



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS-ESPE
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

“Análisis del desarrollo del pasto en función de cuatro tratamientos de riego a partir de tecnologías geoespaciales (GNSS, UAV, sensores multiespectrales) en la hacienda Phajcha.sac”

Autores: Aguiar Orta, Sara Stefanía y Godoy Cuzco, Lizeth Carolina

Docente Colaborador: Ing. Sinde González, Izar PhD

Director del proyecto

Ing. Leiva González, César, MSc.

Director de Carrera

Ing. Robayo Nieto, Alexander MSc.

Docente Evaluador

Ing. Kirby Powney, Eduardo MSc.

Secretario Académico

Ab. Calahorrano, Carlos



1. INTRODUCCIÓN

2. OBJETIVOS

3. METODOLOGÍA

4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



INTRODUCCIÓN

Correlacionar las variables

Reducir el impacto ambiental



Optimizar recursos

Apoyar en la toma de decisiones agrícolas



OBJETIVO 11

OBJETIVO 13



OBJETIVO 2

OBJETIVO 12





- El sector agrícola depende principalmente del pastoreo.
- Rentabilidad de la explotación ganadera.

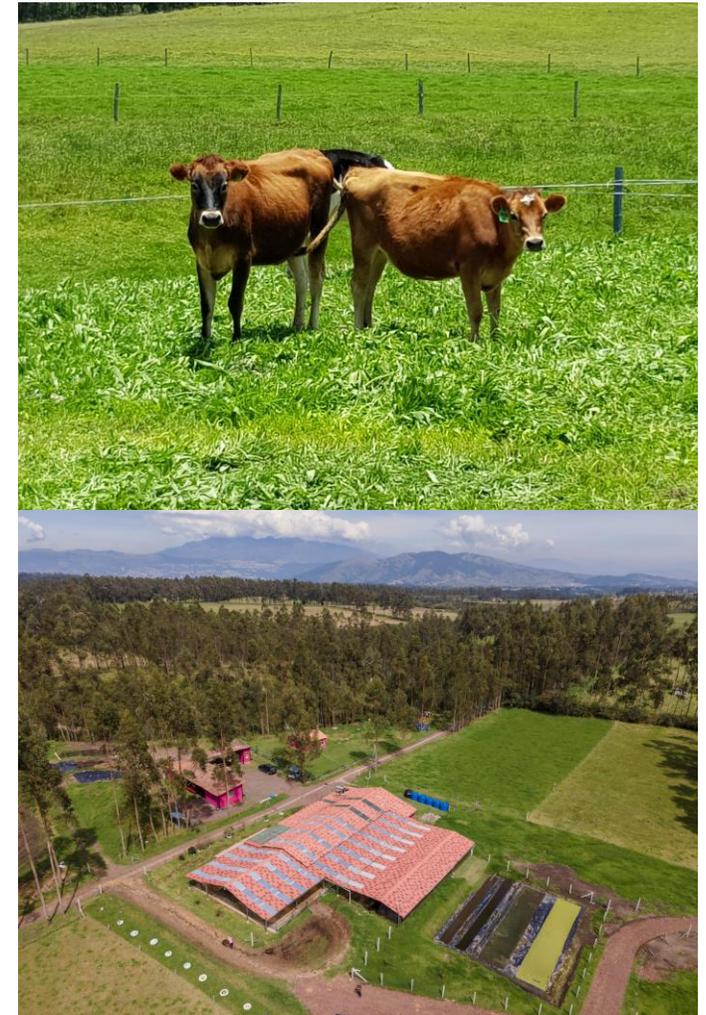
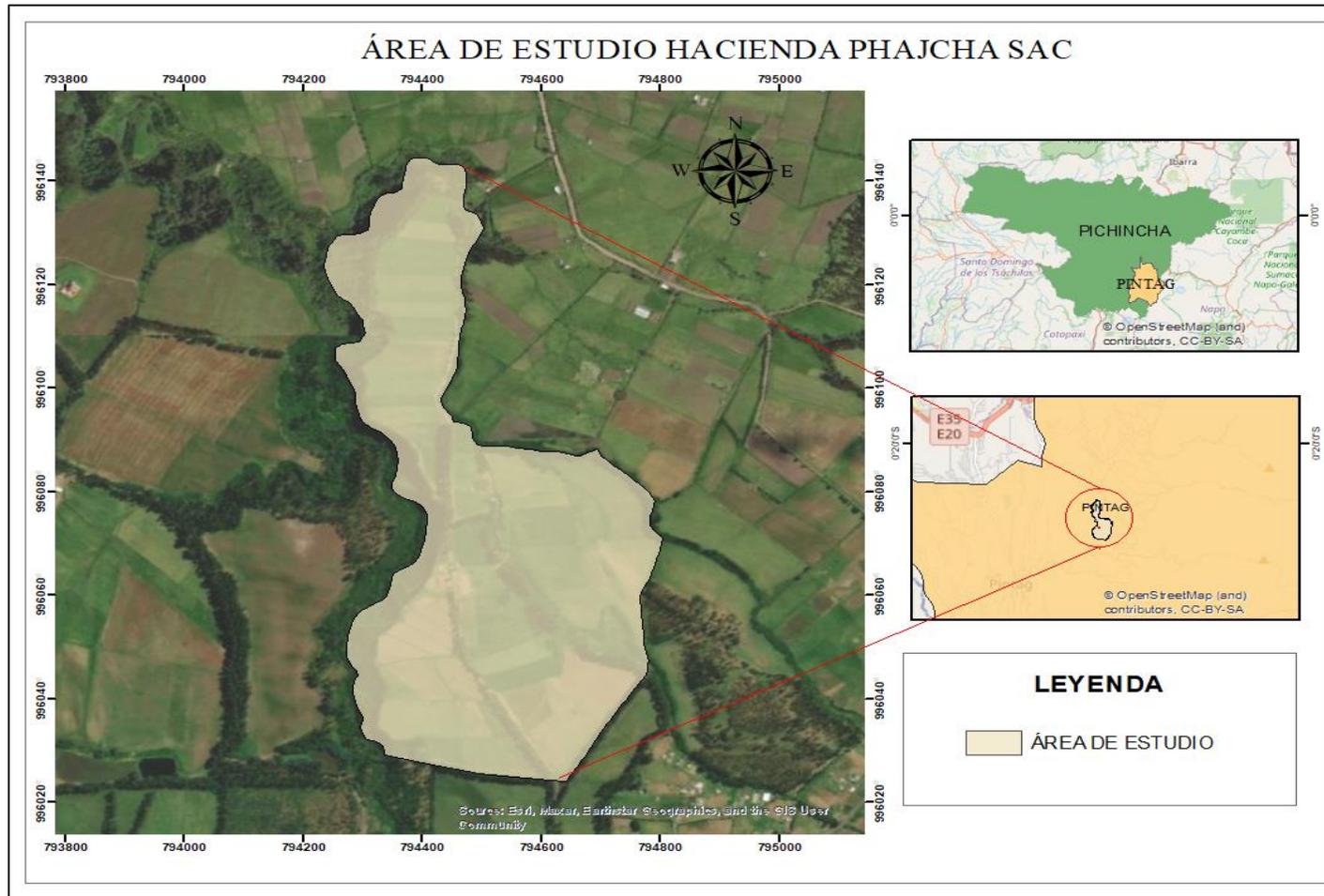
- Recurso hídrico juega un papel importante.
- Reutilización de aguas residuales.



- Planificación y reducción de costos.

INTRODUCCIÓN

Área de estudio



1. INTRODUCCIÓN

2. OBJETIVOS

3. METODOLOGÍA

4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



OBJETIVO GENERAL

Analizar el desarrollo del pasto con 4 diferentes tratamientos de riego mediante el análisis de imágenes multiespectrales y la estimación de biomasa con técnicas geoespaciales (GNSS, UAV, Sensores Multiespectrales) para determinar que tratamiento es el más favorable.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Delimitar las parcelas del área de estudio .

2. Cuantificar la cantidad de fósforo y nitrógeno del suelo.

3. Materializar con cilindros de hormigón y posicionar 5 puntos de control (GCP).

4. Obtener y procesar imágenes aéreas multiespectrales en 2 etapas mediante UAV.

5. Obtener y procesar imágenes aéreas RGB en 3 etapas mediante UAV.

6. Extraer muestras de pasto, para estimar el factor de densidad del cultivo en cada una de las parcelas.

7. Calcular el valor del NDVI y biomasa del pasto a través de los ortomosaicos y modelos digitales .

8. Validar la metodología de estimación de biomasa y del análisis multiespectral de las ortofotos.



1. INTRODUCCIÓN

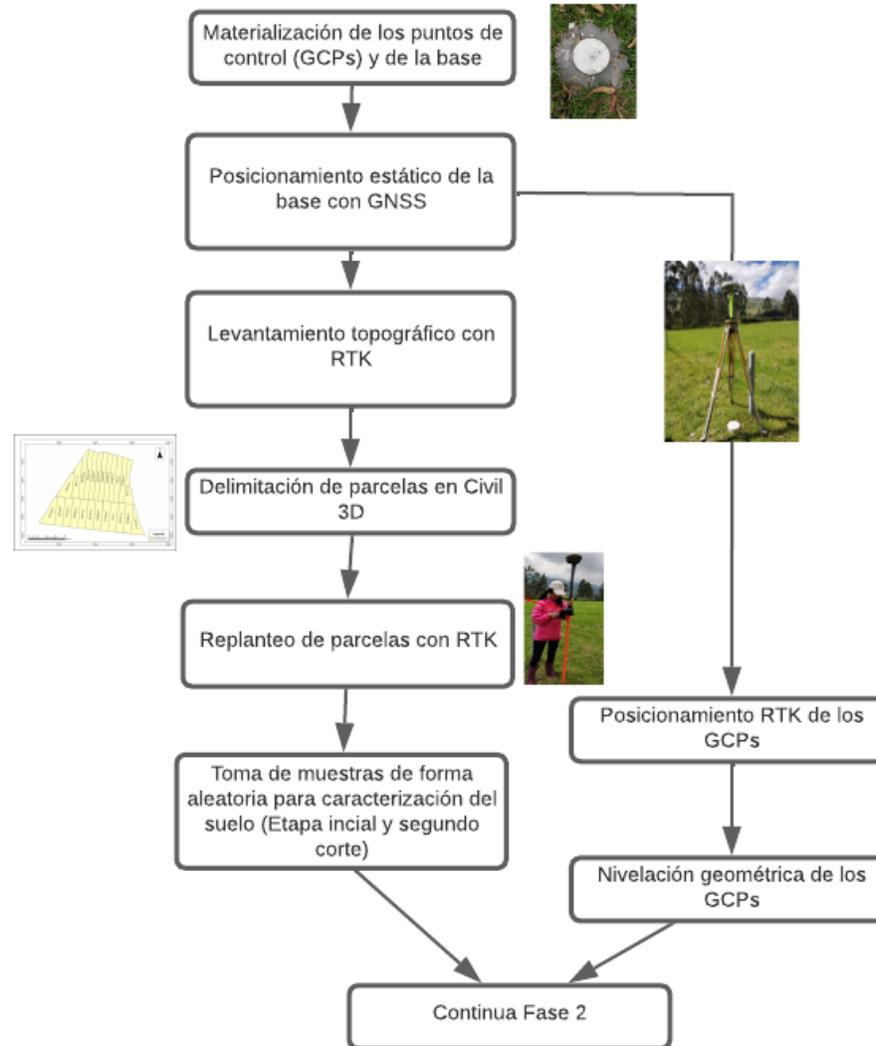
2. OBJETIVOS

3. METODOLOGÍA

4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES





METODOLOGÍA

Posicionamiento estático y levantamiento RTK

Equipo GNSS de doble frecuencia Trimble R8s



Nivelación geométrica

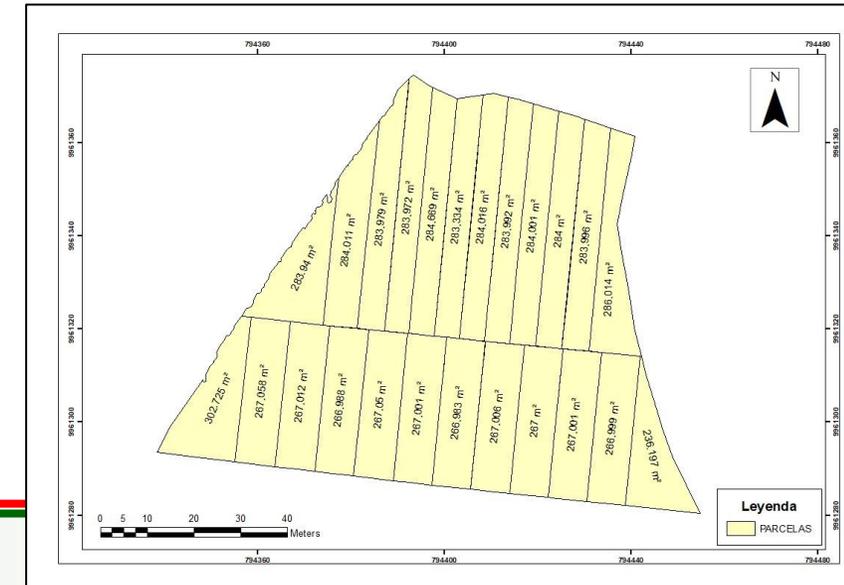
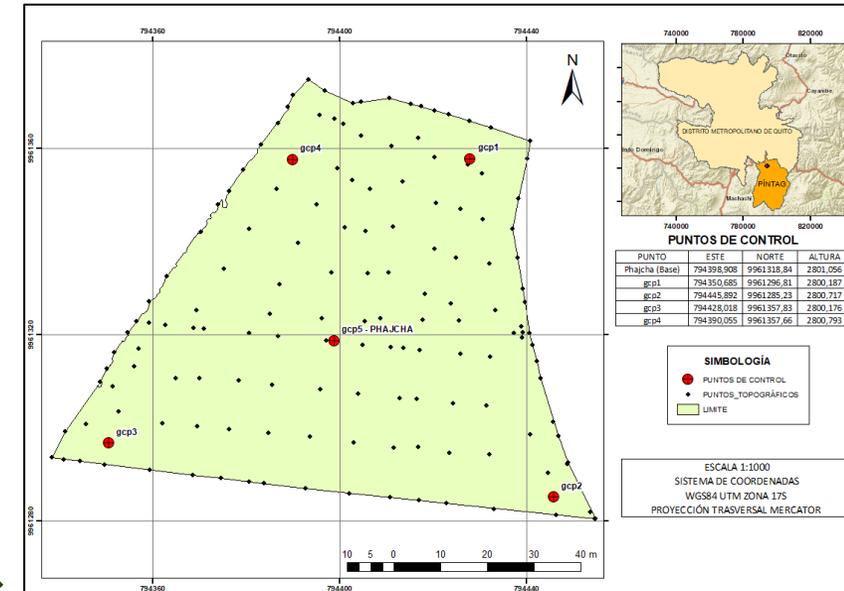
Método RTK



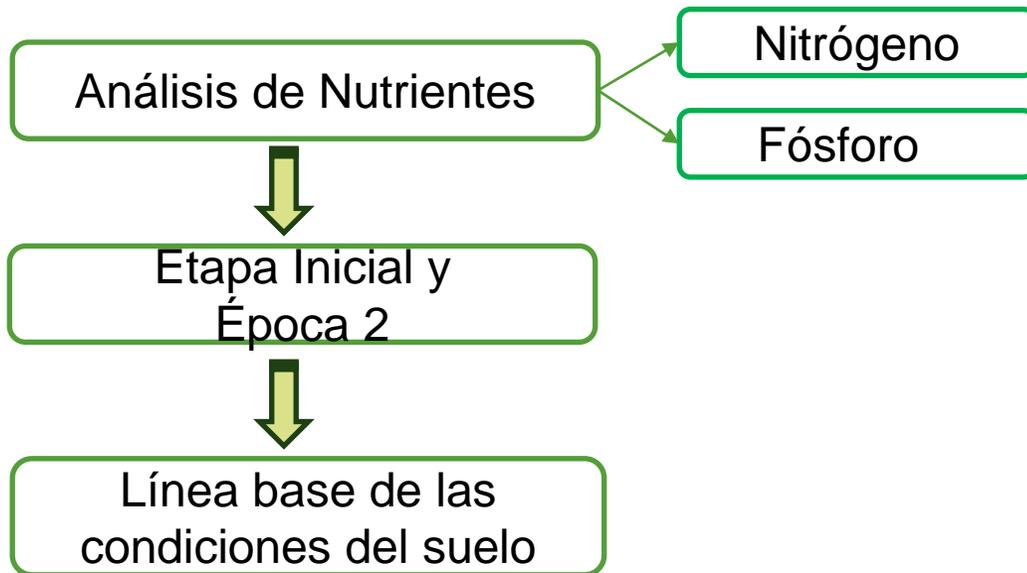
Delimitación de las parcelas



FASE 1 : Implantación del estudio



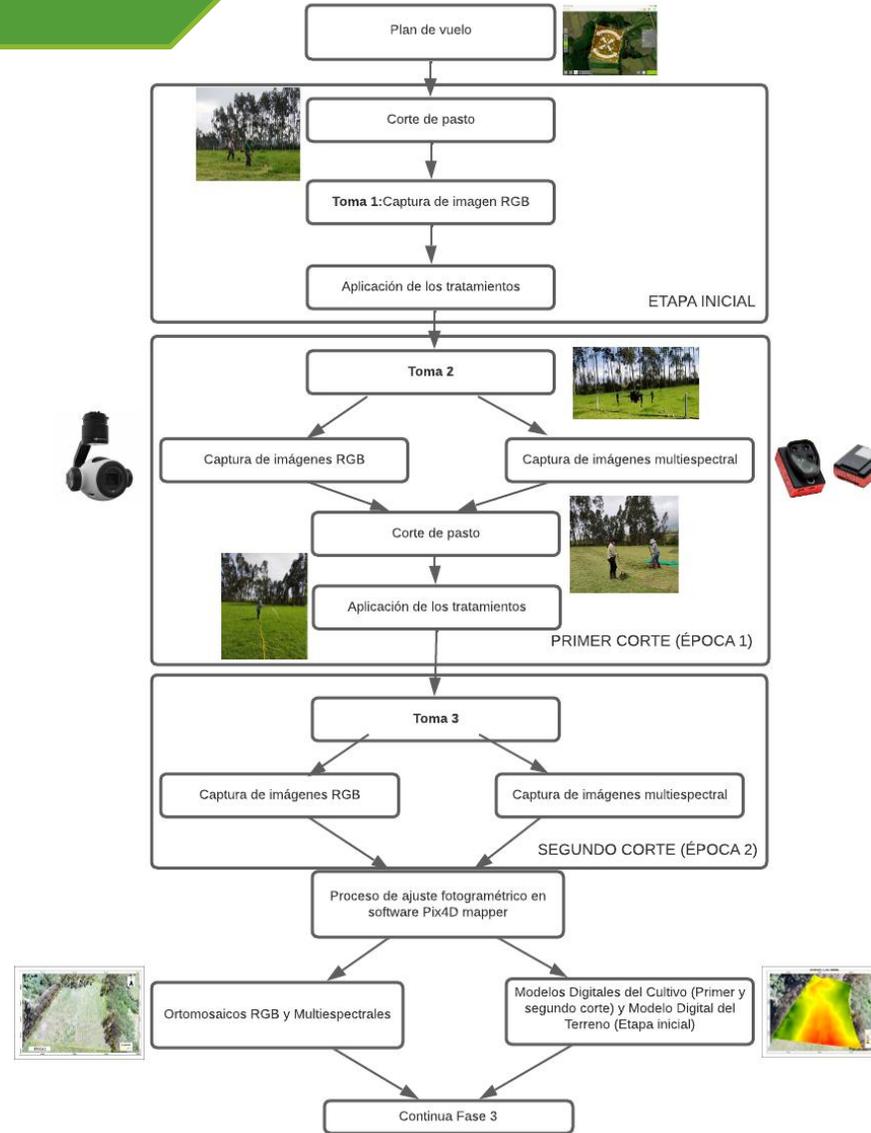
Muestreo y Análisis de suelo



Muestras aleatorias



METODOLOGÍA



METODOLOGÍA

Planificación y toma del vuelo



- Traslapos longitudinal y transversal
- Tiempo de vuelo
- Altura de vuelo
- Tamaño de píxel de la imagen



Cámara Multiespectral



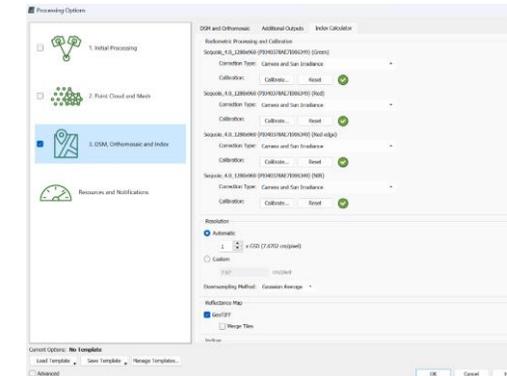
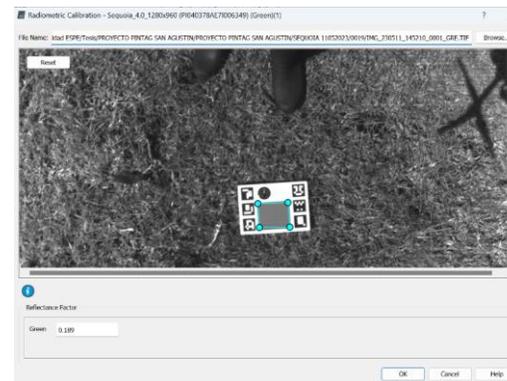
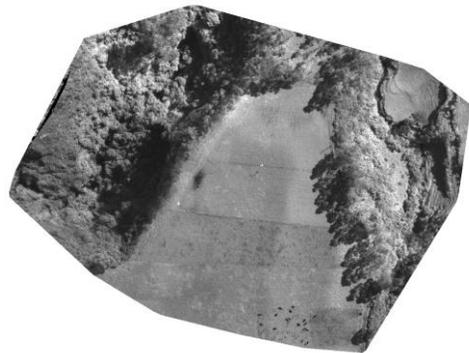
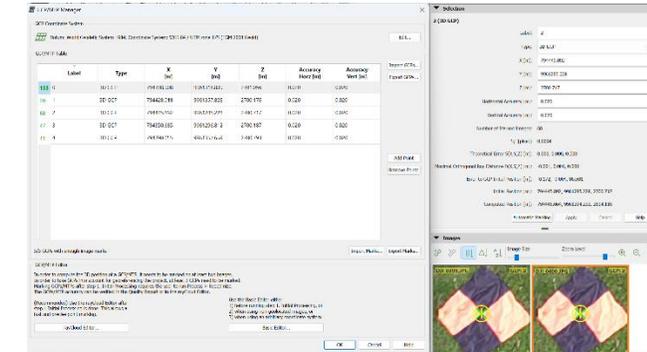
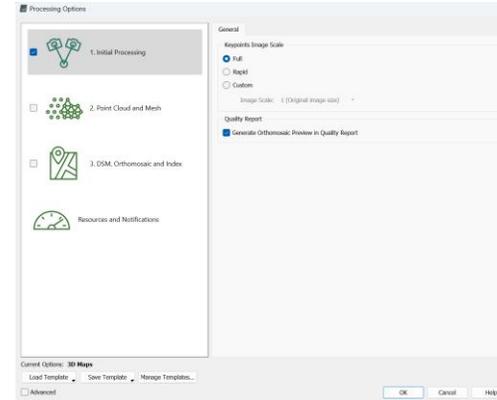
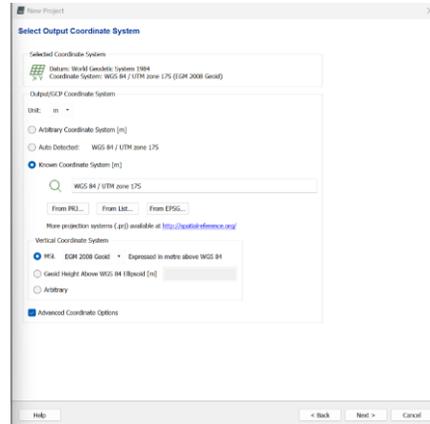
Cámara RGB



Calibración radiométrica en campo (Parrot Sequoia)



Procesamiento Fotogramétrico



METODOLOGÍA

Tratamientos de riego



Aplicación de tratamientos

Método de aspersión

Mangueras
87 litros/min

Duración: 20 min

Época 1: un riego por semana.

Época 2: Dos riegos por semana.



Cantidad óptima de 6 litros/m² (Zambrano, 2022)

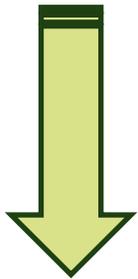


ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

METODOLOGÍA

1. Extracción de las muestras de pasto

Muestreo aleatorio
destrutivo



24 muestras de
biomasa



2. Procesado de las muestras

Peso húmedo



Secado

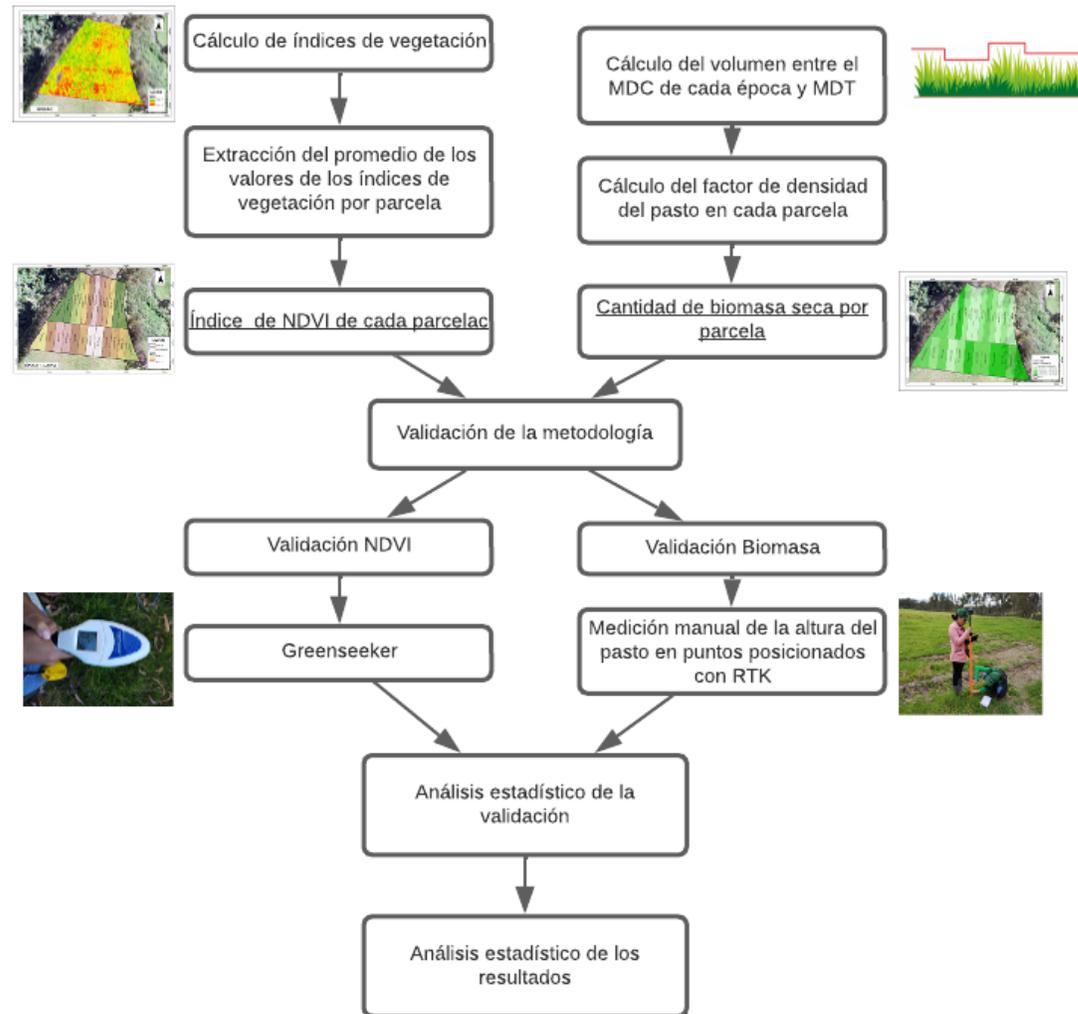


Peso seco

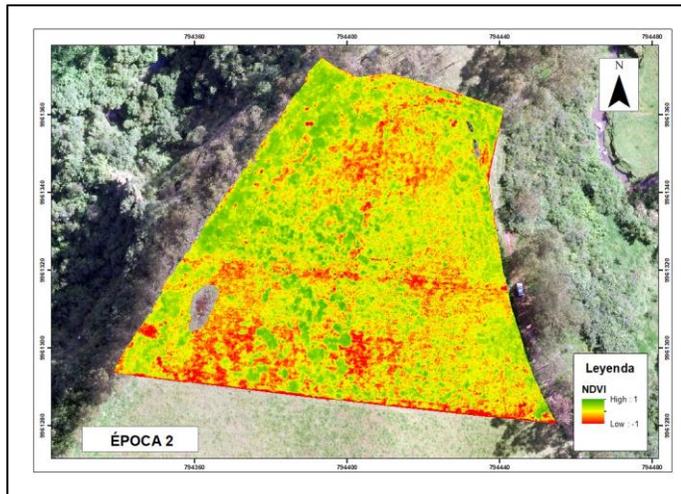
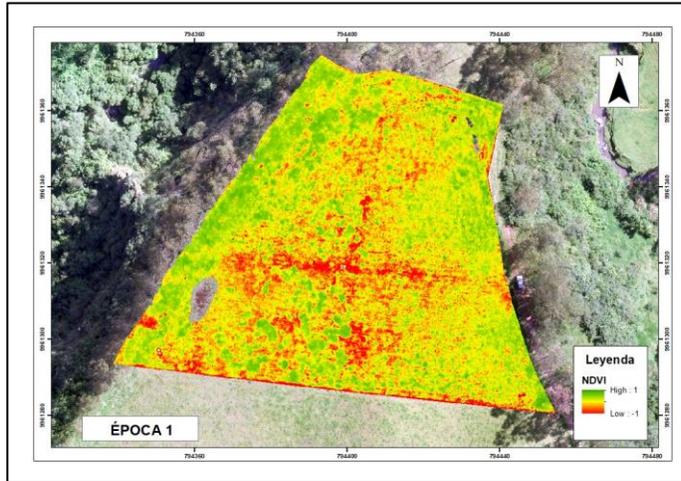


24 horas a 75° C





Cálculo del índice de Vegetación



Cálculo del índice de Biomasa

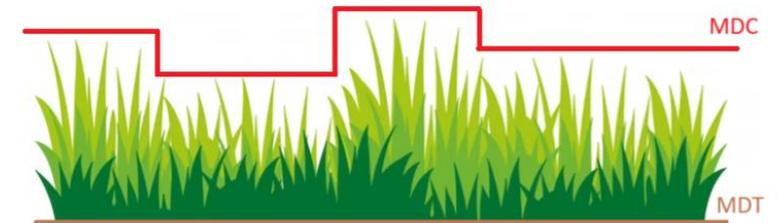
Cálculo del volumen y altura entre el MDC1 respecto al MDT

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



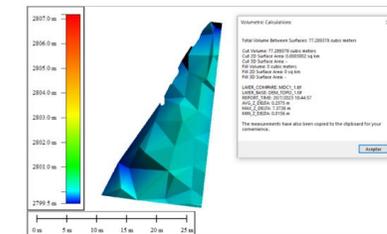
Factor de densidad

$$Fd = \frac{PS}{V}$$



Índice de Biomasa

$$B = V * Fd * A$$



Volumen entre superficies.

METODOLOGÍA

Precisión altimétrica de los modelos (Validación)

Toma de coordenadas y altura del pasto

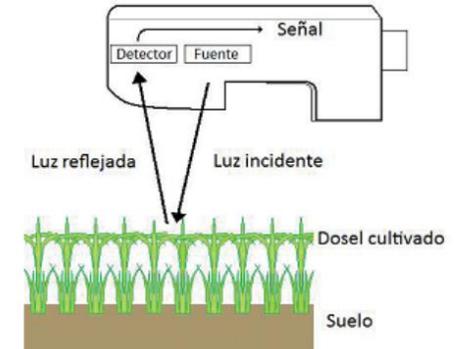


Altura manual
Altura digital = $MDC_2 - MDT$

FASE 3: evaluación de la información.

GreenSeeker (Validación NDVI)

Sensor de cultivo



Mide la cantidad de luz reflejada

puntos aleatorios



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Evaluación estadística de los Datos

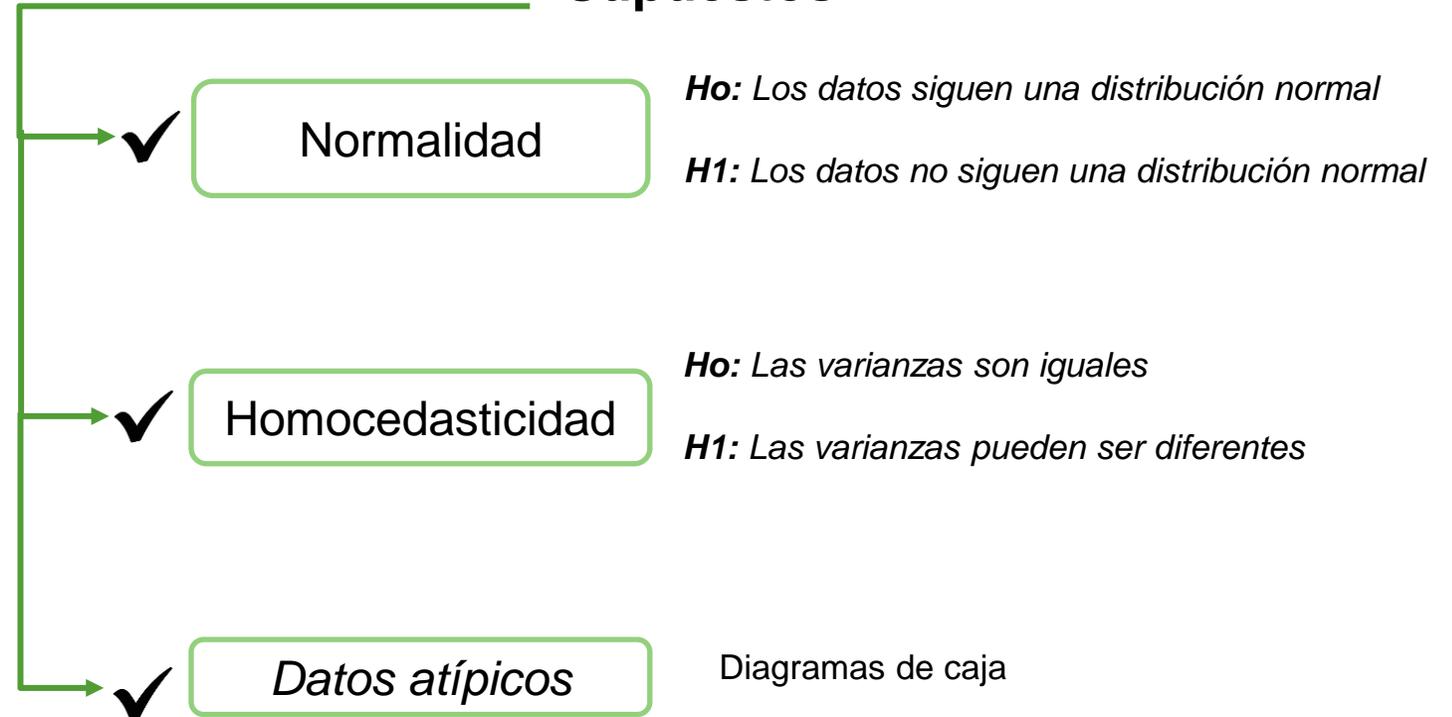


H₀: No existe diferencia significativa entre riegos

H₁: Existe diferencia significativa entre riegos

Nivel de significancia de 0,05

Supuestos

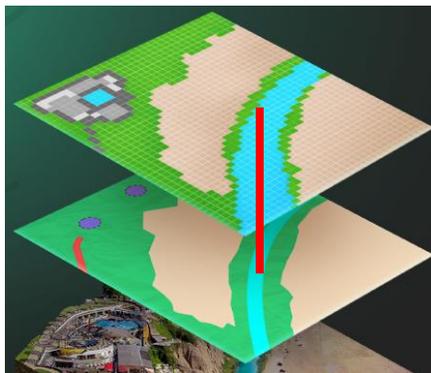


Evaluación estadística de la validación

Raíz del error cuadrático medio(RMSE)

Índice NDVI

$$RSME = \sqrt{\frac{\sum_i^n (NDVI \text{ Época } 2_i - Greenseeker_i)^2}{n}}$$

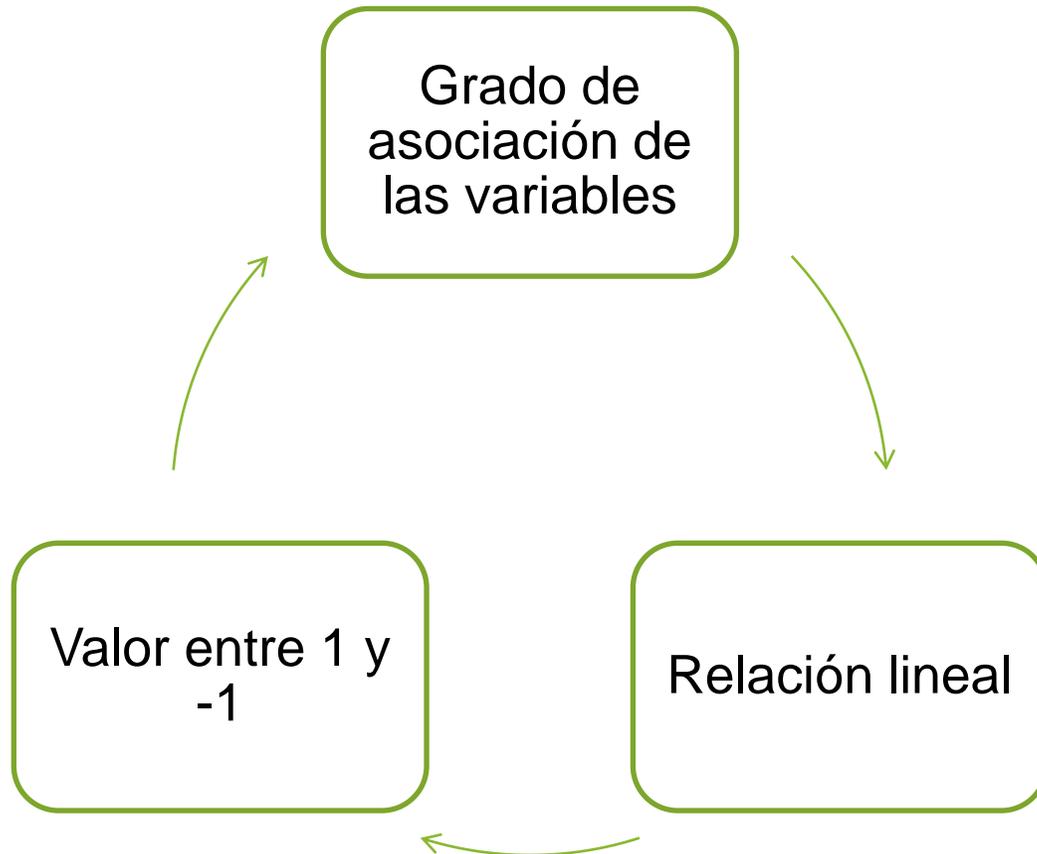


Precisión alimétrica

$$RSME = \sqrt{\frac{\sum_i^n (h_{manual_i} - h_{dig_i})^2}{n}}$$



Correlación de Pearson



Entre 0 y 0,10:
correlación inexistente

Entre 0,10 y 0,29:
correlación débil

Entre 0,30 y 0,50:
correlación moderada

Entre 0,50 y 1,00:
correlación fuerte

(Castro, 2018)



1. INTRODUCCIÓN

2. OBJETIVOS

3. METODOLOGÍA

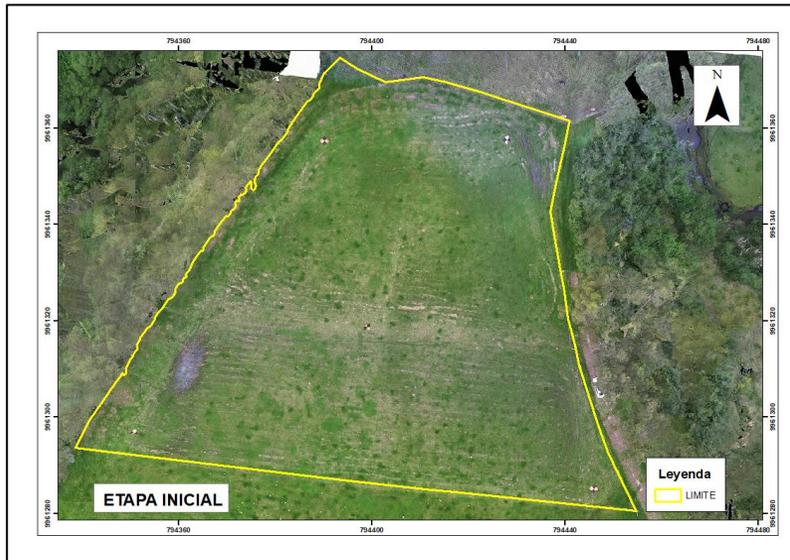
4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Ortomosaicos RGB



Nota: El mapa muestra el ortomosaico de las imágenes capturas el 9 de abril del 2023, en el sistema WGS84, coordenadas proyectadas UTM 17 S.



Nota: El mapa muestra el ortomosaico de las imágenes capturas el 11 de mayo del 2023, en el sistema WGS84, coordenadas proyectadas UTM 17 S.

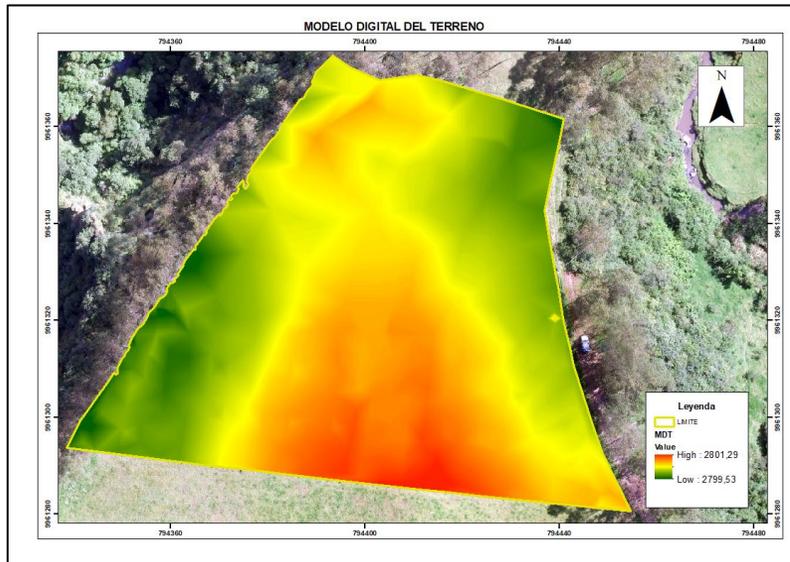


Nota: El mapa muestra el ortomosaico de las imágenes capturas el 22 de junio del 2023, en el sistema WGS84, coordenadas proyectadas UTM 17 S.

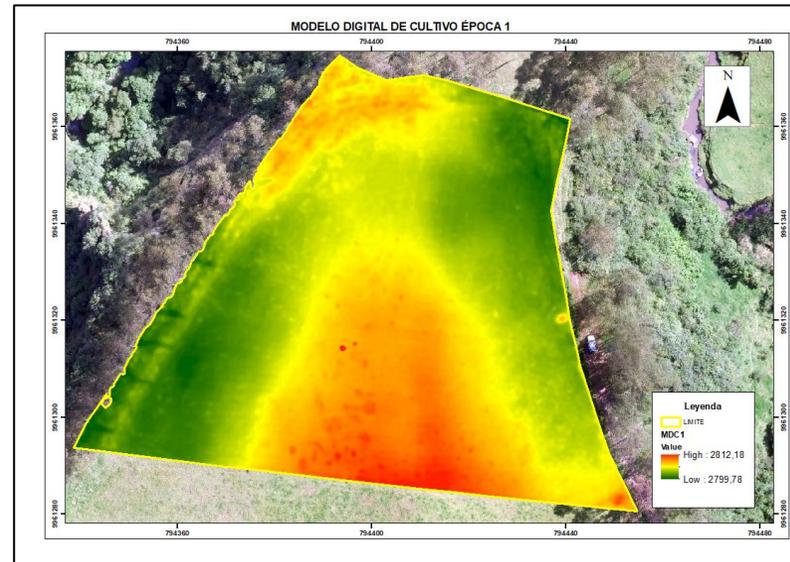


Generación de modelos digitales

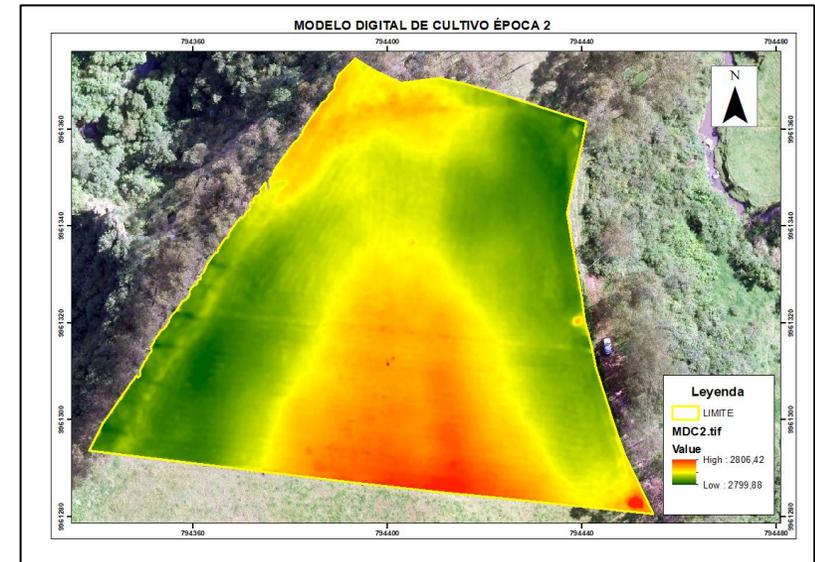
Modelo Digital de Terreno

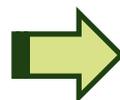


Modelo Digital del Cultivo 1



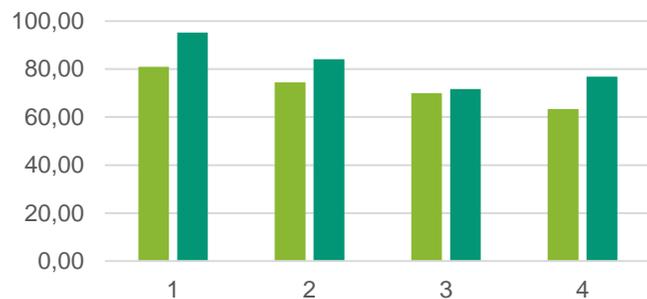
Modelo Digital del Cultivo 2





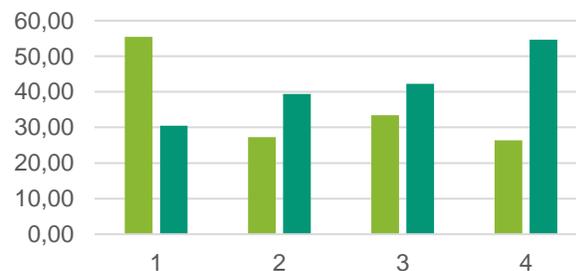
N° Muestras	Antes de aplicar los tratamientos de riego		Después de aplicar los tratamientos de riego	
	N	P	N	P
	ppm	ppm	ppm	ppm
M1	80,9	55,45	95,23	30,44
M2	74,46	27,3	84,15	39,37
M3	69,96	33,46	71,67	42,22
M4	63,34	26,41	76,87	54,68

Nitrógeno



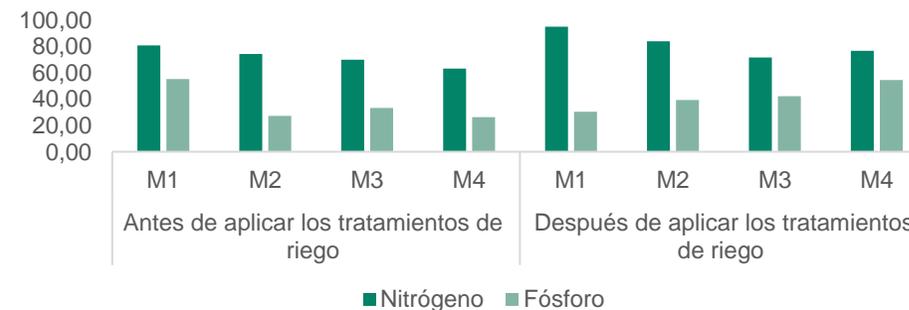
■ Antes de aplicar los tratamientos de riego N ppm
 ■ Después de aplicar los tratamientos de riego N ppm

Fósforo



■ Antes de aplicar los tratamientos de riego P ppm
 ■ Después de aplicar los tratamientos de riego P ppm

Nutrientes en el suelo



■ Nitrógeno ■ Fósforo



ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

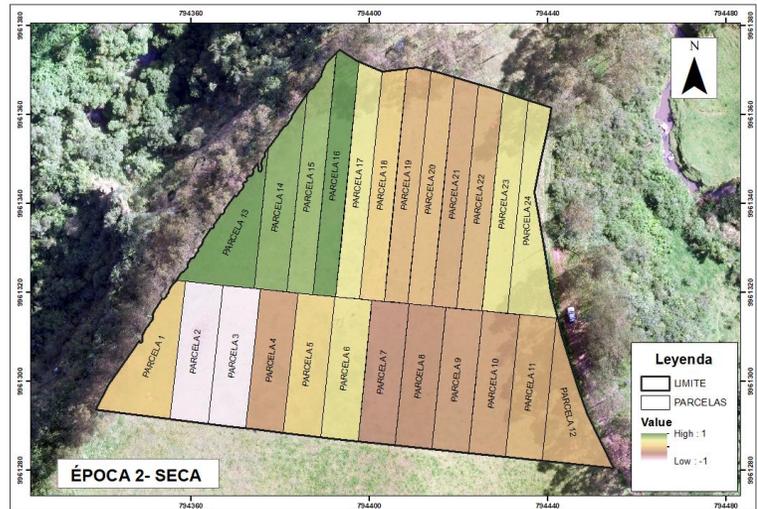
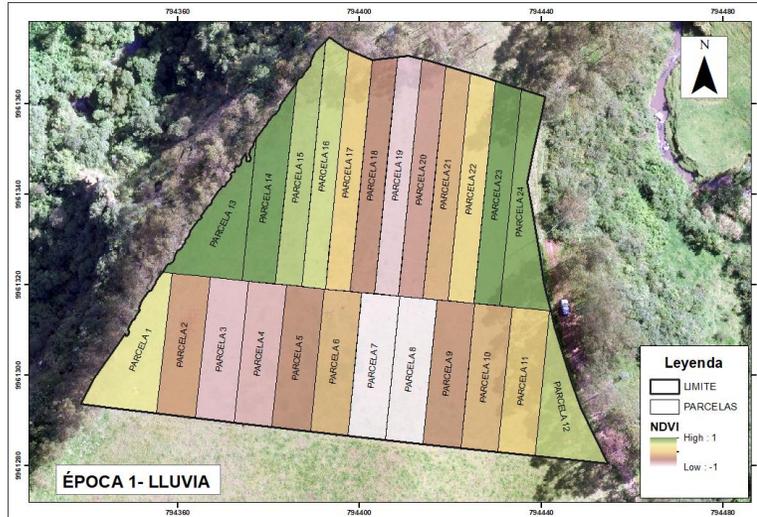
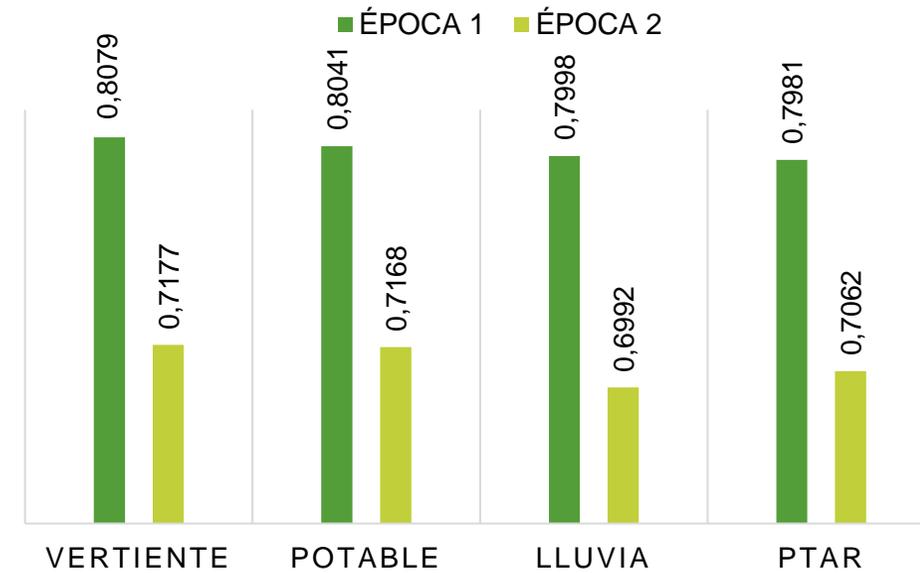
Valores de NDVI por parcela en cada época

N° PARCELA	TRATAMIENTO	ÉPOCA 1	ÉPOCA 2
PARCELA 1	AGUA VERTIENTE	0.815389	0.712134
PARCELA 2	AGUA LLUVIA	0.770120	0.622521
PARCELA 3	AGUA PTAR	0.785873	0.652200
PARCELA 4	AGUA POTABLE	0.787112	0.697645
PARCELA 5	AGUA VERTIENTE	0.793213	0.716853
PARCELA 6	AGUA PTAR	0.799999	0.724853
PARCELA 7	AGUA POTABLE	0.768508	0.687777
PARCELA 8	AGUA LLUVIA	0.781145	0.692094
PARCELA 9	AGUA VERTIENTE	0.794474	0.695938
PARCELA 10	AGUA PTAR	0.800043	0.697864
PARCELA 11	AGUA LLUVIA	0.805479	0.704394
PARCELA 12	AGUA POTABLE	0.819009	0.704981
PARCELA 13	AGUA LLUVIA	0.842170	0.758760
PARCELA 14	AGUA VERTIENTE	0.827329	0.750805
PARCELA 15	AGUA POTABLE	0.820957	0.748699
PARCELA 16	AGUA PTAR	0.818654	0.756889
PARCELA 17	AGUA POTABLE	0.804212	0.730289
PARCELA 18	AGUA LLUVIA	0.792528	0.713506
PARCELA 19	AGUA PTAR	0.784372	0.704953
PARCELA 20	AGUA VERTIENTE	0.790240	0.706181
PARCELA 21	AGUA PTAR	0.799407	0.700675
PARCELA 22	AGUA LLUVIA	0.807385	0.703741
PARCELA 23	AGUA VERTIENTE	0.823625	0.724500
PARCELA 24	AGUA POTABLE	0.824704	0.731159



Valores de NDVI por tratamiento en cada época

TRATAMIENTO	ÉPOCA 1	ÉPOCA 2
AGUA VERTIENTE	0.8079	0.7177
AGUA LLUVIA	0.7998	0.6992
AGUA PTAR	0.7981	0.7062
AGUA POTABLE	0.8041	0.7168



Pastos Verdes → Cantidad de leche

Pastos Seco → Calidad de leche

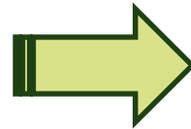


ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Índice de biomasa

Cantidad de índice de biomasa por parcela en Kilogramos/ha.

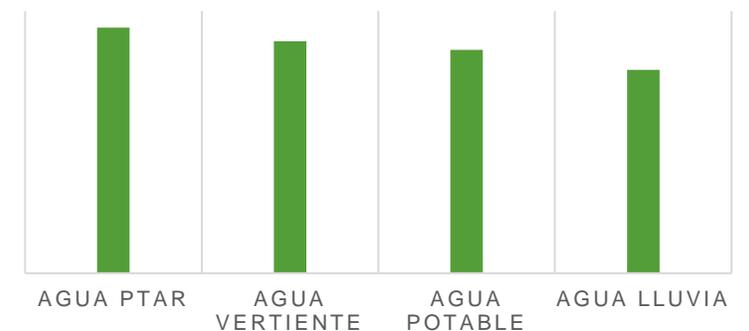
N°_PARCELA	TRATAMIENTO	BIOMASA (kg/h)
PARCELA 1	AGUA VERTIENTE	12100,68237
PARCELA 2	AGUA LLUVIA	9832,130123
PARCELA 3	AGUA PTAR	12168,31835
PARCELA 4	AGUA POTABLE	6956,290836
PARCELA 5	AGUA VERTIENTE	11350,44228
PARCELA 6	AGUA PTAR	17657,88312
PARCELA 7	AGUA POTABLE	12483,20941
PARCELA 8	AGUA LLUVIA	14586,24115
PARCELA 9	AGUA VERTIENTE	17633,88505
PARCELA 10	AGUA PTAR	16502,52975
PARCELA 11	AGUA LLUVIA	13863,76064
PARCELA 12	AGUA POTABLE	18651,49371
PARCELA 13	AGUA LLUVIA	14462,63856
PARCELA 14	AGUA VERTIENTE	8646,927284
PARCELA 15	AGUA POTABLE	19623,15997
PARCELA 16	AGUA PTAR	10220,15663
PARCELA 17	AGUA POTABLE	5726,982713
PARCELA 18	AGUA LLUVIA	5655,836339
PARCELA 19	AGUA PTAR	10686,11708
PARCELA 20	AGUA VERTIENTE	15515,90138
PARCELA 21	AGUA PTAR	11480,40226
PARCELA 22	AGUA LLUVIA	6738,877834
PARCELA 23	AGUA VERTIENTE	9037,288772
PARCELA 24	AGUA POTABLE	8075,296119



Promedio del índice de biomasa por el tipo de tratamiento de riego.

TRATAMIENTO	PROMEDIO BIOMASA (kg/ha)
AGUA PTAR	13119,23453
AGUA VERTIENTE	12380,85452
AGUA POTABLE	11919,40546
AGUA LLUVIA	10856,58077

PROMEDIO BIOMASA (KG/HA)



PRUEBA DE SHAPIRO-WILKS

NDVI por tratamientos época 1

P-valor : 0,794 ✓

NDVI por tratamientos época 2

P-valor : 0,81 ✓

Índice de Biomasa

P-valor : 0,1373 ✓

PRUEBA DE LEVENE

NDVI por tratamientos época 1

P-valor : 0,04923 ✓

NDVI por tratamientos época 2

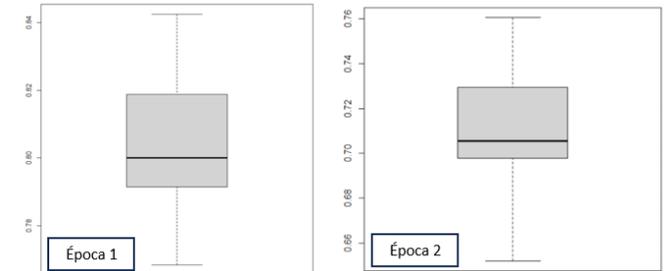
P-valor : 0,8428 ✓

Índice de Biomasa

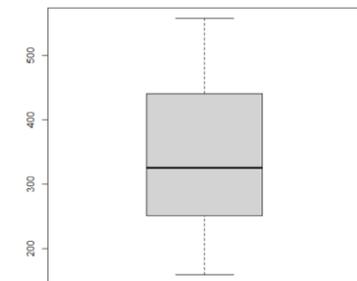
P-valor : 0,1366 ✓

DIAGRAMA DE CAJAS

NDVI



Índice de biomasa



ANOVA NDVI

ANOVA ÍNDICE DE BIOMASA

NDVI por
tratamientos época 1

NDVI por
tratamientos época 2

Índice de biomasa

P-valor : 0,8445



P-valor : 0,7071



P-valor : 0,8354



No existen diferencias
significativas entre riegos

No existen diferencias
significativas entre riegos

NDVI por épocas

P-valor : 0,0001



Existen diferencias
significativas entre épocas



ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Datos de NDVI obtenidos con el sensor GreenSeeker

N° PARCELA	TRATAMIENTO	ÉPOCA 2	GREENSEEKER
PARCELA 1	AGUA VERTIENTE	0.712134	0.675
PARCELA 2	AGUA LLUVIA	0.622521	0.658
PARCELA 3	AGUA PTAR	0.652200	0.692
PARCELA 4	AGUA POTABLE	0.697645	0.654
PARCELA 5	AGUA VERTIENTE	0.716853	0.646
PARCELA 6	AGUA PTAR	0.724853	0.596
PARCELA 7	AGUA POTABLE	0.687777	0.726
PARCELA 8	AGUA LLUVIA	0.692094	0.693
PARCELA 9	AGUA VERTIENTE	0.695938	0.666
PARCELA 10	AGUA PTAR	0.697864	0.644
PARCELA 11	AGUA LLUVIA	0.704394	0.64
PARCELA 12	AGUA POTABLE	0.704981	0.745
PARCELA 13	AGUA LLUVIA	0.758760	0.66
PARCELA 14	AGUA VERTIENTE	0.750805	0.656
PARCELA 15	AGUA POTABLE	0.748699	0.555
PARCELA 16	AGUA PTAR	0.756889	0.713
PARCELA 17	AGUA POTABLE	0.730289	0.646
PARCELA 18	AGUA LLUVIA	0.713506	0.593
PARCELA 19	AGUA PTAR	0.704953	0.655
PARCELA 20	AGUA VERTIENTE	0.706181	0.678
PARCELA 21	AGUA PTAR	0.700675	0.714
PARCELA 22	AGUA LLUVIA	0.703741	0.709
PARCELA 23	AGUA VERTIENTE	0.724500	0.707
PARCELA 24	AGUA POTABLE	0.731159	0.744

Validación NDVI

RMSE

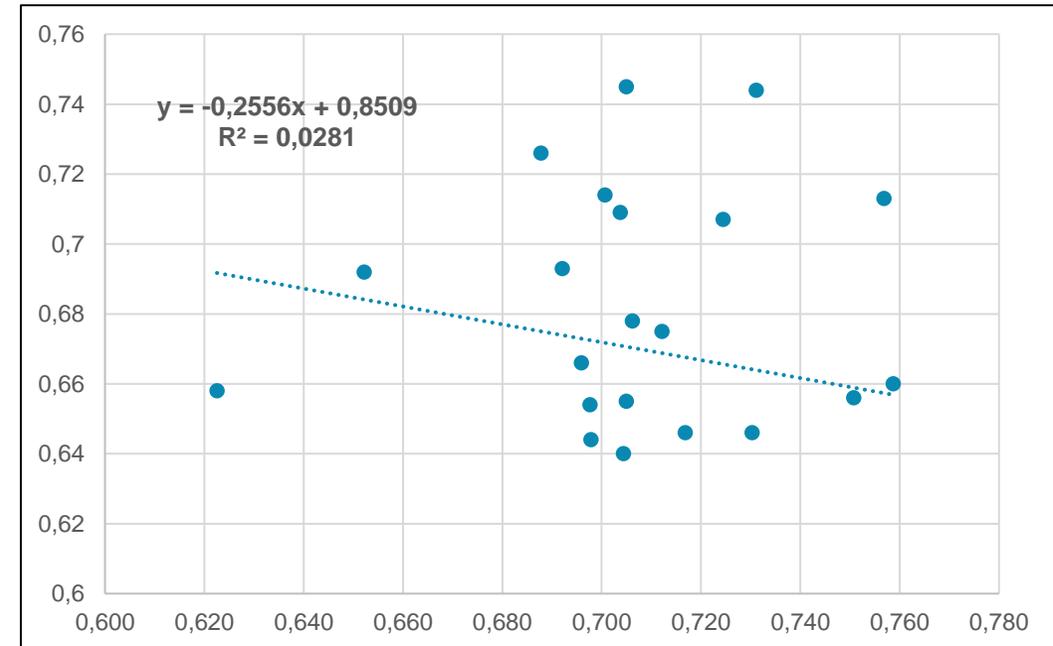


Valor : 0,071

Correlación R2



Valor : 0,0281
Correlación baja

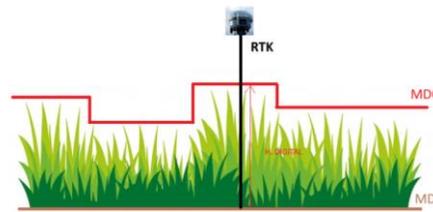


ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Datos de altura manual y digital por parcela

N° PARCELA	H_MANUAL	H_DIGITAL
PARCELA 1	0,347	0,179932
PARCELA 2	0,365	0,23999
PARCELA 3	0,316	0,430176
PARCELA 4	0,165	0,139893
PARCELA 5	0,255	0,060059
PARCELA 6	0,215	0,409912
PARCELA 7	0,155	0,110107
PARCELA 8	0,135	0,139893
PARCELA 9	0,105	0,199951
PARCELA 10	0,185	0,140137
PARCELA 11	0,117	0,159912
PARCELA 12	0,134	0,130127
PARCELA 13	0,081	0,129883
PARCELA 14	0,276	0,200195
PARCELA 15	0,111	0,22998
PARCELA 16	0,065	0,080078
PARCELA 17	0,211	0,070068
PARCELA 18	0,101	0,109863
PARCELA 19	0,071	0,079834
PARCELA 20	0,169	0,130127
PARCELA 21	0,223	0,209961
PARCELA 22	0,189	0,079834
PARCELA 23	0,221	0,139893
PARCELA 24	0,225	0,080078

H. Digital



H. Manual

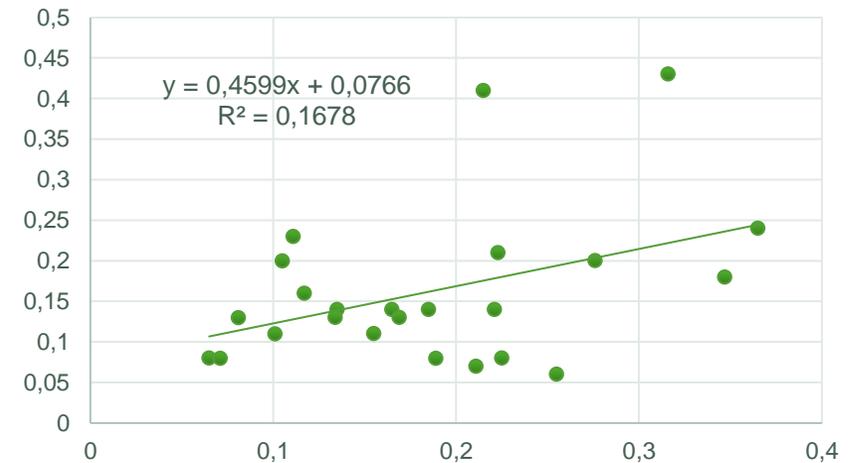


Validación de la altura

Entrelazamiento del MDT y MDC (Época 2)

RMSE en Z = 0.0982

Análisis de Correlación

 $R^2 = 0.1678$ 

1. INTRODUCCIÓN

2. OBJETIVOS

3. METODOLOGÍA

4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se realizaron análisis de fósforo y nitrógeno en el suelo, evidenciándose un incremento de estos nutrientes cuando se aplicaron los tratamientos de riego, por lo que es importante considerar la interacción entre los tratamientos de riego, las fuentes de nutrientes y las condiciones del suelo para lograr un crecimiento óptimo del pasto.
- Al finalizar la investigación se obtuvieron ortomosaicos divididos en color RGB y multiespectrales. Con estas últimas se pudo, realizar un análisis de los índices de vegetación relacionados con el crecimiento del pasto, lo que proporcionó una comprensión más profunda de cómo el pasto evolucionó durante el período estudiado y como respondió a los diferentes tratamientos de riego y condiciones ambientales.
- Tras el análisis estadístico (pruebas ANOVA) del factor de densidad y el índice de biomasa por parcela se determinó que no existe un tratamiento de riego específico que beneficie el crecimiento del pasto. Sin embargo, al realizar un análisis determinístico de los valores promedio, de estas dos variables, respecto a los tipos de tratamiento de riego se concluye que el agua de la PTAR es la que presenta una mayor eficiencia en la producción de biomasa y factor de densidad.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- En cuanto a la aplicación de los tratamientos de riego se realizó una aplicación manual dos veces por semana en la época seca, debido a que las condiciones del suelo hacían que este absorba demasiada agua y el tiempo de riego no llegó a ser suficiente causando que el pasto se seque. Sin embargo, en la época de lluvia se aplicó un riego por semana, en este caso los tratamientos se mezclaron a causa de un incremento en las precipitaciones lo que generó una saturación de agua en las parcelas.
- Respecto al análisis estadístico se comprobó que los valores de índice de biomasa por parcela y NDVI, cumplen con los supuestos para aplicar una prueba paramétrica. Esta prueba, permitió concluir que no existen diferencias significativas entre tratamientos de riego, es decir, ningún tipo de riego favorece o empeora significativamente el crecimiento del pasto.
- Aunque las estadísticas muestran que no existen diferencias significativas entre tratamientos, las pequeñas diferencias determinísticas encontradas, en términos agronómicos, respecto a los promedios de índice de biomasa y NDVI, evidencian cambios de forma económica y en el rendimiento de la producción lechera, a largo plazo.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Para que el experimento este mejor controlado, es necesario contar con todos los recursos para realizar este tipo de estudios, ya que, al no contar con los equipos topográficos y equipos de dron, en las fechas planificadas, los datos se ven afectados. De igual forma se recomienda tomar en cuenta el recurso económico ya que este tipo de ensayos requiere de una buena inversión.

- Se recomienda para próximos estudios considerar como variable de análisis el tipo de pasto, debido a existen diversas variedades de pastos que presentan diferentes propiedades, comportamientos y respuestas a los tratamientos de riego. De igual manera, se sugiere realizar este tipo de ensayos en invernaderos donde no existan factores externos que alteren los resultados.

- Se recomienda tener mayor eficacia en los procesos de acceso a los laboratorios de la Universidad, con la finalidad de agilizar el proceso investigativo y aportar con soluciones eficaces al tema propuesto.

- Es importante realizar un análisis regular del suelo para conocer su humedad y nutrientes, lo que permitirá determinar cuando es necesario aplicar el riego y en qué cantidad hacerlo. De igual forma, es necesario evitar el riego durante las horas más calurosas del día para reducir la pérdida de agua por evaporación, por lo que es factible realizar el riego en horas de la mañana o al atardecer.





ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS-ESPE
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

“Análisis del desarrollo del pasto en función de cuatro tratamientos de riego a partir de tecnologías geoespaciales (GNSS, UAV, sensores multiespectrales) en la hacienda Phajcha.sac”

Autores: Aguiar Orta, Sara Stefanía y Godoy Cuzco, Lizeth Carolina

Docente Colaborador: Ing. Sinde González, Izar PhD

Director del proyecto

Ing. Leiva Gonzáles, César, MSc.

Director de Carrera

Ing. Robayo Nieto, Alexander MSc.

Docente Evaluador

Ing. Kirby Powney, Eduardo PhD

Secretario Académico

Ab. Calahorrano, Carlos

