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



Los tratamientos se asignaron a las unidades experimentales bajo un Diseño en Bloques Completamente al azar (DBCA) con 3 repeticiones considerando como primer factor a las especies forrajeras (9) y el segundo factor a las variedades (27).

El modelo matemático fue:

$$Y_{ij} = \mu + B_i + T_j + e_{ij}$$



Variables a medir

PASTO	SUELO	SONDA FDR	INTERPOLACIÓN
Altura	Textura	Humedad gravimétrica	Mapas de distribución de humedad
Rendimiento	Densidad aparente		Curvas de error absoluto promedio
	Curva de retención de humedad		



Instalación del ensayo

Instalación de parcelas



Toma de muestras de suelo



Instalación del ensayo

Instalación de tubos de medición

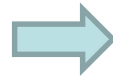


Medición de Humedad Gravimétrica con sonda FDR (Divinner 2000)



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Tubos de medición Instalados



**Cable conecta
a la sonda
FDR con el
monitor**



Toma de datos de humedad gravimétrica



PASOS

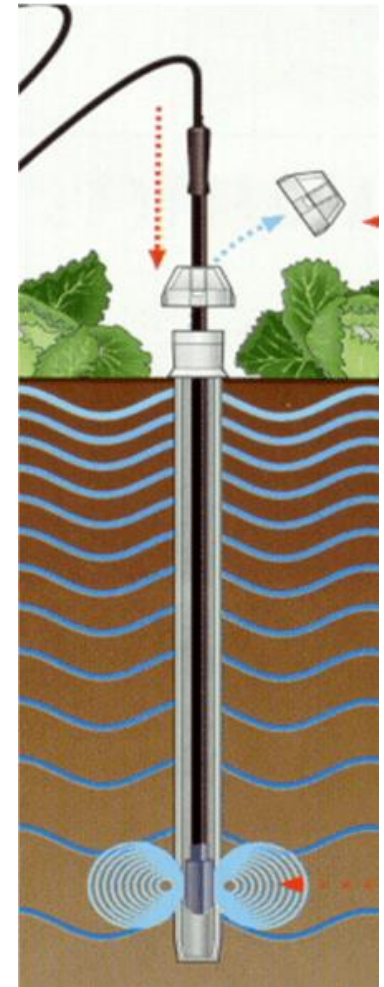
- 1.- Encender el equipo
- 2.- Presionar "SCAN"
- 3.- Seleccionar el numero de tubo a medir
- 4.- Presionar "ENTER"
- 5.- Insertar la sonda en el tubo de medición de humedad



Toma de datos



5

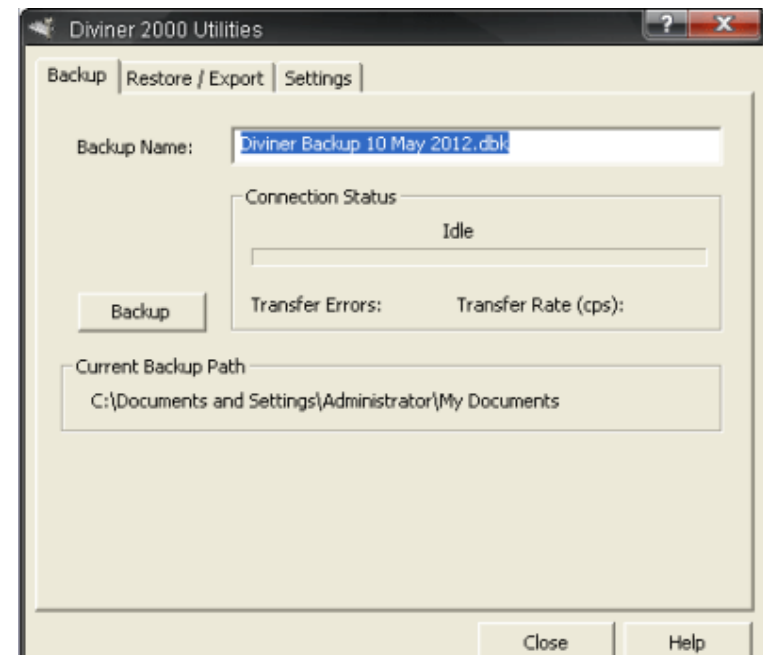
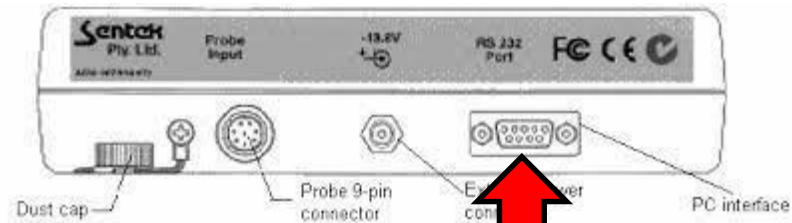


ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Programa de Descarga de Datos

Descarga de Datos

Divinner 2000 Utilities



Muestro de suelos



Toma de muestras de suelos



Peso de suelo húmedo



Peso de suelo seco



Determinación de Textura y Da



Resultados análisis de suelo

Elemento	Unidad	Niveles óptimos para pastos	Resultado	Interpretación
Materia Orgánica	%	5 – 15	16.8	Alto
pH	-	5.5-7.5	6.5	Óptimo
Textura	-	Franco arcilloso- Franco limoso	Franco	Ideal para pastos y cultivos intensivos
Nitrógeno	mg/Kg	30-50	44.6	Óptimo
Fósforo	mg/Kg	20-35	48.6	Muy alto
Potasio	mg/Kg	125-250	170	Medio
Calcio	mg/Kg	400-1200	406	Medio
Magnesio	mg/Kg	45-90	236	Muy alto



Medición de variables



Altura de planta



Toma de muestras



Peso materia Verde



Estufa de secado



Peso materia Seca

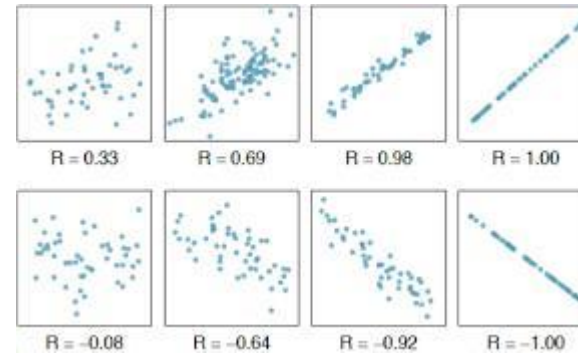
Interpolaciones y Elaboración de Mapas



Recopilación de Datos



Transformación de Datos



Procesamiento de Datos

Elaboración de Mapas

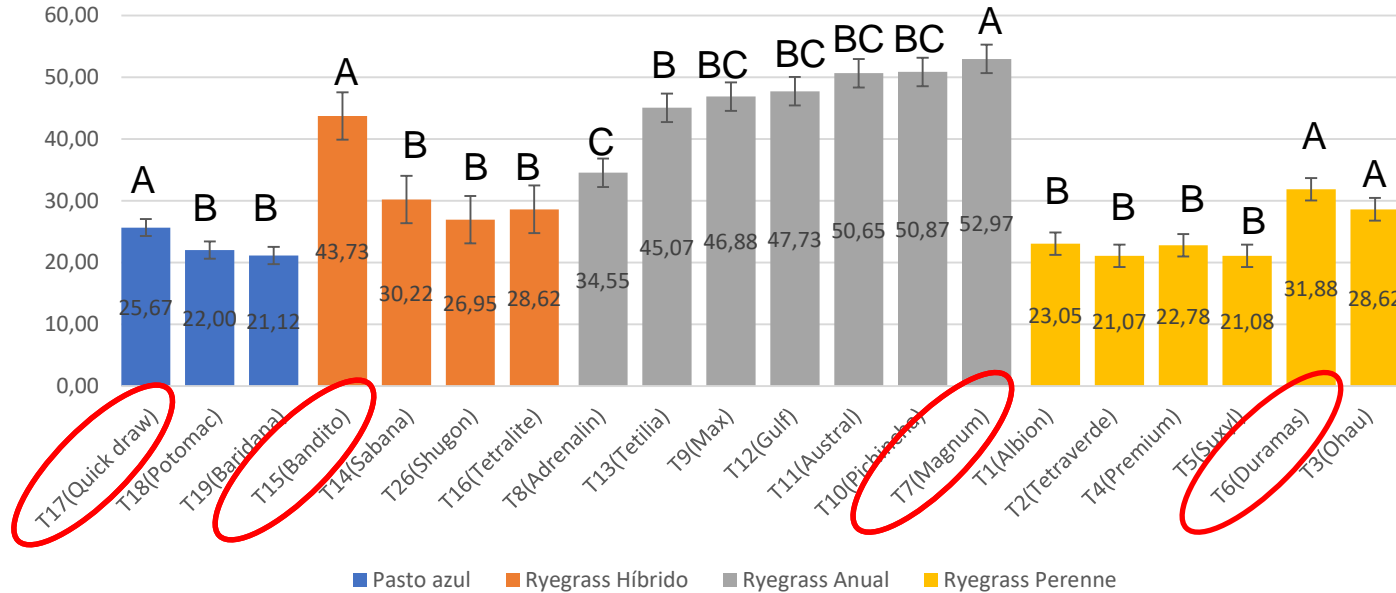
Interpretación



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Altura de la planta

Pasto azul, Ryegrass Híbrido, Ryegrass Anual, Ryegrass Perenne

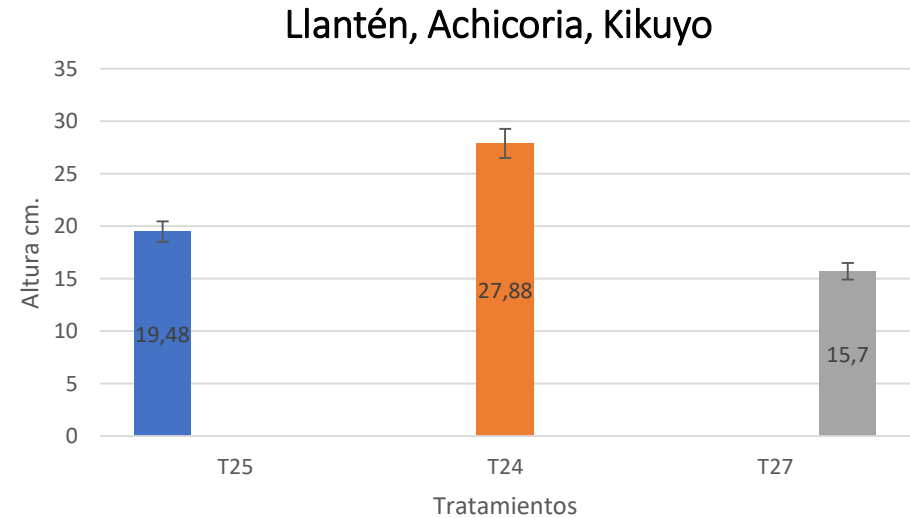
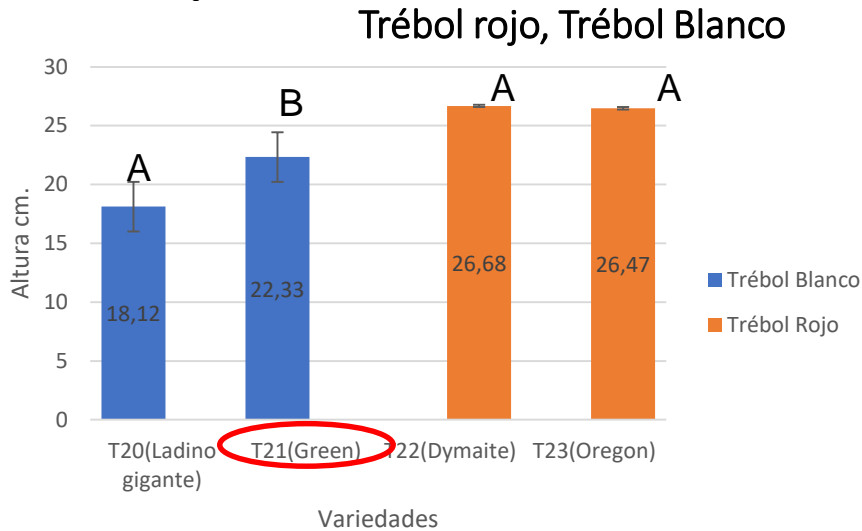


Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

El promedio de la altura de los cuatro cortes de las plantas que presentaron una mayor altura en la Especie Pasto azul fue el T17 con una altura de 25,67 cm., mientras que en la especie Ryegrass Híbrido fue el T15 (Bandito) con una altura de 43,73 cm., para la Especie Ryegrass anual el T7(Magnum) y para la especie Ryegrass Perenne el T6(Duramas). García (2018) manifiesta que la altura de los pastos sea entre 20 a 30 centímetros por que con una buena altura y densidad de pasto el tamaño del bocado del animal es mayor, permitiendo reducir de manera sustancial el número de bocados para que el animal recolecte las cantidades de forraje necesarias.



Altura de la planta



Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

■ Llantén ■ Achicoria ■ Kikuyo

El promedio de la altura de los cuatro cortes de las plantas que presentaron una mayor altura en la Especie Trébol blanco es el tratamiento T21(Green) que obtuvo 22,33 cm. Mientras que para la especie Trébol rojo no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos T22(Dymaite) y T23(Oregon).

El promedio de la altura de los cuatro cortes de las Especies Llantén, Achicoria y kikuyo fueron: 19,48 cm., 27,88 cm. y 15,7cm. respectivamente



Rendimiento

Pasto azul

Corte	Promedio ± e.e.	Tukey (0,5)
3	807.67±81.92	a
2	1134.33±119.08	ab
1	1274.67±127.21	b
4	2346.00±123.20	c

Medias con una letra comun no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Los valores promedios de rendimiento más altos alcanzados fueron los del corte 4 con 2346 kg * Ha⁻¹

Ryegrass Híbrido

Tratamiento	Promedio ± e.e.	Tukey (0,5)
T26(Shugon)	1594.17±86.52	a
T14(Sabana)	1831.17±142.23	a
T16(Totalito)	1903.00±110.56	a
T15(Bandito)	2829.17±325.77	b

Los valores promedios de rendimiento más altos alcanzados fueron del tratamiento T15 (Bandito) con 2829.17 kg * Ha⁻¹

Ryegrass Híbrido

Corte	Promedio ± e.e.	Tukey (0,5)
3	1444.67±70.74	a
2	1978.17±80.92	ab
4	2063.50±131.45	b
1	2671.17±358.83	c

. Los valores promedios de rendimiento más altos alcanzados fueron los del corte 4 con 2671.17 kg * Ha⁻¹



Rendimiento

Trébol Blanco

Corte	Promedio ± e.e.	Tukey (0,5)
2	705.00±50.60	a
3	1614.00±156.52	b
4	2171.33±174.57	bc
1	2603.67±255.71	c

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Los valores promedios de rendimiento más altos alcanzados fueron los del corte 1 con 2603.67 kg*Ha⁽⁻¹⁾

Achicoria

Tratamiento	Promedio ± e.e.	CV(%)
T24	1674.90±41.02	7.74

Corte	Promedio ± e.e.	Tukey (0,5)
2	1132.40±18.82	a
3	1323.20±58.20	a
1	1892.00±6.93	b
4	2352.00±133.95	c

Los valores promedios de rendimiento más altos alcanzados fueron en el corte 4 con 2352.00 kg*Ha⁽⁻¹⁾

Trébol Rojo

Corte	Promedio ± e.e.	Tukey (0,5)
2	1591.67±68.24	a
1	2287.67±187.95	b
3	2886.67±201.85	b
4	3611.67±459.34	c

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Los valores promedios de rendimiento más altos alcanzados fueron en el corte 4 con 3611.67 kg*Ha⁽⁻¹⁾

Tratamiento	Promedio ± e.e.	Tukey (0,5)
T22 (Dymaite)	2107.17±156.84	a
T23(Oregon)	3081.67 ±315.33	b

Los valores promedios de rendimiento más altos alcanzados fueron en el tratamiento T23 (Oregon) con 3081.67 kg * Ha⁻¹



Rendimiento

Llantén

Tratamiento	Promedio ± e.e.	CV(%)
T25	2461.09±58.07	6.12 %

Ryegrass Perenne

Tratamiento	Promedio ± e.e.	Tukey (0,5)
T2(Tetraverde)	1121.00±79.96	a
T5(Suxyl)	1489.63±184.55	ab
T6(Duramas)	1707.00±203.51	ab
T1(Albion)	1795.5±125.4	ab
T3(Ohau)	2031.33±348.89	b
T4(Premium)	2046.17±226.60	b

Los valores promedios de rendimiento más altos alcanzados fueron los del tratamiento T4 (Premium) con 2046.17 kg * Ha⁻¹

Kikuyo

Tratamiento	Promedio ± e.e.	CV(%)
T27	2052.50±52.10	8.03

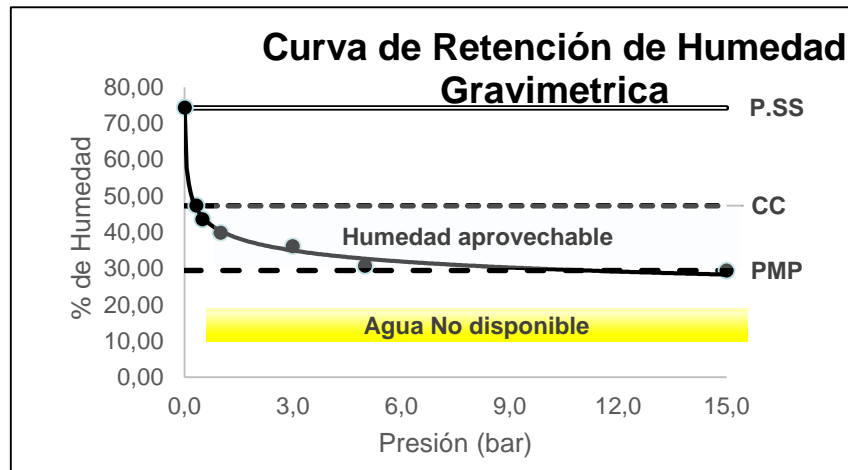
Ryegrass Anual

Tratamiento	Promedio ± e.e.	Tukey (0,5)
T13(Tetilia)	1968.50±172.23	a
T12(Gulf)	2229.67±332.76	a
T10(Pichincha)	2398.00±289.85	ab
T8(Adrenalin)	2424.33±98.11	ab
T9(Max)	2544.00±215.81	abc
T11(Austral)	3035.67±207.45	bc
T7(Magnum)	3067.50±342.88	c

Los valores promedios de rendimiento más altos alcanzados fueron del tratamiento T7 (Magnum) con 3067.50 kg * Ha⁻¹



Curva de retención de Humedad del suelo



P.S.S.=74.30 %
 CC= 47.3 %
 PMP=30.7 %

Textura y Densidad aparente del suelo de estudio

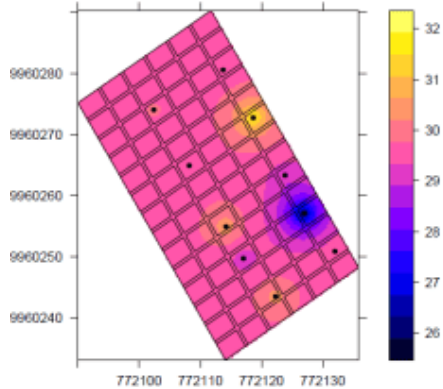
Textura (%)				
Arena	Limo	Arcilla	Clase textural	Da ($g * cm^3$)
43	43	14	Franco	1.43



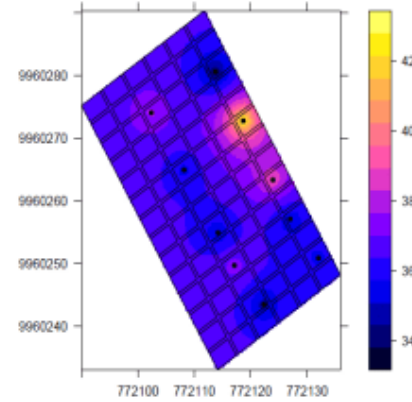
Interpolaciones Geoestadísticas

Kriging

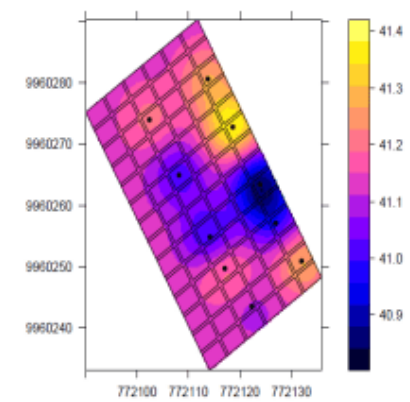
Ordinary Kriging interpolation
10cm



Ordinary Kriging interpolation
20cm

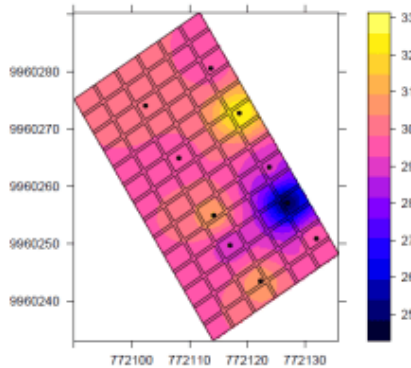


Ordinary Kriging interpolation
30cm

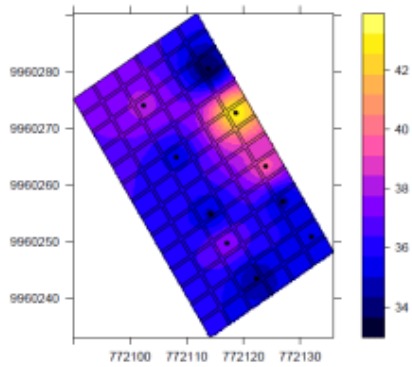


Ponderación de Distancia Inversa IDW

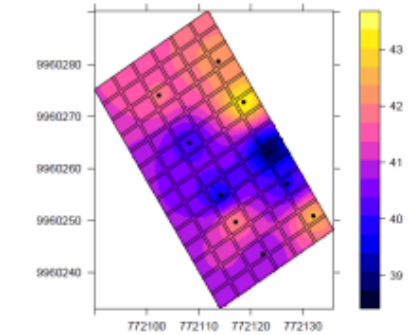
IDW interpolation
10cm



IDW interpolation
20cm

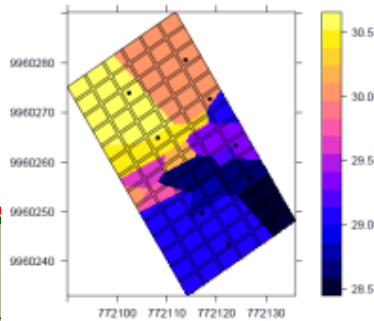


IDW interpolation
30cm

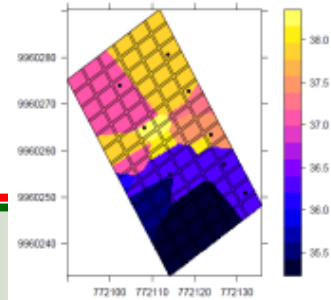


Vecino Natural

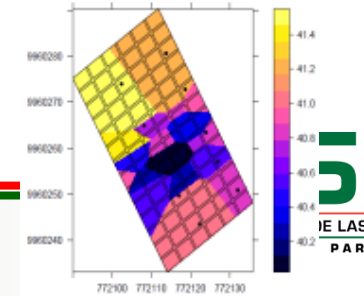
Nearest neighbor interpolation
10cm



Nearest neighbor interpolation
20cm

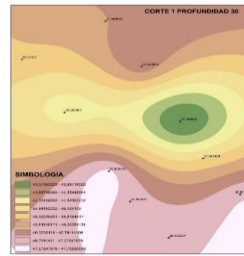
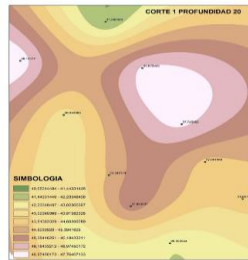
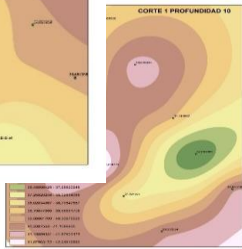
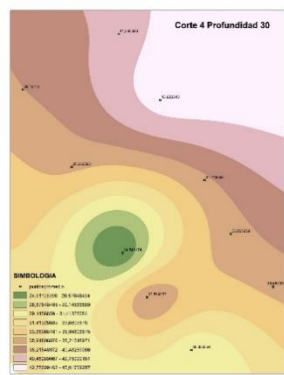


Nearest neighbor interpolation
30cm

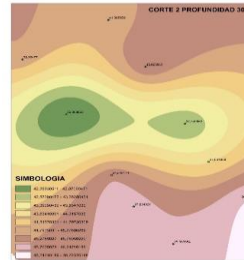
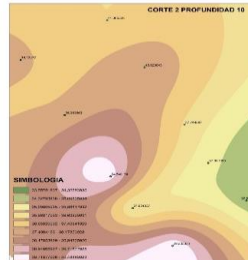
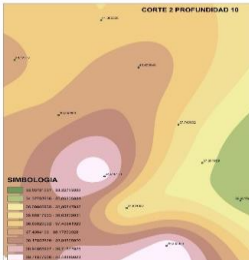


de distribución de humedad

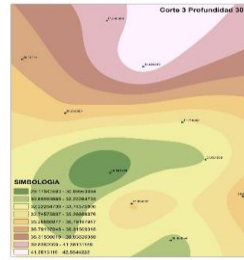
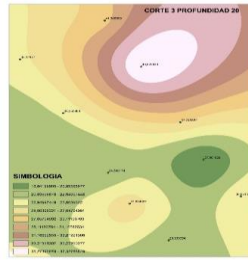
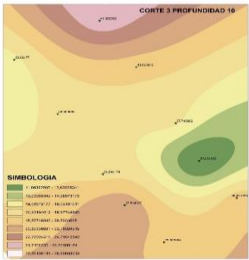
ad 10 cm Profundidad 20 cm Profundidad 30 cm



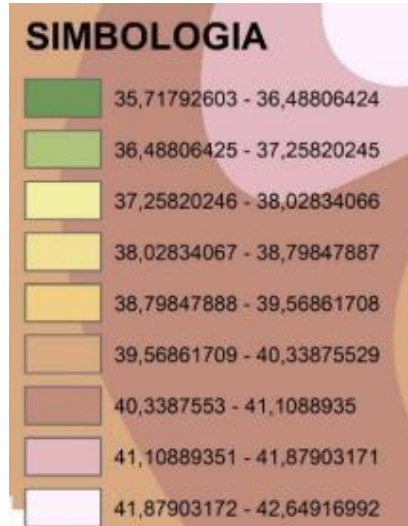
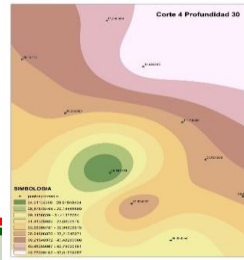
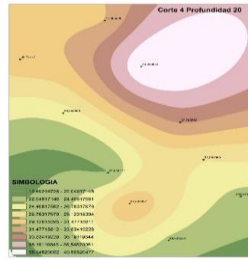
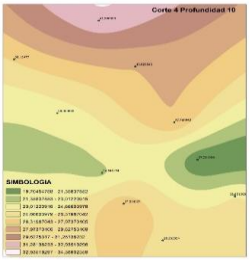
Corte 2



Corte 3



Corte 4



El rango de humedad gravimétrica se encuentra dentro del rango de 35.71%-42.64% (Humedad aprovechable para pastos)



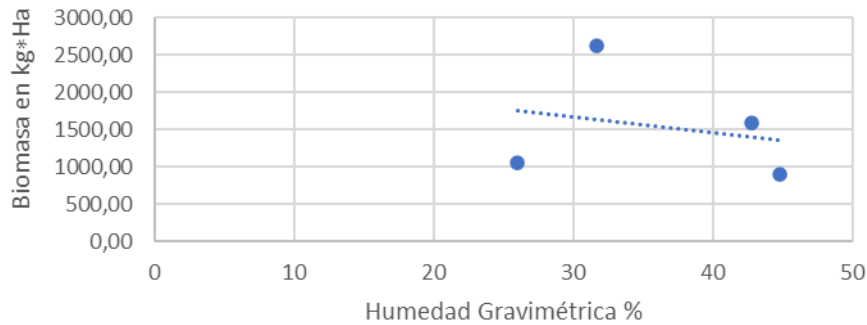
ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Correlaciones

Pasto azul

$$y = -0,0028x + 40,626$$

$$R = -0,24$$

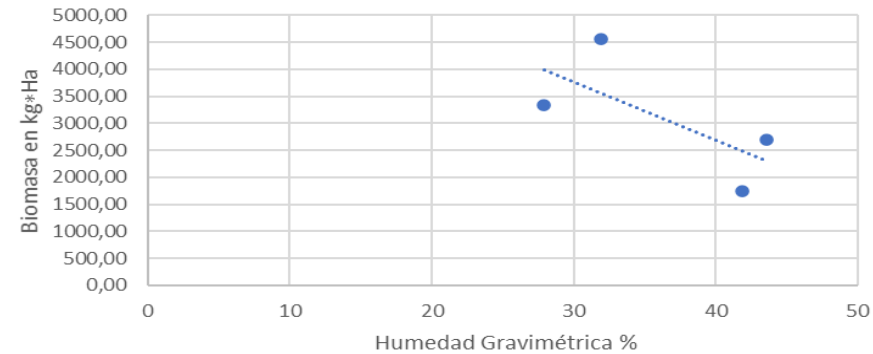


La correlación existente entre la especie Pasto Azul y la humedad Gravimétrica del suelo es negativa e irrelevante.

Trébol rojo

$$y = -108,42x + 7021,4$$

$$R = -0,69$$

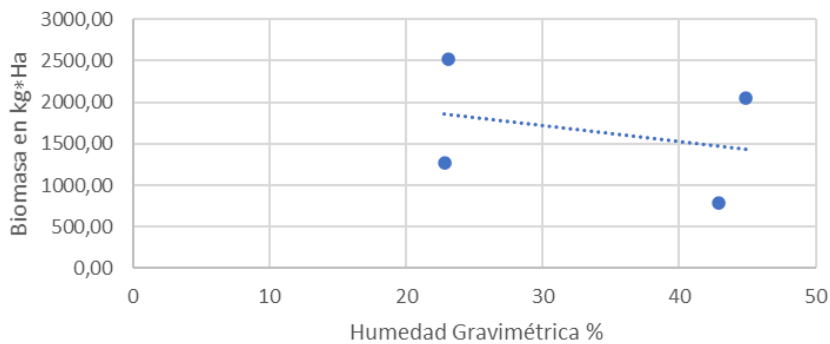


La correlación existente entre la especie Trébol rojo y la humedad Gravimétrica del suelo es negativa e irrelevante.

Trébol blanco

$$y = -19,527x + 2309,2$$

$$R = -0,30$$

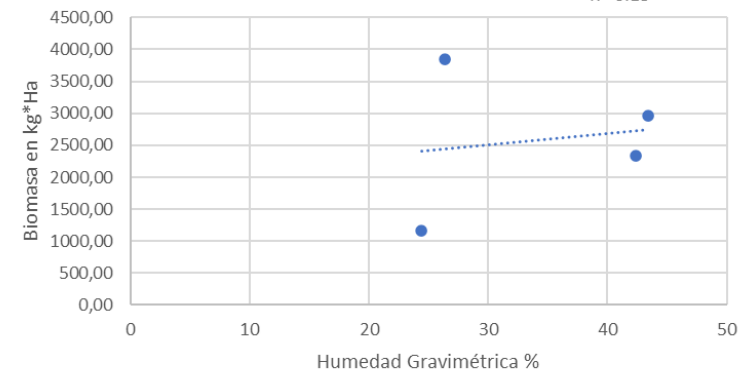


La correlación existente entre la especie Trébol blanco y la humedad Gravimétrica del suelo es negativa e irrelevante.

Llantén

$$y = 17,456x + 1980,1$$

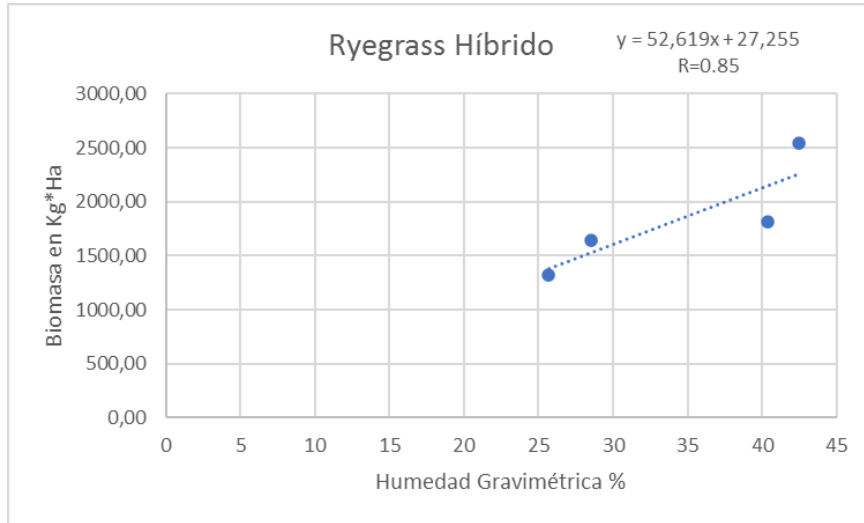
$$R = 0,15$$



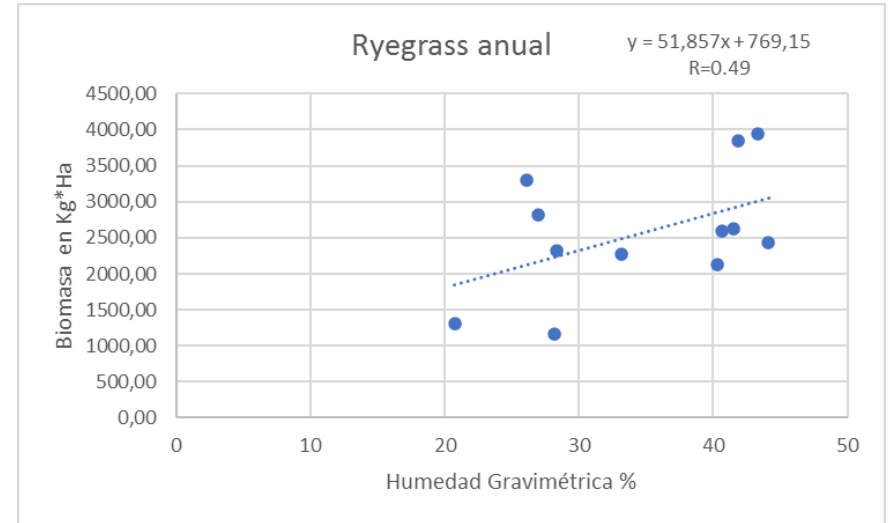
La correlación existente entre la especie Llantén y la humedad Gravimétrica del suelo es positiva y con una correlación débil..



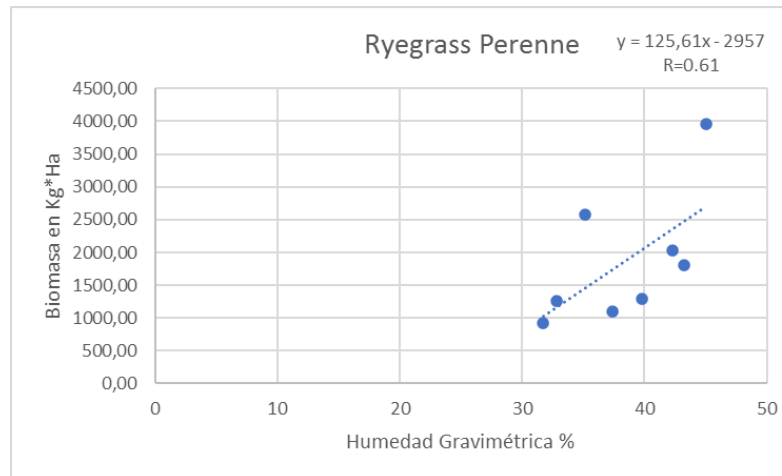
Correlaciones



La correlación existente entre la especie Ryegrass Híbrido y la humedad Gravimétrica del suelo es positiva y con una correlación fuerte.



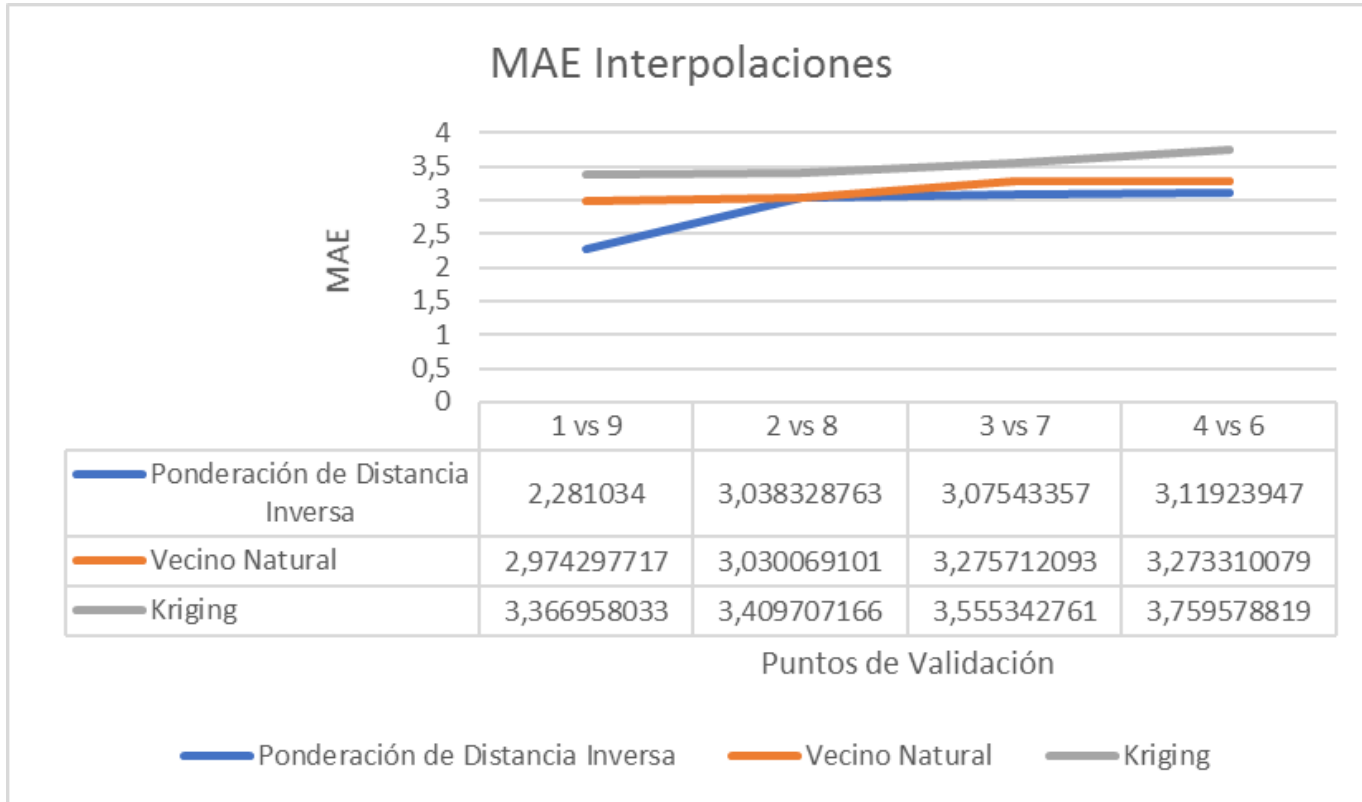
La correlación existente entre la especie Ryegrass Anual y la humedad Gravimétrica del suelo es positiva y con una correlación moderada.



La correlación existente entre la especie Ryegrass Perenne y la humedad Gravimétrica del suelo es positiva y con una correlación fuerte.



Error Cuadrático medio



Valores de error absoluto promedio en los 4 puntos de validación obteniendo como resultados el valor promedio para Kriging: 3.52, para Vecino Natural: 3.13 y para ponderación de Distancia inversa IDW: 2.87 siendo el ultimo interpolador mencionado el que obtuvo menor error en relación a los otros métodos geoestadísticos interpoladores.



CONCLUSIONES

- Con los modelos geoestadísticos pudimos determinar acertadamente la biomasa de pasturas de interés Agropecuario.
- Los métodos de Interpolación geoestadística Kriging, Ponderación de Distancia Inversa y Vecino natural fueron validados gráficamente y con curva del error absoluto promedio siendo el interpolador Ponderación de Distancia Inversa IDW el que mejor describe la distribución de humedad en el área de estudio debido a que el error absoluto promedio fue menor que en las interpolaciones Kriging y Vecino Natural.
- Se realizó la curva de retención de humedad gravimétrica del suelo obteniendo valores de 74.3 % para punto de saturación, 43.5% para capacidad de campo y 30.7 % para punto de marchitez permanente, con esto se puede decir que la humedad aprovechable para pastos en esta zona de estudio se encuentra entre 30.7% y 43.75% de humedad gravimétrica dentro de suelos que tienen una textura franca.



CONCLUSIONES

- Se generó mapas de distribución de humedad a partir de los datos obtenidos mediante la sonda FDR (Divinner 2000), los mapas fueron realizados durante los 4 cortes obtenidos por las 9 especies de pastos y 27 variedades dentro de ellas y las profundidades utilizadas fueron 10, 20 y 30 centímetros. Se realizó mapas de distribución con los tres interpoladores y con las tres profundidades de interés.
- La correlación existente entre biomasa y la humedad gravimétrica del suelo es Positiva y muy fuerte en las especies Ryegrass Híbrido y Ryegrass perenne. La correlación es positiva y moderada para la especie Ryegrass Anual. La correlación es positiva y débil para la especie de Llantén. Mientras que la correlación se presenta negativa e irrelevante para las especies de Trébol rojo, Trébol Blanco y Pasto Azul. Con esto se puede decir que se puede obtener el dato de biomasa mediante la ecuación lineal obtenida en la correlación en las especies de Llantén, Ryegrass Híbrido, Ryegrass Perenne y Ryegrass anual pero no en Trébol Blanco, Trébol Rojo y Pasto Azul.



- Realizar el estudio en diferentes pisos climáticos para obtener diferentes mapas de distribución dependiendo de la altura y del tipo de suelo que se presente.
- Probar otro tipo de especies de interés Agropecuario para generar datos de biomasa a partir de la humedad gravimétrica del suelo.
- Utilizar otro tipo de sondas de medición para comparar con otros métodos de obtención de humedad gravimétrica del suelo y analizar costos y eficiencia en los distintos métodos.
- Incluir mas variables como fertilización, dotación de riego para que el modelo sea mas eficiente.



AGRADECIMIENTOS



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA