



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**Sistema de pastoreo racional enfocado en la oferta forrajera, mediante el uso de
tecnologías geoespaciales en la comuna Guagrabamba – Alóag**

Sandoval Llamba, Clara Estefanía y Velastegui Fuertes, Bryan Saúl

Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Geógrafo y del Medio
Ambiente

Ing. Sinda González, Izar PhD

23 de febrero del 2023

24/2/23, 12:10

Tesis 3 aqui si

Informe de originalidad

NOMBRE DEL CURSO

Revisión tesis velastegui y sandoval

NOMBRE DEL ALUMNO

CLARA ESTEFANIA SANDOVAL LLAMBA


Generado automáticamente por
IZAR SINDI GONZALEZ

NOMBRE DEL ARCHIVO

CLARA ESTEFANIA SANDOVAL LLAMBA - Tesis revisar

SE HA CREADO EL INFORME

24 feb 2023

Resumen

Fragmentos marcados	2	0,2 %
Fragmentos citados o entrecomillados	4	0,5 %

Coincidencias de la Web

cepal.org	2	0,3 %
fao.org	1	0,1 %
upc.edu	1	0,1 %
core.ac.uk	1	0,1 %
tropicalgrasslands.info	1	0,1 %

24/2/23, 12:09

Tesis 3 aqui si

Informe de originalidad

NOMBRE DEL CURSO

Revisión tesis velastegui y sandoval

NOMBRE DEL ALUMNO

BRYAN SAUL VELASTEGUI FUERTES


Generado automáticamente por
IZAR SINDI GONZALEZ

NOMBRE DEL ARCHIVO

BRYAN SAUL VELASTEGUI FUERTES - Tesis revisar

SE HA CREADO EL INFORME

24 feb 2023

Resumen

Fragmentos marcados	2	0,2 %
Fragmentos citados o entrecomillados	4	0,5 %

Coincidencias de la Web

cepal.org	2	0,3 %
fao.org	1	0,1 %
upc.edu	1	0,1 %
core.ac.uk	1	0,1 %
tropicalgrasslands.info	1	0,1 %



Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción
Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: **"Sistema de pastoreo racional enfocado en la oferta forrajera, mediante el uso de tecnologías geoespaciales en la comuna Guagrabamba – Alóag"** fue realizado por los señores **Sandoval Llamba, Clara Estefanía y Velastegui Fuertes, Bryan Saúl**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 05 de mayo del 2023

Firma:

IZAR SINDE
GONZALEZ
Firmado digitalmente
por IZAR SINDE
GONZALEZ
Fecha: 2023.05.05
22:25:15 +02'00'

.....
Ing. Sinde González, Izar Ph.D.

C.C.: 1756491278



Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción
Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente

Responsabilidad de Autoría

Nosotros, **Sandoval Llamba, Clara Estefanía** con cédula de ciudadanía n°1725536708 y **Velastegui Fuertes, Bryan Saúl** con cédula de ciudadanía n°1725270118, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Sistema de pastoreo racional enfocado en la oferta forrajera, mediante el uso de tecnologías geoespaciales en la comuna Guagrabamba – Alóag** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 15 de marzo del 2023

.....
Sandoval Llamba, Clara Estefanía

C.C.: 1725536708

.....
Velastegui Fuertes, Bryan Saúl

C.C.: 1725270118



Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente

Autorización de Publicación

Nosotros **Sandoval Llamba, Clara Estefanía** con cédula de ciudadanía n°1725536708 y **Velastegui Fuertes, Bryan Saúl** con cédula de ciudadanía n°1725270118, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Sistema de pastoreo racional enfocado en la oferta forrajera, mediante el uso de tecnologías geoespaciales en la comuna Guagrabamba – Alóag** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 15 de marzo del 2023

.....
Sandoval Llamba, Clara Estefanía

C.C.: 1725536708

.....
Velastegui Fuertes, Bryan Saúl

C.C.: 1725270118

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado en primer lugar a Dios por darme salud y vida para continuar cumpliendo mis sueños.

A mi mami Clara que siempre ha creído en mí y me brinda todos los días su amor incondicional en cada recorrido al que me quiero encaminar, a mi papi Mario que siempre está presente para mí enseñándome a ser fuerte y no rendirme. Ellos son mi bien máspreciado, mi ejemplo de esfuerzo y superación que siempre han creído en mí y han estado presentes en los momentos más importantes de mi vida.

A mi ñaño Mario por compartir conmigo todos los buenos y malos momentos mientras crecíamos, a Michelle y Lizbeth mis ñañas que están en los buenos y malos momentos conmigo, a mi yuya que me brinda su amor y la fortaleza de seguir adelante. A mami Estela que nos cuida como sus hijos y a mamita Olimpia que a pesar de los años siempre estará en mi corazón.

A toda mi familia en general por estar siempre presentes en mi vida, brindarme su amor y demostrarme día a día que la unión familiar es un regalo de Dios, el cual tenemos la dicha de compartir y fortalecer.

A mis mejores amigos desde primer semestre Naty, Rodrigo y Shirley por sus consejos y amistad sincera e incondicional en todo el transcurso de mi vida Universitaria.

A mi grupo de amigos de la Universidad, que siempre me alentaron, ayudaron y compartieron conmigo su amistad para poder conllevar la vida Universitaria.

Dedicatoria

Dedico este trabajo primero a Dios quien me ha regalado, vida, salud y personas maravillosas en mi vida

Mi familia es el pilar fundamental en mi vida y esta investigación está dedicada de todo corazón para ellos. A mi mami María que siempre me ha mostrado que se debe luchar duro por las cosas, que a pesar de los obstáculos en la vida se puede salir adelante, a mi papi German por estar siempre conmigo ayudándome en todo lo que necesito y nunca dejándome solo, a mi hermana Karen que a pesar de la peleas o diferencias que tengamos siempre tengamos ese amor de hermanos, a mi tío Luis que me mostro que con una voluntad fuerte cualquier cambio es posible y a mi abuelita María que a pesar de los años siento plenamente su amor y cariño, y siempre estará conmigo.

A mis amigos de mi barrio por tantas tardes maravillosas y por recuerdos que hemos creado juntos, los cuales siempre perduraran en mi corazón y mi memoria.

A mis amigos que conocí en la universidad los cuales siempre me extendieron una mano de ayuda y con los cuales he compartido tantos momentos hermosos, tanto dentro como fuera de la universidad.

Agradecimientos

En primer lugar, agradezco a dios por darme salud y vida para alcanzar mis sueños.

A mis padres, por todo el amor, sacrificio y tiempo invertido en mi para que nunca me falte nada.

A toda mi familia, que son el bien máspreciado que tengo y sé que siempre puedo contar su apoyo incondicional.

A mis mejores amigos, por brindarme su amistad sincera en los buenos y malos momentos de mi vida.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, por sus enseñanzas y por demostrarme el significado de constancia y dedicación que se necesita para poder alcanzar tus sueños.

A todos mis profesores de la carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente, por brindarme todo su conocimiento impartido.

A mi tutor de tesis Ingeniero Izar Sinde, por su gran apoyo, paciencia y dedicación al brindarme las enseñanzas necesarias en el desarrollo de esta investigación.

Agradecimientos

Agradezco primero a Dios por darme la oportunidad de haber recorrido este camino tan extraordinario.

A toda mi familia que siempre está pendiente de mí, que son un soporte y que con su amor incondicional

A la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, por abrirme las puertas para conocer personas increíbles.

A los profesores que fueron parte de mi proceso académico que siempre compartieron sus conocimientos y contribuyeron a mi formación académica.

Al ingeniero Izar Sinde por siempre ayudarnos en la elaboración de esta investigación, por compartir sus enseñanzas con paciencia y buen humor.

A todos los amigos que se tomaron tiempo de sus vidas para ayudarnos en la elaboración de este proyecto, sin ellos terminarlo sería imposible. Que sepan de todo corazón que siempre estaré agradecido con todos y cada uno de ustedes.

A tíos, primos y amigos por haberme apoyado siempre de alguna u otra manera.

Índice de contenido

Plagio	2
Certificación	3
Responsabilidad de autoría	4
Autorización de Publicación	5
Dedicatoria	6
Agradecimientos	8
Índice de contenido	10
Índice de tablas	15
Índice de Figuras.....	16
Resumen.....	19
Abstract.....	20
Capítulo I.....	21
Introducción	21
Antecedentes.....	21
Planteamiento del Problema	22
Justificación e importancia	23
Descripción del área de estudio.....	24
Objetivos generales y específicos	25
Objetivo general.....	25
Objetivos específicos	26
Metas	26

Pregunta de Investigación	27
Capitulo II	28
Marco teórico	28
Base teórica	28
Tecnologías geoespaciales	28
Teledetección.....	28
Sistemas de información geográfica (SIG)	28
Pastoreo.....	29
Oferta forrajera.....	29
Sistemas de producción ganaderos.....	30
Sistema de pastoreo	30
Pastoreo racional Voisin (PRV)	30
Pastoreo inteligente	31
Agricultura de precisión	31
Base conceptual	32
Global Positioning System (GPS)	32
Método de posicionamiento Estático	32
Cinemática en tiempo real (RTK).....	32
Vehículos aéreos no tripulados (UAV'S).....	32
Planificación de vuelo	33
Imágenes multiespectrales	33

	12
Sensor multiespectral	33
Corrección geométrica	34
Calibración radiométrica	34
Ortofotografía	34
Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)	35
Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI)	35
Modelo Digital de Cultivo (MDC)	35
Modelos Digital de Elevación (MDE)	36
Biomasa	36
Diseño experimental	36
Prueba de análisis de varianza (ANOVA)	36
Base legal	37
Constitución de la República del Ecuador	37
Plan de Creación de Oportunidades	37
Capitulo III	39
Metodología	39
Proceso inicial	40
Identificación de la zona de estudio	40
Delimitación del área de estudio	41
Toma de datos	43
Materialización del hito y puntos de control fotogramétrico	43

Rastreo estático y Levantamiento RTK.....	43
Plan de vuelo	46
Extracción de muestras de pasto.....	47
Fase de laboratorio	48
Fase de Procesamiento y Análisis de la Información	49
Generación del Modelo Digital de Elevación	49
Generación de Ortofotos.....	51
Procesamiento fotogramétrico	51
Cálculo de índices NDVI y SAVI	57
Cálculo de la Biomasa	57
Generación de resultados.....	58
Obtención de las parcelas óptimas.....	58
Socialización con la directiva de la comuna	60
Diseño experimental	60
Capitulo IV.....	61
Resultados.....	61
Generación de ortomosaicos	61
Ortomosaicos en RGB	61
Ortomosaicos Multiespectrales.....	62
Reporte con coordenadas georreferenciadas.....	64
Biomasa.....	64

Resultados de Índices de vegetación	66
Análisis de correlación	70
Modelos digitales de cultivo (MDC)	71
Parcelas Óptimas.....	72
Prueba ANOVA.....	74
Discusión	77
Biomasa	77
NDVI	79
SAVI.....	81
Producción de leche	83
Análisis de correlación	84
Capítulo V	86
Conclusiones	86
Recomendaciones.....	87
Bibliografía	89

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Coordenadas de las estaciones utilizadas</i>	44
Tabla 2 <i>Coordenadas de cuadrícula ajustadas</i>	44
Tabla 3 <i>Parámetros del vuelo</i>	46
Tabla 4 <i>Valores para la calibración de bandas</i>	55
Tabla 5 <i>Coordenadas georreferenciadas de los límites en la zona de estudio</i>	64
Tabla 6 <i>Valores del análisis de correlación</i>	71
Tabla 7 <i>Valores de producción de leche por quincenas</i>	75
Tabla 8 <i>Valores máximos y mínimos del índice de la biomasa</i>	77
Tabla 9 <i>Valores de Biomasa por hectárea</i>	78
Tabla 10 <i>Valores máximos y mínimos del índice NDVI</i>	81
Tabla 11 <i>Valores máximos y mínimos del índice SAVI</i>	82
Tabla 12 <i>Registro de las parcelas consumidas por el ganado por mes.</i>	83
Tabla 13 <i>Producción de leche</i>	84

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Delimitación del área de intervención</i>	25
Figura 2 <i>Esquema gráfico de la metodología del proyecto de investigación</i>	39
Figura 3 <i>Identificación de la zona de estudio</i>	41
Figura 4 <i>Parcelación preliminar de la zona de estudio</i>	41
Figura 5 <i>Parcelación final de la zona de estudio</i>	42
Figura 6 <i>Materialización de los puntos de control fotogramétrico</i>	43
Figura 7 <i>Rastreo estático y Levantamiento RTK</i>	44
Figura 8 <i>Toma de puntos para el levantamiento RTK</i>	45
Figura 9 <i>Coordenadas del punto base y los puntos de control</i>	45
Figura 10 <i>Colocación de paneles en los puntos de control fotogramétrico</i>	46
Figura 11 <i>Vuelo realizado con el UAV Phantom 4 y la cámara Parrot Sequoia</i>	47
Figura 12 <i>Extracción de las muestras de pasto</i>	47
Figura 13 <i>Peso en húmedo y seco de las muestras</i>	48
Figura 14 <i>Secado de las muestras</i>	48
Figura 15 <i>Puntos obtenidos en el levantamiento RTK</i>	49
Figura 16 <i>Tabla de atributos con los puntos del levantamiento RTK</i>	50
Figura 17 <i>Curvas de nivel</i>	50
Figura 18 <i>Modelo digital de elevación</i>	51
Figura 19 <i>Plantilla de opción de procesamiento mapas en 3D</i>	52
Figura 20 <i>Opciones de procesamiento en el programa Pix4D</i>	52
Figura 21 <i>Ajuste fotogramétrico con los GCPs</i>	53

Figura 22 <i>Ortomosaico y MDS antes de la densificación</i>	53
Figura 23 <i>Número de imágenes superpuestas para cada pixel del ortomosaico</i>	54
Figura 24 <i>Nube de puntos y malla de triángulos</i>	55
Figura 25 <i>Diana de calibración</i>	56
Figura 26 <i>Calibración radiométrica</i>	56
Figura 27 <i>Ortomosaicos en RGB</i>	61
Figura 28 <i>Ortomosaicos multiespectrales NDVI</i>	62
Figura 29 <i>Ortomosaicos multiespectrales SAVI</i>	63
Figura 30 <i>Cantidad de biomasa producida en kilogramos</i>	65
Figura 31 <i>Cantidad de biomasa por mes</i>	66
Figura 32 <i>Planos de índices NDVI</i>	67
Figura 33 <i>Planos de índices SAVI</i>	68
Figura 34 <i>Valores de NDVI por cada potrero</i>	69
Figura 35 <i>Valores de SAVI por cada potrero</i>	70
Figura 36 <i>Prueba de normalidad a los datos de biomasa</i>	71
Figura 37 <i>Modelos digitales de cultivo</i>	72
Figura 38 <i>Zonas óptimas de NDVI</i>	73
Figura 39 <i>Zonas óptimas de SAVI</i>	74
Figura 40 <i>Resultado de la prueba de Shapiro-Wilks en el software InfoStat</i>	75
Figura 41 <i>Resultado de la prueba de Levene en el software InfoStat</i>	76
Figura 42 <i>Resultado de la prueba ANOVA en el software InfoStat</i>	76

Figura 43 *Suelo sin pasto*..... 79

Resumen

En el presente proyecto se desarrolló un sistema de pastoreo racional, en la comuna Guagrabamba - Aloag, con ayuda de técnicas de teledetección. Se analizaron imágenes multiespectrales, captadas desde el UAV Phantom 4 y la cámara Parrot Sequoia; e imágenes RGB con el dron DJI Mavic Pro y la cámara Survey3, para calcular el índice NDVI y SAVI de los pastizales y obtener 4 Modelos Digitales del Cultivo (MDC) en cada mes de análisis.

Se materializó y georreferenció un punto base mediante la técnica de rastreo estático GNSS. Posteriormente se realizó un levantamiento RTK donde se obtuvieron alrededor de 4000 puntos, se generó un Modelo Digital de Elevación (MDE) y calculó el volumen del pasto. Se tomaron muestras en campo del forraje, para obtener un factor de densidad el cual fue multiplicado por el volumen de cada potrero y de esta manera se calcularon los kilogramos de biomasa en cada parcela.

En base a los resultados de los índices de vegetación y a los kilogramos de biomasa se realizó una ponderación en donde se le dio un valor de 0.5 a la biomasa y un valor de 0.5 a los índices de vegetación, sin embargo, en los meses de diciembre y febrero se escogió una ponderación más alta para la biomasa por criterios encontrados pertinentes. Después se obtuvo un índice de zonas óptimas normalizados, con este índice se realizó una reunión mensual con la directiva de la comuna y se llegó a un acuerdo de las parcelas en donde pastaría el ganado cada mes.

Finalmente, se realizó una prueba ANOVA para comprobar si existía una diferencia, antes y después de la aplicación del sistema para analizar su rentabilidad. El valor de significancia usado fue de 0.05, y se obtuvo un p-valor de 0.2213, por lo que se pudo concluir que entre las medias de los dos grupos de producción de leche no existe diferencia significativa.

Palabras clave: pastoreo rotacional, índice de vegetación, biomasa, ortofotografía

Abstract

In the present project, a rational grazing system was developed in the Guagrabamba commune, using remote sensing techniques. Multispectral images, captured from the UAV Phantom 4 and the Parrot Sequoia camera; and RGB images with the DJI Mavic Pro drone and the Survey3 camera, were analyzed to calculate the NDVI and SAVI index of the pastures and to obtain 4 Digital Crop Models (DCM) in each month of analysis.

A base point was materialized and georeferenced using the GNSS static tracking technique. Subsequently, an RTK survey was carried out where about 4000 points were obtained to generate a Digital Elevation Model (DEM) and calculate the volume of the pasture. Forage samples were taken in the field to obtain a density factor, which was multiplied by the volume of each paddock and in this way the kilograms of biomass in each plot were calculated.

Based on the results of the vegetation indexes and the kilograms of biomass, a weighting was made in which a value of 0.5 was given to the biomass and a value of 0.5 to the vegetation indexes; however, in the months of December and February a higher weighting was chosen for the biomass due to pertinent criteria. Afterwards, a normalized index of optimal zones was obtained. With this index, a monthly meeting was held with the commune board and an agreement was reached on the plots where the cattle would graze each month.

Finally, an ANOVA test was performed to check if there was a difference before and after the application of the rational grazing system to analyze its profitability. The significance value used was 0.05, while a 0.2213 p-value was obtained, so it was possible to conclude that there was no significant difference between the means of the two milk production groups.

Keywords: rotational grazing, vegetation index, biomass, orthophotography

Capítulo I

Introducción

Antecedentes

Siendo la agricultura y ganadería temas esenciales en la seguridad alimentaria, a nivel mundial se han realizado una variedad de estudios en los cuales se busca eficiencia en el manejo de los recursos y ganancias económicas. En el estudio de Angón y otros, (2013) se realiza un análisis de la viabilidad de las granjas en la Pampa Argentina, condicionado por un sistema de producción, de esta manera encontrar factores que favorezcan la productividad, eficiencia y sostenibilidad económica. Las principales estrategias que se encontraron fueron: una mejora la alimentación, uso de concentrado, optimización de recursos y parcelación de las granjas.

La comparación entre los rendimientos de índices de vegetación generados por dos diferentes sensores en distintas condiciones de suelo y vegetación de China, permite estimar los parámetros de vegetación, evidenciando la degradación que sufre los pastizales debido al sobrepastoreo. En el estudio no se toma en cuenta variables como: la humedad, temperatura del suelo, altura de la hierba y la forma del terreno; sin embargo, se presenta una estimación de la biomasa fresca y el índice de área foliar en praderas que cuentan con diferentes intensidades de pastoreo. El efecto de pastoreo es menor de lo esperado, debido a la presencia de otros factores que no permiten una rápida recuperación en los pastizales (Qin, Xu, Hou, Shen, & Xin, 2021).

En la Isla Juan Fernández de Chile, se llevó a cabo un monitoreo de diferentes especies vegetales en parcelas con áreas pastoreadas y no pastoreadas. La comparación de la altura en función del tiempo presentó diferencias cualitativas en zonas sin pastoreo, una mayor altura, densidad y diversidad en las plantas dependiendo de la especie y la reducción en la presión forrajera, a pesar del incremento de altura forrajera en zonas sin pastoreo, el empobrecimiento del pasto, la erosión del suelo y el déficit en la calidad del ganado, no conllevan a una

reducción de la actividad ganadera, debido a factores externos al pastoreo como sus tradiciones y sobre todo las políticas que favorecen esta actividad sobre la conservación de la flora local (Cuevas & Le Quesne, 2005).

La implementación de nuevas herramientas como la teledetección ha tomado relevancia en búsqueda de mayores beneficios económicos. El estudio de Edirisinghe, Clark, & Waugh, (2012) en las regiones lecheras de Nueva Zelanda desarrolló un modelo de biomasa de pasturas, altamente eficiente, se analizó el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) para predecir la biomasa de pastos lecheros. Los resultados demostraron la capacidad del modelo para predecir la biomasa media de los pastos en los potreros a lo largo de una temporada, utilizando imágenes satelitales con un nivel de precisión comparable a las técnicas basadas en campo empleadas por otras industrias.

Ecuador presenta condiciones medioambientales favorables para una alta producción de pasturas todo el año (León, Bonifaz, & Gutiérrez, 2018). Según Zambrano , Pamela, & Paulina (2018) el uso de tecnologías como las cámaras montadas en los Unmanned Aerial Vehicle (UAV) permiten analizar temporalmente la vegetación, identificar cambios en las zonas de estudio, determinar causas y efectos que pueden ser naturales o antrópicas. Las tecnologías aplicadas al sector pecuario, han sido factibles para la predicción de biomasa que se encuentra en los pastos lecheros, por consiguiente, es viable aplicar estas técnicas en la comuna Guagrabamba, para buscar tener una mejor rentabilidad y tener un equilibrio con el medio ambiente.

Planteamiento del Problema

A pesar de la importancia que tiene la vegetación en los procesos naturales, en la actualidad se han presentado cambios abruptos en las coberturas vegetales, la degradación y el avance incontrolado de las fronteras agrícolas, es un problema mundial para mantener y conservar los ecosistemas (León, Bonifaz, & Gutiérrez, 2018). El pastoreo libre ha sido empleado desde la antigüedad, los animales recorren toda la extensión de la pradera, su forma

de alimentación provoca la mitad de pasto desperdiciado, generando una necesidad de mayores extensiones para la alimentación del ganado (Castillo, 2015).

En el Ecuador la producción de leche tiene una relación directa con los recursos forrajeros empleados en el pastoreo (León, Bonifaz, & Gutiérrez, 2018). Las pasturas son un recurso económico y abundante que se encuentra al alcance de los ganaderos (Castro M. , 2013); sin embargo, el pastoreo intensivo afecta directamente la alimentación del ganado y su productividad, altera la nutrición y la composición botánica del forraje (Borrelli & Oliva, 2004). La falta de atención en los periodos de descanso, su frecuencia e intensidad en el pastoreo, provoca una distribución irregular en el consumo de pastizales (Caviedes & Albán, 2020) y un empleo inadecuado en los sistemas de pastoreo.

En la comuna de Guagrabamba del cantón Alóag, en la provincia de Pichincha la actividad pecuaria es una de las principales fuentes de ingresos económicos para sus pobladores; sin embargo, existe un escaso financiamiento para el manejo de pastos y para la innovación en tecnologías aplicadas a la de producción de leche (Espinosa & Machay, 2016). Por lo que es importante diseñar un sistema de pastoreo rotacional empleando tecnologías geoespaciales, a fin de procurar un óptimo aprovechamiento forrajero que beneficie y mejore la producción de leche, reduciendo afectaciones producidas por el pastoreo intensivo.

Justificación e importancia

Al ser el Ecuador un país agrícola y ganadero, sus prácticas deben estar orientadas a superar los desafíos ecológicos y alimentarios, minimizando los impactos al medio ambiente y mejorado la productividad. Continuamente a nivel mundial surgen tecnologías que permiten desarrollar nuevas técnicas, como la teledetección (Pérez & Steven, 2018) que es una herramienta utilizada para lograr optimizar los recursos, con información precisa y oportuna, para así tomar las decisiones más adecuadas (Andrade & Moncayo, 2017). Estas técnicas aplicadas a un mejor aprovechamiento del uso del suelo mejoran la producción de pasto,

mostrando que es posible tener una mayor rentabilidad y lograr un desarrollo sostenible (Grefa & Yáñez, 2018).

La implementación de la teledetección en zonas agrícolas y ganaderas en el Ecuador ha tenido un aporte positivo en varios aspectos; en este caso se busca implementar un sistema de pastoreo racional en la comunidad Guagrabamba, obteniendo información del crecimiento del forraje y eligiendo la mejor área para el consumo del ganado, mejorando la producción de leche que se puede obtener en un mes, y así aumentar su rentabilidad. Se procura que esta práctica presente beneficios en esta localidad, visualizando una integración a cualquier zona pecuaria del territorio ecuatoriano.

Es de gran importancia motivar y apoyar este tipo de estudios, especialmente considerando que la principal fuente de alimentación y la más económica para la ganadería en el Ecuador es el pasto. Rehusarse a utilizar nuevas tecnologías es dar un paso atrás en el desarrollo social y económico (León, Bonifaz, & Gutiérrez, 2018), no resguardando la seguridad alimentaria con productos tan esenciales como leche, carne, sus derivados, así como la generación de empleo y la contribución al producto interno bruto del sector pecuario, por lo que es primordial crear proyectos que nos acercan a un futuro más rentable y sostenible, específicamente con el segundo Objetivo de Desarrollo Sostenible que propone fomentar la seguridad alimentaria mediante agricultura y de acuerdo a los lineamientos del Plan de Creación de Oportunidades, en concordancia al objetivo 3 del eje económico: “Fomentar la productividad y competitividad en el sector agrícola” (Secretaría Técnica Planifica Ecuador, 2021).

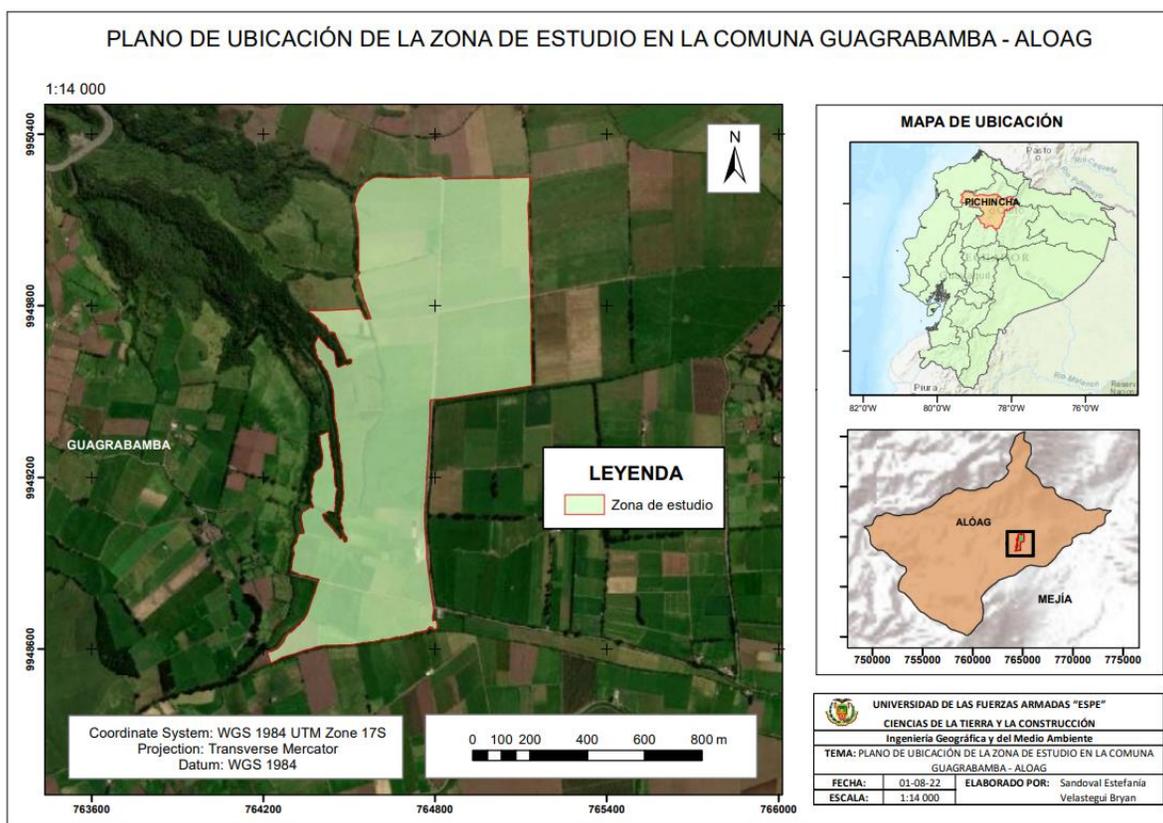
Descripción del área de estudio

La comuna Guagrabamba, se encuentra ubicada en la parroquia Alóag, cantón Mejía, provincia de Pichincha, Ecuador, cuenta con un área aproximada de 400 hectáreas de las cuales se trabajará con 89 hectáreas. Está ubicada en el Cantón Mejía en las faldas del volcán El Corazón, a una altitud de 3040 msnm. Tiene un clima ecuatorial meso térmico semihúmedo,

con una temperatura anual promedio de 12.4°C. En su mayoría son suelos de origen volcánico fértiles y productivos. La comuna presenta un relieve heterogéneo con pendientes planas, se caracteriza por ser una zona rural agrícola y ganadera, en la que se realizan trabajos de tierra y cultivos (SNI, 2015).

Figura 1

Delimitación del área de intervención



Nota. El plano representa el área de intervención en la comuna Guagrabamba – Alóag.

Objetivos generales y específicos

Objetivo general

Desarrollar un sistema de pastoreo racional mediante el monitoreo multiespectral del índice NDVI y SAVI y la estimación de biomasa, empleando imágenes obtenidas por una cámara montada sobre un UAV, para mejorar la producción de leche en la comuna de Guagrabamba, con la finalidad de incrementar la agroindustria del país.

Objetivos específicos

- Delimitar los linderos del área de estudio, mediante técnicas topográficas con el fin de establecer la superficie a manejar en el pastoreo.
- Realizar un levantamiento RTK, planialtimétrico de los potreros, mediante técnicas topográficas, para obtener el modelo digital de elevaciones (MDE).
- Calcular el valor de los índices NDVI y SAVI, mediante imágenes multiespectrales captadas desde el UAV Phantom 4 y la cámara Parrot Sequoia, para obtener la variabilidad de la vigorosidad del pasto, entre potreros a lo largo de 4 muestreos.
- Realizar vuelos con el UAV Phantom 4 y la cámara Parrot Sequoia, para la obtención de modelos digitales del cultivo (MDC) en 4 épocas de estudio.
- Estimar la biomasa seca en kg de cada uno de los potreros, mediante el cálculo de volúmenes entre MDC y MDE y la recopilación de muestras de pasto, con la finalidad de tomar decisiones sobre el pastoreo.
- Realizar un análisis estadístico de la producción de leche en la comuna, anterior y posterior a la implementación del sistema de pastoreo propuesto.

Metas

- Un reporte con coordenadas georreferenciadas de los linderos de la zona de estudio.
- Un plano topográfico 1:15 000 con curvas de nivel de la zona de potreros.
- Un MDE de los potreros.
- Cuatro ortomosaicos RGB y cuatro multiespectrales, de acuerdo a las especificaciones IGM para Ortofotos escala 1:1000 obtenidos mediante UAV, de las parcelas de estudio.
- Cuatro planos 1:15 000 de índice NDVI y cuatro planos 1:15 000 de índice SAVI, de las parcelas de estudio.
- Cuatro MDC de los potreros.

- Cuatro planos 1:15 000 de las zonas con mayor concentración de biomasa, en la zona de estudio.
- Cuatro reportes con la cantidad de biomasa producida y el valor de NDVI por potrero en cada muestreo.
- Un reporte estadístico de la producción de leche, cuatro meses antes y cuatro después de la aplicación del sistema de pastoreo.

Pregunta de Investigación

¿Es posible mejorar la producción de leche, a través de la elección de zonas óptimas para el consumo de ganado obtenidas mediante el análisis multiespectral de la vigorosidad del pasto, empleando técnicas geoespaciales?

Capítulo II

Marco teórico

Base teórica

Tecnologías geoespaciales

Actualmente las tecnologías geoespaciales son herramientas conocidas por ser el principal factor impulsador del pensamiento espacial, la gran proliferación y disponibilidad de datos a nivel mundial ha llevado a un gran desarrollo especialmente en la web. A través de la observación, medición, localización y principalmente el análisis de los objetos de la superficie terrestre (Cruz, Gonzáles, & Quiroz, 2017). Según Jiménez, Pérez, & Carrillo (2014), las tecnologías geoespaciales se caracterizan por ser tecnologías de la información que permiten mantener actualizada la comunicación, manejan datos espaciales y georreferenciados; para posibilitar la visión, medición y análisis de las diferentes características presentes en la Tierra.

Teledetección

Gracias al desarrollo tecnológico de los últimos años se ha incrementado la disponibilidad de imágenes, por el lanzamiento de nuevos satélites, incorporando a la teledetección en diferentes proyectos por su amplio campo de aplicaciones (IGN, 2020) de esta manera volviéndose imprescindible en varios ámbitos de la sociedad como: agricultura, manejo de recursos y ordenamiento territorial (Labrador , Évora , & Arbelo , 2012). Es considerada una técnica, ciencia o arte que permite obtener información, mediante imágenes de la superficie terrestre sin tener contacto directo con ella; sin embargo. Existe una interacción electromagnética entre el terreno y el sensor que se encuentra ubicado en una plataforma, para producir una serie de datos que serán procesados y analizados, llegando a adquirir información entendible de la Tierra.

Sistemas de información geográfica (SIG)

Actualmente los SIG son tecnologías aplicadas a estudios de procesos, problemáticas territoriales, ambientales y socioeconómicas; donde se necesita de organización por parte del

personal y un alto grado de responsabilidad en su equipamiento proyectando una correcta implementación. Este sistema está conformado de hardware, software, datos, personas, organizaciones y convenios institucionales, diseñado para capturar, almacenar, analizar, gestionar y presentar información geográfica de diferentes territorios del planeta. Beneficia a cualquier actividad relacionada con el espacio, contribuye en la toma de mejores decisiones y permite solucionar problemas de gestión y planificación (Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, 2006).

Pastoreo

Es el sistema más simple destinado al consumo directo del forraje por parte del ganado para su alimentación y el más común en la actualidad. Existe una demanda de productos derivados de origen animal, por lo que su implementación es considerada una forma de explotación ganadera; ya que gran parte de la superficie terrestre es destinada al pastoreo del ganado y a la producción forrajera. Para acceder a una producción rentable sin afectar las praderas, los agricultores que crían a sus animales, necesitan realizar un ordenamiento en el uso de los potreros conocido como sistema de pastoreo (Triminio, 2020). Sin embargo, existen propuestas y trabajos como en el estudio de Angón y otros, (2013) donde se realiza un análisis de la viabilidad de las granjas en la Pampa Argentina, condicionado por un sistema de pastoreo, para encontrar factores que favorezcan la productividad, eficiencia y sostenibilidad.

Oferta forrajera

El forraje es todo producto de origen vegetal destinado a la alimentación del ganado, su producción depende de las características del clima y suelo presentes en la zona de estudio (Pérez & Seguí, 2021). Según Mendoza, Pabón & Carulla (2011) la oferta forrajera es direccionada al consumo de los animales y asociada con el volumen de leche que puede ser producido. La producción de pastizales se presenta en todos los continentes que no se encuentran cubiertos por hielo; a nivel mundial existe una presión sobre ellos causada por la sobrepoblación y el cambio climático (León, Bonifaz, & Gutiérrez, 2018).

Sistemas de producción ganaderos

La globalización conlleva una apertura de cambios en los sistemas de producción ganaderos, varios países están en busca de nueva tecnología que permita el aumento de la productividad, protegiendo y conservando los recursos naturales (Morón, 2009). En Colombia existen comparaciones entre los efectos de los sistemas de producción ganadero ambientalmente sostenibles (SPGAS) con los sistemas de producción ganadera tradicional (SPGT). Los SPGAS dan solución a problemas ambientales, económicos y sociales generados por la ganadería extensiva, proveen un equilibrio entre la productividad y la calidad con la conservación de los recursos naturales. El estudio evidencia que los SPGAS respetan la naturaleza y son capaces de generar mayores beneficios por el incremento en el peso de los animales, la tasa de preñez y el número de animales por hectárea (Ruiz & Janica, 2012).

Sistema de pastoreo

Los sistemas de pastoreo son las opciones que tienen los animales en pastoreo para utilizar los pastizales. Conservan, producen y extienden la calidad de los forrajes, mediante el equilibrio de las especies forrajeras que se encuentran en el terreno, visualizando una ganadería rentable (Terán, 2015). En Ecuador los sistemas de producción en épocas de lluvia no dependen al 100% del pasto, se complementan con balanceado y en época de sequía con forraje conservado (León, Bonifaz, & Gutiérrez, 2018).

Pastoreo racional Voisin (PRV)

El PRV es una herramienta que ha presentado varios casos exitosos a nivel mundial, donde existe un uso racional de los recursos, incrementa la biodiversidad, la productividad, en base al bienestar animal y ambiental (Castro, Rúa, & Cristiano, 2020). Se presenta una relación entre los animales, la vegetación, el clima y sus factores de afectación, con un cuidado persistente de las pasturas. Potencializa la productividad y calidad de las pasturas gracias al respeto de periodos de ocupación y descanso que se le da al momento de realizar la actividad ganadera (Triminio, 2020).

Pastoreo inteligente

En este tipo de sistema se reduce significativamente la pérdida de pasto, incrementa la capacidad de carga, la producción uniforme del forraje y los días de duración del potrero (León, Bonifaz, & Gutiérrez, 2018). Según Li y otros (2022) hace referencia al pastoreo inteligente como el conjunto de soluciones prácticas, apoyadas en el desarrollo de ciencia y tecnología moderna para promover industrias locales basadas en condiciones específicas. En Argentina se desarrolló un método en línea que permite reconocer el comportamiento de los episodios de pastoreo y rumia empleando señales acústicas. Su algoritmo permite la identificación de los movimientos de la mandíbula, empleando mínimas operaciones para reconocer la actividad de pastoreo y rumia, determinando así el estado del animal y el consumo de forraje (Chelotti, y otros, 2020).

Agricultura de precisión

La agricultura de precisión es un conjunto de tecnologías que procura reducir los problemas económicos por la falta de heterogeneidad en suelos y vegetación, para ello se necesita adquirir la información necesaria, analizarla y aplicar los insumos adecuados para incrementar la productividad agrícola y tratar de minimizar el impacto ambiental (Moreno, Cajamarca, & Tenicota, 2020). La revolución agrícola involucra una agricultura de precisión cuyos beneficios son una óptima productividad, a través de la identificación de propiedades y características del suelo, que lleven al empleo adecuado de los recursos ambientales y tecnológicos (Ríos, 2020). En la actualidad drones son la mejor opción para trasladarse sobre las parcelas de un terreno, obtener información sobre el desgaste de suelos, y la detección de plagas, mediante sistemas de geo-posicionamiento, redes de sensores, etc. (Moreno, Cajamarca, & Tenicota, 2020).

Base conceptual

Global Positioning System (GPS)

El GPS es el sistema de navegación por satélite más conocido en el mundo, mediante este sistema se delimitará el área de estudio. El sistema tiene su origen en el antiguo sistema de posicionamiento espacial de la Marina de los Estados Unidos (Fallas, 2002), el cual se basa en el seguimiento de los satélites de la constelación NAVSAT, funcionando mediante una red de 27 satélites (24 operativos y 3 de respaldo). De esta manera con este método se garantizará que como mínimo 4 satélites estarán en cualquier lugar y momento, posteriormente se realizara una trilateración y se obtendrá una posición (Andrade & Moncayo, 2017).

Método de posicionamiento Estático

Se trata de un método de rastreo GNSS, en el que dos o más receptores observan, durante un periodo de tiempo no menor a 30 minutos para obtener las coordenadas del punto (González, 2015). Este método es óptimo para la obtención del punto hito ya que se pueden alcanzar precisiones muy altas, teóricamente hasta niveles milimétricos (Andrade & Moncayo, 2017).

Cinemática en tiempo real (RTK)

En cuanto a datos planimétricos y altimétricos de la zona de estudio la técnica RTK es la ideal para obtener dichos datos por la rapidez y precisión. El RTK es una tecnología que se basa principalmente en frecuencias duales y actualmente se utiliza para controlar la medición, mapeo topográfico, planificación urbana, monitoreo de deformación y otros estudios que necesiten de una alta precisión (Tu, y otros, 2019). Esta metodología permite una distancia máxima operativa entre la estación base y el usuario, entre 40 a 50 kilómetros, sobrepasar este rango alterará la correlación de datos GNSS diferenciales (López, 2021)

Vehículos aéreos no tripulados (UAV'S)

En este estudio es esencial emplear los UAV's para la toma de imágenes multispectrales y RGB como el UAV Phantom 4. Los UAV's, son naves aéreas sin tripulación

operados remotamente (Ochoa, 2015), ofrecen beneficios especialmente en el momento de la recopilación de datos, los cuales contarán con las resoluciones temporales y espaciales deseadas (Manosalvas, 2019). Estos vehículos actualmente son usados para aplicaciones en seguridad, agricultura, ganadería o medioambiente (Mora & Cañarte, 2017).

Planificación de vuelo

La planificación de un vuelo con dron influye directamente en los resultados y la calidad de los mismos, la ejecución del vuelo puede ejecutarse para varias misiones realizando un cambio en los parámetros. Los planes de vuelo dependen de la topografía del terreno, ubicación y condiciones meteorológicas especialmente la velocidad del viento (Pino, 2019). Se debe realizar una identificación del terreno para definir la altura mínima de vuelo, un recorrido óptimo para abarcar la totalidad de la zona de estudio, de esa forma se puede establecer los parámetros adecuados para realizar el vuelo. (González , y otros, 2019)

Imágenes multiespectrales

Para el análisis de vigorosidad se utilizarán las imágenes multiespectrales, que son un modelo de realidad construido en base a la respuesta espectral, captada por un sensor digital sensible al espectro electromagnético, midiendo la reflectancia de varias bandas y estos distintos valores de reflectancia son combinados para poder crear imágenes (Ochoa, 2015). La importancia de las imágenes multiespectrales radica en las propiedades espectrales con las que cuentan, como: reflectancia, transmitancia, absorbancia, etc. Estas propiedades del suelo y de la vegetación, presentan una relación con diversos factores como la actividad fotosintética, vigorosidad en la vegetación, cantidad de agua, clorofila, biomasa, entre otros (Gómez, Velásquez, & Jimenez, 2016).

Sensor multiespectral

Uno de los principales instrumentos que se usan en el ámbito de tecnologías geoespaciales son los sensores multiespectrales, en este estudio se empleará el sensor montando en el UAV que captura datos de las regiones de longitud de onda, para generar

información resuelta espectralmente en píxeles de una imagen (Manosalvas, 2019). La aplicación de sensores en proyectos de teledetección puede dar un abanico de posibilidades, con las bandas multispectrales es posible determinar diferentes índices, un ejemplo de ello es el NDVI (Mesas, 2012).

De la misma forma los sensores multispectrales se han integrado para tareas como clasificación y mapeo de cultivos, rendimientos, enfermedades etc. Todo esto apoyado en software especializado permite obtener beneficios tanto a los agricultores, aumentando la eficiencia de los procesos, como al medio ambiente, minimizando el uso de fertilizantes y aerosoles (Paredes, González, Saito, & Flores, 2017).

Corrección geométrica

En esta investigación se aplicará la corrección geométrica en las imágenes multispectrales y RGB, la corrección consiste en la modificación geométrica de los píxeles. Son técnicas de corrección de las distorsiones que llegan a producir errores en la adquisición de las imágenes como: la posición inclinada del sensor, cabeceo, alabeo, trayectoria, altura, velocidad, influencia del relieve y esfericidad terrestre (Medina, 2017).

Calibración radiométrica

Las imágenes multispectrales captadas necesitan de la corrección geométrica y la calibración radiométrica, ya que los problemas que afectan los valores radiométricos en la imagen se encuentran relacionados a los errores presentes en los sensores, el ruido en el sistema, la iluminación del sol y los cambios de estaciones (Lora, 2016). Esta calibración es un factor importante en la interoperabilidad de los datos y garantiza su calidad científica (Herreo, 2020).

Ortofotografía

Se obtendrán ortofotografías que son fotografías aéreas corregidas geoméricamente u “ortorrectificadas” (Booyesen, Gloaguen, Lorenz, Zimmermann, & Nex, 2021), que muestran a los objetos en su verdadera posición planimétrica (Mora & Cañarte, 2017). El objetivo de la

ortofotografía es obtener una imagen con las propiedades geométricas del mapa convencional con el contenido de información de la fotografía aérea (Collier, 2009).

Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)

Actualmente el NDVI permite monitorear el estado en el que se encuentra la vegetación al representar el vigor de la vegetación por pixel (Manosalvas, 2019), de modo que al emplear el NDVI permitirá el adecuado monitoreo del forraje, cuyo principio se basa en que la vegetación en tonalidad verde tiende a ser más sana y va a absorber la mayor parte de las longitudes de onda rojas, es así que reflejara gran cantidad de las longitudes de onda del infrarrojo cercano, dando como resultado valores de NDVI entre 0 y 1 (Martínez & Yanchatipán, 2020). El Índice NDVI se calculará a partir de las bandas roja e infrarrojo cercano, según la siguiente ecuación:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI)

La vegetación tiene la capacidad de dispersar y transmitir cierta cantidad de energía al fondo del suelo, energía que puede ser transmitida al sensor (Beltrán, 2017). Es por ello que se llega a introducir el factor $L=0.5$ en la ecuación del NDVI, que depende de la densidad de la vegetación y es conocido como índice SAVI. Se empleará este índice de vegetación ya que permite corregir y minimizar el efecto del suelo, considerando las propiedades ópticas del fondo del suelo (Rodríguez, 2017).

Este índice se calculará empleando el factor L y la reflectancia de las bandas roja e infrarroja cercana, a través de la siguiente ecuación:

$$SAVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED + L} (1 + L) \quad (2)$$

Modelo Digital de Cultivo (MDC)

Los Modelos Digitales del Cultivo (MDC) son modelos que permiten determinar la altura de las plantas y el volumen de los cultivos (Sinde, y otros, 2021). Se trabajará con el MDC,

puesto que se caracteriza por su gran resolución, cubriendo gran detalle sobre el terreno. Su comparación permite identificar la variación del crecimiento de los cultivos y la altura absoluta de las plantas (Bendig, Bolten, & Bareth, 2013).

Modelos Digital de Elevación (MDE)

La obtención del MDE es necesaria en esta investigación, ya que es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de la elevación del terreno, considerando la altura como una variable a ser representada (Felicísimo, 1994), sin tomar en cuenta a los objetos sobre la superficie (Guamán, 2020).

Biomasa

Se emplea la biomasa para determinar la cantidad de materia acumulada (Grefa & Yáñez, 2018), de la masa viva por encima del suelo o subterránea como ramas, semillas, hojas, pasto. entre otros (Jácome, 2020), que son expresados en biomasa por un área o volumen. Se puede estimar la biomasa utilizando métodos físicos, directos e indirectos y también por medio de sensores remotos basados en la utilización de SIG, mostrando grandes ventajas al permitir un procesamiento más rápido de grandes cantidades de datos, y altas correlaciones entre las bandas espectrales y los parámetros de la vegetación (Lu, 2006).

Diseño experimental

Para entender mejor este concepto hay que tener en cuenta que el diseño experimental está dentro del método científico, se recolectan un conjunto de datos para su análisis y se busca la relación entre distintos valores mediante métodos estadísticos (Rojas Cárdenas & Rojas Cortés, 2000). Un diseño experimental tiene el objetivo principal de determinar si existe una diferencia estadística significativa, por lo que si la respuesta es positiva verificar cual es el grado de la diferencia (Badii, Castillo Rodríguez, Wong, & Villalpando, 2017).

Prueba de análisis de varianza (ANOVA)

El análisis de varianza es un conjunto de técnicas que sirven para determinar si existe una varianza significativa. La prueba ANOVA utiliza la media de dos o más grupos de datos.

Este análisis se basa en la comparación de la varianza de los grupos, si existe una variación significativa quiere decir que hay diferencias significativas entre las medias de dichos grupos (Dagnino, 2014). Por el contrario, si no existen diferencias reales se puede concluir que las medias solo de forma casual se desviarán o serán distintas (Badii, Castillo Rodríguez, Wong, & Villalpando, 2017). El análisis más sencillo es el de un solo factor, pero también pueden existir casos con dos o más factores.

Base legal

Constitución de la República del Ecuador

En la sección de ciencia, tecnología, innovación y saberes ancestrales, de acuerdo al artículo 388 de la Constitución de la República del Ecuador, el Estado debe designar recursos que sean necesarios en beneficio del desarrollo tecnológico, dicho artículo se basa en la innovación a través de la investigación científica. De forma complementaria en el artículo 281, la soberanía alimentaria es una obligación y responsabilidad del Estado, cuyas políticas deben ser orientadas hacia una protección del sector agroalimentario, con la introducción de nuevas tecnologías ecológicas, que aseguren la investigación científica, brindando accesibilidad al campesino hacia los recursos productivos, procurando una buena salud con entornos saludables en la crianza de los animales (Constitución de la República del Ecuador, 2021).

Plan de Creación de Oportunidades

De acuerdo a los lineamientos del Plan de Creación de Oportunidades, se plantearon las actuales prioridades del país para el período 2021-2025, en concordancia al objetivo 3 del eje económico: “Fomentar la productividad y competitividad en los sectores agrícola, industrial, acuícola y pesquero, bajo el enfoque de la economía circular” (Secretaría Técnica Planifica Ecuador, 2021), presentan algunas políticas relacionadas con la investigación como:

- Mejorar la competitividad y productividad agrícola.
- Impulsar la soberanía y seguridad alimentaria de esta manera cubrir la demanda en todo el territorio.

- Fomentar la asociatividad productiva para aumentar la participación ciudadana.

De la misma manera de acuerdo a la constitución nacional, y en relación a la Organización de Naciones Unidas, los Objetivos de Desarrollo Sostenible, específicamente el segundo objetivo: “Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible” (Naciones Unidas, 2015), en este objetivo se plantea incrementar la actividad y productividad agrícola, de la misma manera mejorar la producción sostenible para ayudar a aliviar el hambre.

Así también en el Plan de Creación de Oportunidades, en concordancia con los Objetivos del Eje Transición Ecológica, el Objetivo 11: “Conservar, restaurar, proteger y hacer un uso sostenible de los recursos naturales” (Secretaría Técnica Planifica Ecuador, 2021), presentan algunas políticas relacionadas con la investigación como:

- Promover la protección y conservación de los ecosistemas y su biodiversidad.
- Implementar mejores prácticas ambientales y que estas se ejerzan con compromiso social y económico.
- Promover proyectos para crear conciencia acerca de la deforestación y degradación de los ecosistemas a partir del uso sostenible del patrimonio natural ecuatoriano.

También en el Plan de Creación de Oportunidades, en los Objetivos del Eje Transición Ecológica, el Objetivo 12.” Fomentar modelos de desarrollo sostenibles aplicando medidas de adaptación y mitigación al Cambio Climático” (Secretaría Técnica Planifica Ecuador, 2021), presenta algunas políticas relacionadas con la investigación como:

- Consolidar mejores acciones en contra el cambio climático.
- Crear modelos circulares en los cuales la capacidad de carga de los ecosistemas sea respetada.
- Promover prácticas ambientales las cuales cuenten con compromiso social y económica.

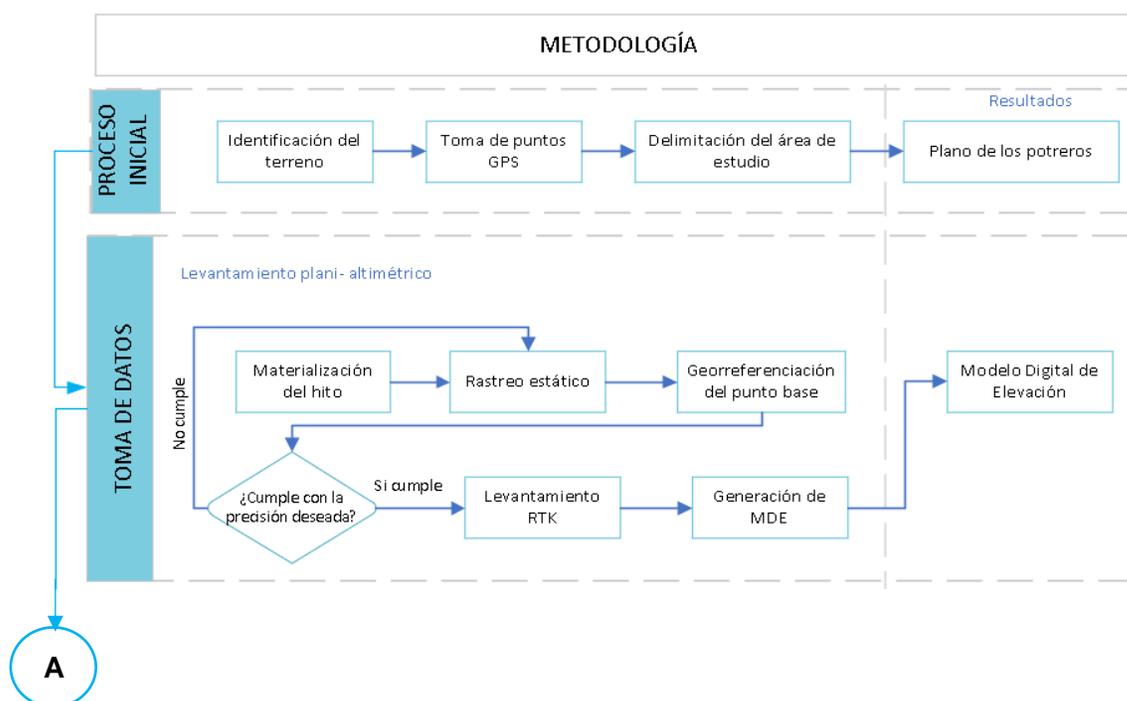
Capítulo III

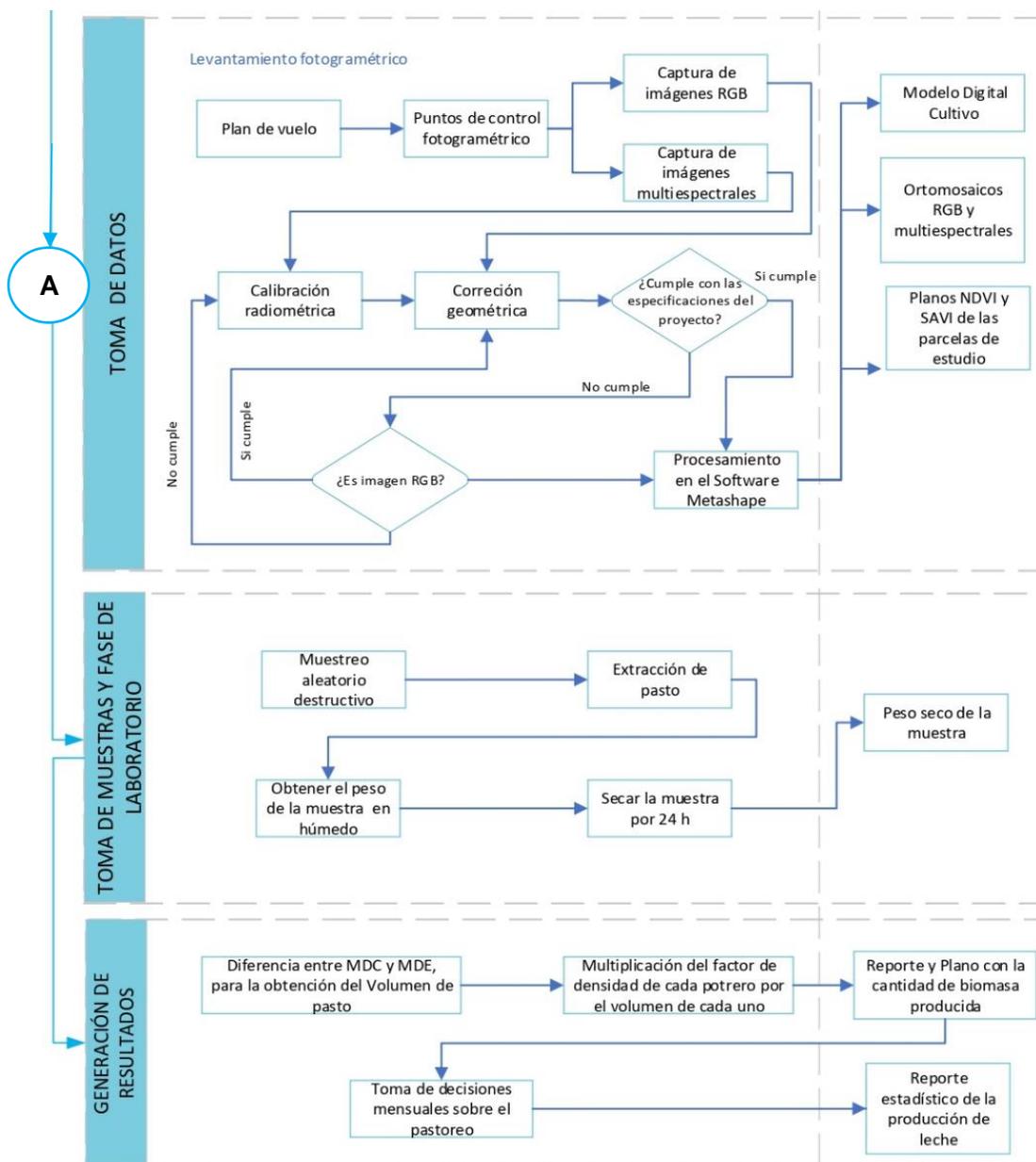
Metodología

El presente proyecto es una investigación técnica experimental, que se basa en un proceso sistemático y secuencial. Para ello, se presenta en la Figura 2, el esquema gráfico de la metodología a emplear y su descripción. Durante la investigación se realizaron cuatro vuelos mensuales con el UAV Phantom 4 y la cámara Parrot Sequoia y con el dron DJI Mavic pro y la cámara Mapir Survey 3W RGNIR, los vuelos corresponden a las fechas de 5 noviembre del 2022, 15 diciembre del 2022, 14 enero del 2023 y 17 del febrero 2023.

Figura 2

Esquema gráfico de la metodología del proyecto de investigación





Proceso inicial

Identificación de la zona de estudio

Se realizó una visita de campo al área de estudio localizada en la comuna Guagrabamba previo al inicio del proyecto, para poder conocer e identificar sus características meteorológicas y físicas como el relieve, clima, pendientes y la delimitación de linderos existentes. Conjuntamente se efectuó un vuelo de identificación del terreno con el UAV

Phantom 4, para planificar y anticipar inconvenientes, llegando a establecer un plan de vuelo adecuado para los siguientes monitoreos mensuales.

Figura 3

Identificación de la zona de estudio



Delimitación del área de estudio

Para la delimitación preliminar del área de estudio, se utilizó la herramienta Google Earth Pro, donde se realizó la delimitación de cada potrero, encontrando inicialmente 48 parcelas. Esta delimitación previa tuvo como objetivo el poder planificar el trabajo de campo necesario, así como para la recolección de muestras de pasto.

Figura 4

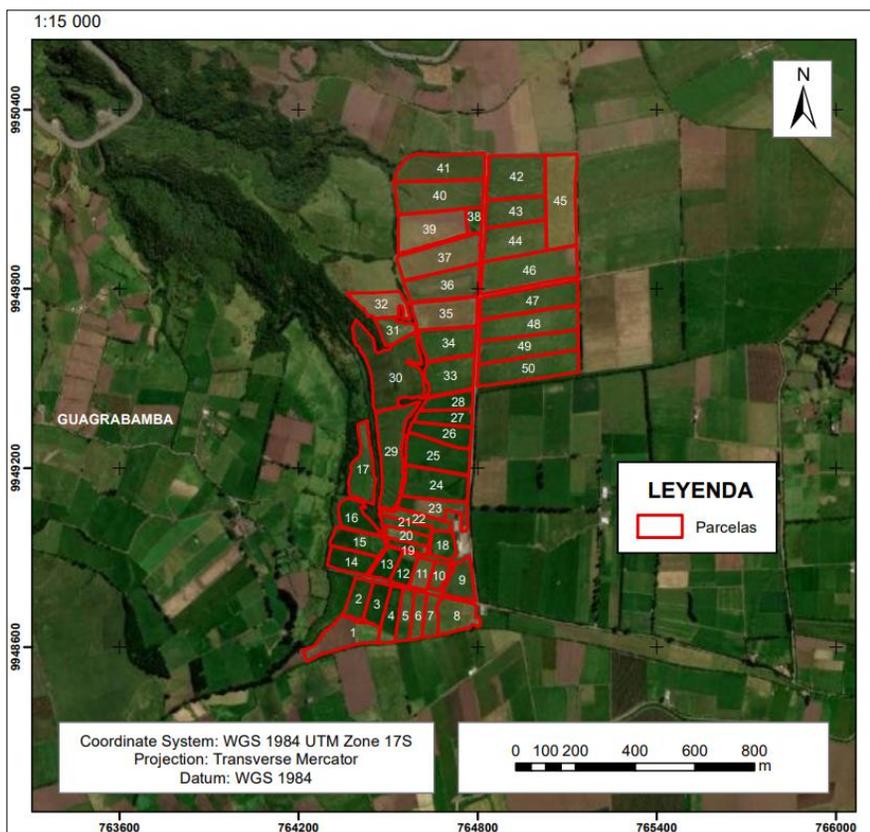
Parcelación preliminar de la zona de estudio



Al finalizar el primer vuelo se llegó a establecer un total de 50 parcelas dentro del área de estudio; sin embargo, en la comuna se presentan parcelas destinadas a la alimentación en el día y otras al descanso de las vacas en las noches. Parcelas desde la 20–37 se encuentran habilitadas para la alimentación del ganado y en el estudio son las principales parcelas consideradas para optar por la decisión de su rotación. Las parcelas de la 1-13 son destinadas al descanso del ganado por las noches; no obstante, en ciertas ocasiones la comuna designa algunas de ellas dependiendo la disponibilidad de las otras parcelas, es así que se puede optar por las decisiones finales en toda el área de estudio, pero principalmente se consideran las 36 parcelas destinadas a la alimentación del ganado en el día.

Figura 5

Parcelación final de la zona de estudio



Toma de datos

Materialización del hito y puntos de control fotogramétrico

En gabinete se planificó la distribución de los puntos de control en el área de estudio. Se materializó un hito de cemento con materiales adecuados como: cemento, arena, ripio, tablas, etc., cerca del establo denominado como punto base, de forma similar se ubicaron 9 puntos de control con mojonones cilíndricos de cemento de diámetro de 10 cm, facilitados en el laboratorio de suelos de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”.

Figura 6

Materialización de los puntos de control fotogramétrico



Para la elección de la posición del hito se tomó en cuenta un lugar cercano al establo y en un punto central, mientras que en la distribución de GPCs se trató de distribuirlos por toda la zona, en lugares visibles y de fácil acceso, por lo que cada GPC se encuentra al lado de una vía con el fin de colocar y retirar fácilmente los paineles de un camino. Posteriormente se efectuó un rastreo GNSS, por el método estático, para dar coordenadas de alta precisión al punto base.

Rastreo estático y Levantamiento RTK

Para el levantamiento RTK se utilizaron equipos Trimble R8s, una antena como base y dos antenas como móviles. Con la configuración adecuada para realizar el levantamiento estático y RTK se inició dando coordenadas arbitrarias a la base para luego ajustarlas en

gabinete. De esta forma se obtuvo una malla de puntos de toda el área y se obtuvieron las coordenadas de la base y de los GCPs en la Figura 9. Mediante los datos obtenidos del levantamiento RTK se generaron curvas de nivel y un Modelo Digital del Elevación (MDE).

En el procesamiento del punto estático se utilizó el programa Trimble Business Center, las estaciones del IGM que fueron utilizadas fueron EPEC y CXEC como se puede observar en las tablas, las precisiones obtenidas del punto fueron:

Tabla 1

Coordenadas de las estaciones utilizadas

Estación	Valor Este	Valor Norte	Elevación
CXEC	765651.1572	9896539.791	2780.7911
EPEC	784250.812	9965160.359	2496.8057

Tabla 2

Coordenadas de cuadrícula ajustadas

Coordenadas del punto Base		
	Valor (m)	Error (m)
Este	764766.3092	0.014
Norte	9948899.62	0.014
Elevación	3168.6804	0.083

Figura 7

Rastreo estático y Levantamiento RTK



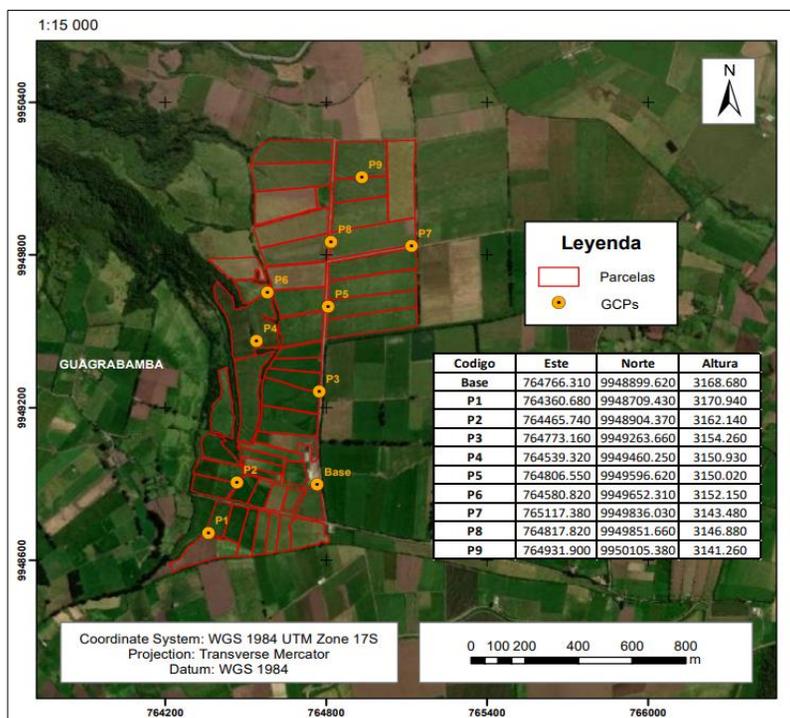
Figura 8

Toma de puntos para el levantamiento RTK



Figura 9

Coordenadas del punto base y los puntos de control



Plan de vuelo

El plan de vuelo se realizó en el programa DJI Pilot, para obtener una planificación técnica, las variables que se tomaron en cuenta fueron: altura de vuelo, traslapeo longitudinal y transversal y la velocidad. De forma automática el programa calculó el tamaño de píxel en la imagen (GSD), líneas de vuelo y el tiempo de vuelo.

Tabla 3

Parámetros del vuelo

Parámetros	RGB	Multispectral
Altura de vuelo (m)	100	100
Traslapeo longitudinal	70%	70%
Traslapeo transversal	80%	80%
Velocidad (m/s)	11	11
GSD (cm/píxel)	4.31	4.31
Superficie levantada (ha)	88	88

Figura 10

Colocación de paneles en los puntos de control fotogramétrico



Figura 11

Vuelo realizado con el UAV Phantom 4 y la cámara Parrot Sequoia

**Extracción de muestras de pasto**

Para este fin se desarrolló un muestreo aleatorio destructivo como en (Sinde I. , y otros, 2021) y (Marcos Robles, y otros, 2016) en donde se extrajo toda la vegetación que se encuentre en el interior de un aro metálico con un diámetro de 10 cm. en cada potrero. Posteriormente las muestras se recolectaron, guardaron y etiquetaron después de cada vuelo, por lo que se obtuvieron 4 muestreos con 50 muestras cada uno.

Figura 12

Extracción de las muestras de pasto



Fase de laboratorio

Las muestras extraídas fueron llevadas al laboratorio, donde se las colocaron en una base de aluminio para poder pesarlas en húmedo, fueron acomodadas en las estufas para secarlas por un periodo de 24 horas a 75 ° C. Después de que transcurrió el tiempo esperado se procedió a volver a pesar las muestras para poder obtener su peso seco. En la Figura 13 se encuentra a la izquierda el peso en húmedo y en la derecha el peso seco de una de las muestras.

Figura 13

Peso en húmedo y seco de las muestras



Figura 14

Secado de las muestras



Fase de Procesamiento y Análisis de la Información

Generación del Modelo Digital de Elevación

Para la generación del Modelo Digital de Elevación se utilizaron los 4000 puntos obtenidos por el método RTK, primero se realizó una translación de los puntos ya que inicialmente se utilizó una coordenada arbitraria en el punto base. Posteriormente se cargaron los puntos en el software ArcMap Figura 15. A partir de las coordenadas se realizó un TIN, posteriormente con el TIN se realizó el Modelo Digital de Elevación y se generaron las curvas de nivel como se puede observar en las Figura 17 y Figura 18.

Figura 15

Puntos obtenidos en el levantamiento RTK

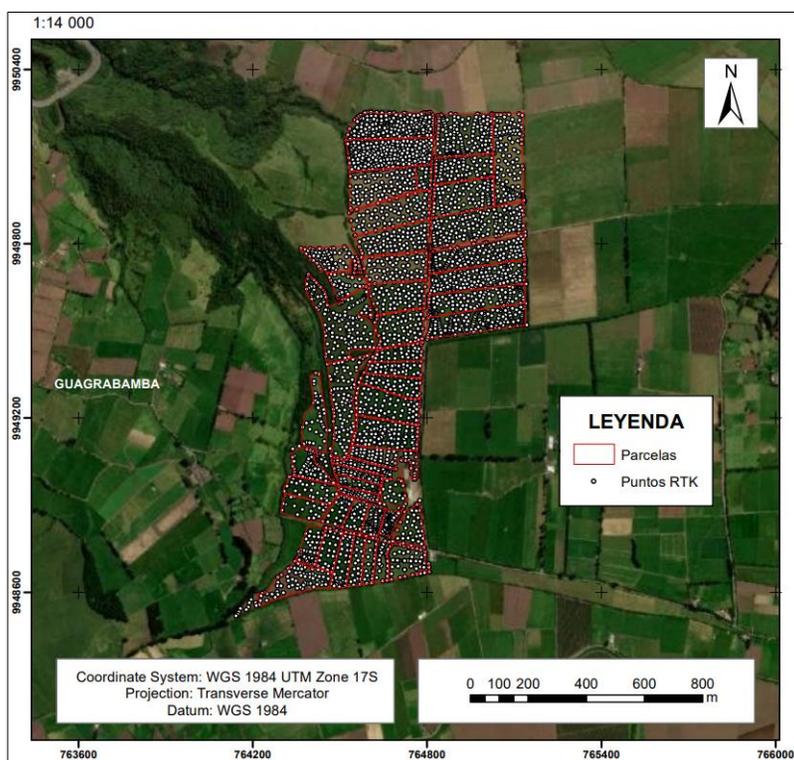


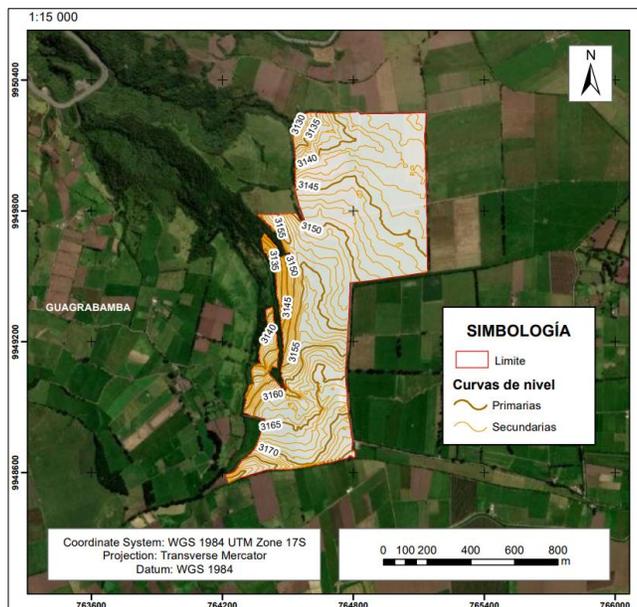
Figura 16

Tabla de atributos con los puntos del levantamiento RTK

OBJECTID	Shape	Nombre	Norte	Este	Altura	Codigo
1	Point ZM	CILINDRO8	9949851.664	764817.8172	3146.8804	1
2	Point ZM	x600	9949854.905	764629.3612	3154.0754	s33
3	Point ZM	x601	9949572.908	764627.1912	3153.2794	s33
4	Point ZM	x602	9949592.272	764618.0452	3153.1584	s33
5	Point ZM	x603	9949618.64	764608.3512	3153.1124	s33
6	Point ZM	x604	9949647.505	764602.0892	3152.2954	s33
7	Point ZM	x605	9949658.384	764600.3852	3151.6674	s33b
8	Point ZM	x606	9949661.214	764620.2592	3151.6214	s33b
9	Point ZM	x607	9949641.795	764624.1512	3151.9264	s33b
10	Point ZM	x608	9949613.79	764634.3822	3152.4634	s33b
11	Point ZM	x609	9949573.98	764650.3672	3153.0164	s33b
12	Point ZM	x610	9949588.937	764674.9522	3152.7894	s33b
13	Point ZM	x611	9949637.771	764662.3282	3151.8174	s33b
14	Point ZM	x612	9949663.546	764655.2632	3150.9804	s33b
15	Point ZM	x613	9949665.518	764687.7222	3151.3764	s33
16	Point ZM	x614	9949628.022	764692.3812	3151.8934	s33
17	Point ZM	x615	9949590.111	764698.9442	3152.7224	s33
18	Point ZM	x616	9949594.635	764725.8752	3152.4994	s33
19	Point ZM	x617	9949635.873	764720.7482	3151.6154	s33
20	Point ZM	x618	9949667.722	764719.3722	3151.4684	s33
21	Point ZM	x619	9949669.258	764746.2922	3150.8234	s33
22	Point ZM	x620	9949644.164	764748.9012	3150.7224	s33
23	Point ZM	x621	9949620.683	764750.3772	3151.2054	s33
24	Point ZM	x622	9949592.371	764753.8642	3151.4854	s33
25	Point ZM	x623	9949591.548	764776.1112	3150.3744	s33
26	Point ZM	x624	9949592.237	764791.1122	3150.0194	s33
27	Point ZM	x625	9949618.625	764791.7152	3149.8804	s33
28	Point ZM	x626	9949619.242	764773.9472	3150.1214	s33
29	Point ZM	x627	9949649.569	764773.2352	3149.8714	s33
30	Point ZM	x628	9949650.472	764795.0882	3149.2644	s33
31	Point ZM	x629	9949673.047	764796.2472	3149.3434	s33b
32	Point ZM	x630	9949671.742	764778.1992	3150.0604	s33b
33	Point ZM	x631	9949659.135	764801.0272	3151.4784	s34b
34	Point ZM	x632	9949687.485	764893.1702	3150.9254	s34
35	Point ZM	x633	9949713.925	764585.0182	3150.4494	s34
36	Point ZM	x634	9949750.771	764575.2972	3149.2594	s34b
37	Point ZM	x635	9949754.072	764612.6442	3149.3104	s34

Figura 17

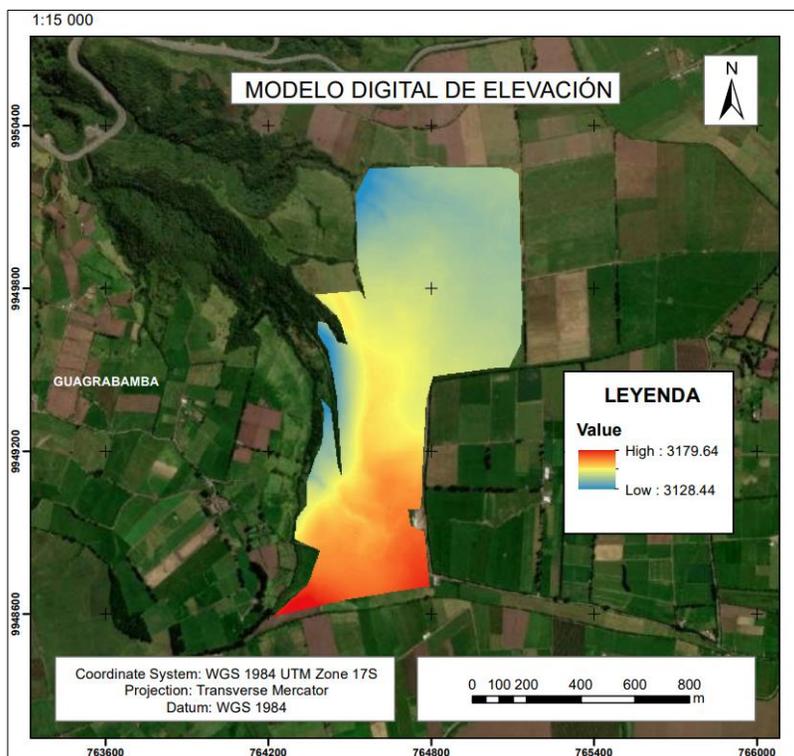
Curvas de nivel



Nota. Las curvas de nivel fueron generadas cada metro, mientras que las curvas principales están cada cinco metros.

Figura 18

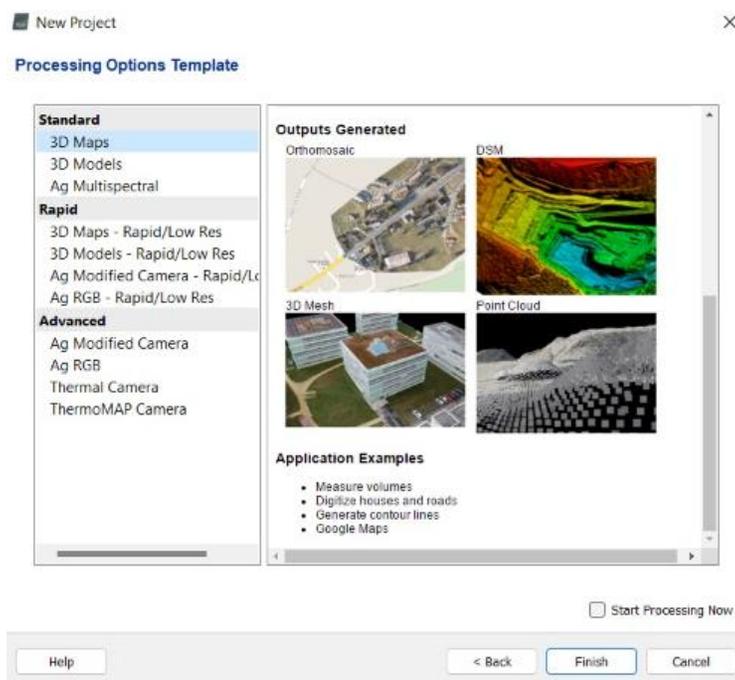
Modelo digital de elevación

**Generación de Ortofotos****Procesamiento fotogramétrico**

El procesamiento de las imágenes se llevó a cabo en el software fotogramétrico Pix4D, donde se cargaron las imágenes, se seleccionó el sistema de coordenadas de salida (WGS-84 UTM 17-S) y se eligió la plantilla de opciones de proceso mapas 3D como opción de procesamiento que permite obtener una nube de puntos, malla con textura 3D, DMS y un ortomosaico con calidad alta.

Figura 19

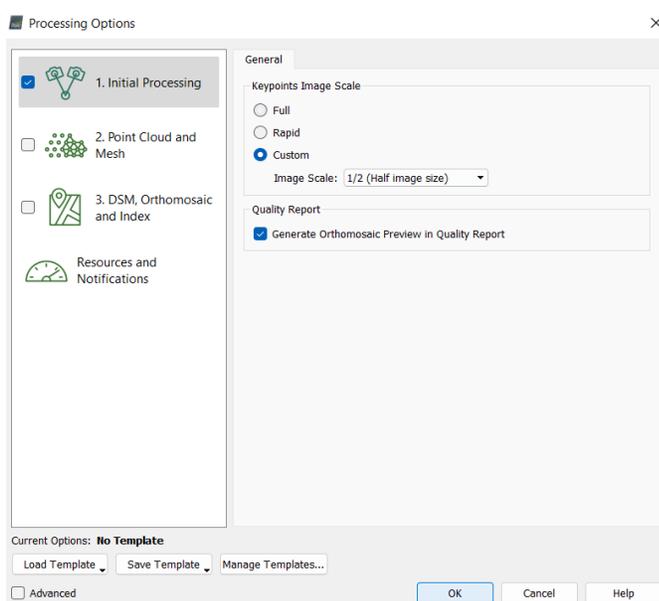
Plantilla de opción de procesamiento mapas en 3D.



En opciones de procesamiento se procesa cada opción por separado, para tener la oportunidad de corregirlo en el caso de que no cumpla con los resultados esperados.

Figura 20

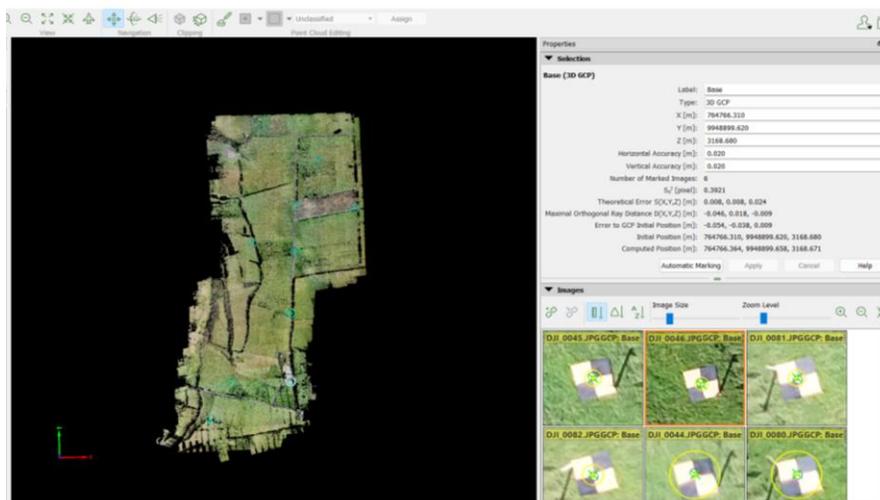
Opciones de procesamiento en el programa Pix4D.



Se cargaron las coordenadas exactas de los puntos de control, para poder ajustarlos se debe marcarlos al ajustar el centro en cada panel, creando así puntos de enlace automáticos y obteniendo la orientación absoluta.

Figura 21

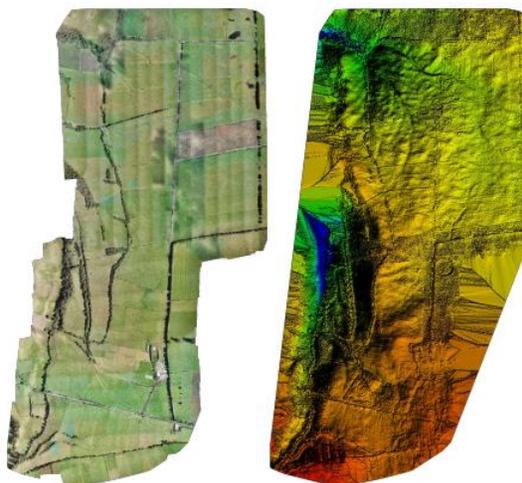
Ajuste fotogramétrico con los GCPs



Se procede a la verificación del informe de calidad como se observa en la Figura 22 y Figura 23, donde se revisan datos del proyecto como las imágenes previas, los detalles de la calibración y el estado en el que se procesan las ortofotos.

Figura 22

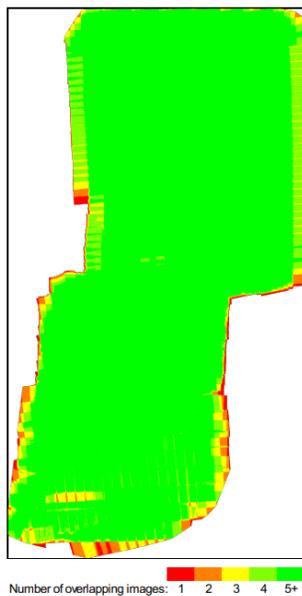
Ortomosaico y MDS antes de la densificación



Para evitar problemas de un mal traslapo o verse en la necesidad de tomar nuevas imágenes multiespectrales, hay que verificar que la zona de interés se encuentre en color verde como se observa en la Figura 22.

Figura 23

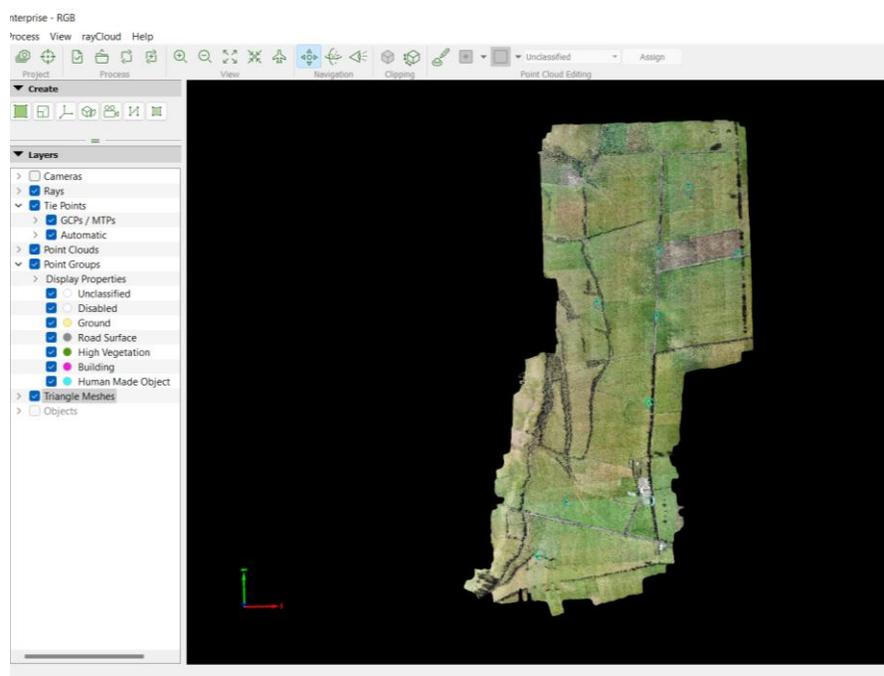
Número de imágenes superpuestas para cada pixel del ortomosaico



Se creó una nube de puntos densa y se generó una malla. En el tercer procesamiento que fue realizado para las imágenes RGB y multiespectrales, en el caso del procesamiento de las imágenes multiespectrales se debe realizar una calibración radiométrica mediante la diana de calibración.

Figura 24

Nube de puntos y malla de triángulos



En la Figura 25, se puede observar el código QR de la diana de calibración que debe ser capturado por el dron, en el procesamiento se calibraron las bandas Red, Red edge, y NIR con los valores de albedo que se encuentran en la Tabla 4.

Tabla 4

Valores para la calibración de bandas

Valores de albedo	
RED	0,73
GREEN	0.73
RED EDGE	0,71
NIR	0,68

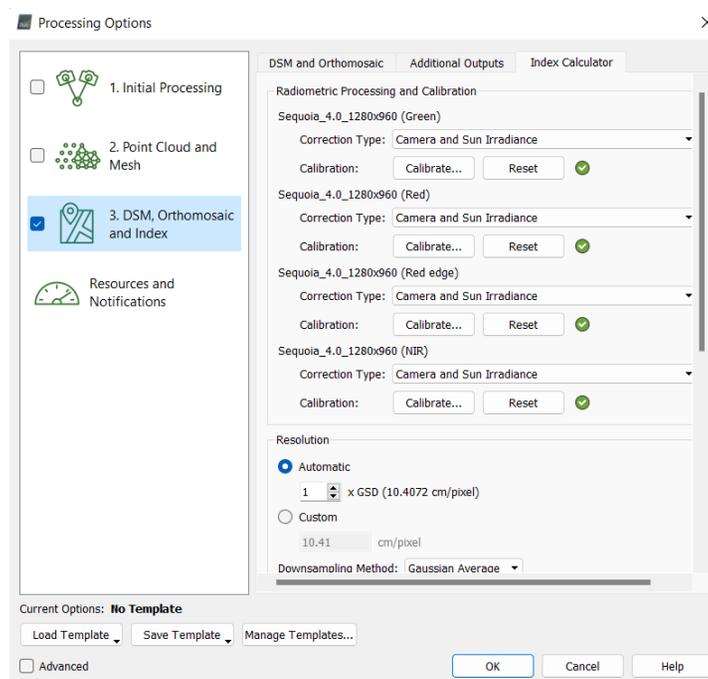
Figura 25

Diana de calibración



Figura 26

Calibración radiométrica



Finalmente, en “editor de mosaicos” se visualiza la ortofoto, el DSM y DTM.

En el mes de febrero se presentó un inconveniente con el Phantom 4 y la cámara Parrot Sequoia; sin embargo, se optó por la decisión de trabajar con la cámara Mapir Survey 3W que contiene una sola lente y presenta una menor sensibilidad espectral, pero fue una buena opción para poder continuar con el estudio y presentar resultados. En el programa MAPIR

Camera Control (MCC) se cargaron las imágenes capturadas por la cámara y después se realizó el ortomosaico multiespectral en Pix4D.

Cálculo de índices NDVI y SAVI

El cálculo de los índices de vegetación se obtuvo empleando el software ArcMap 10.3, en el programa se cargaron los datos de entrada correspondientes al ortomosaico generado en pix4D. En el caso de presentarse cuerpos de agua o nubes en el ortomosaico, se debe realizar un enmascaramiento para evitar resultados negativos que afecten el análisis de los índices de vegetación, para lo cual se crean polígonos que abarquen las zonas que se desea descartar y se crea un nuevo shapefile de las parcelas sin las zonas descartadas.

Se aplica estadística zonal para poder cruzar la información del ortomosaico con el nuevo shape de parcelas, es así que con la herramienta "zonal statistics as table" crea una tabla con estadísticos. Para el cálculo del índice NDVI se cargaron las bandas NIR correspondiente a la banda infrarroja y RED la banda roja en la herramienta "raster calculator" se insertó la ecuación (1) y para obtener el índice SAVI la ecuación (2), de esta forma se obtuvieron nuevos ortomosaicos en función de los índices de vegetación en cada parcela.

Para el ortomosaico multiespectral del mes de febrero se realizó primero una separación de bandas en el software QGIS y se realizó el procedimiento que se detalló anteriormente para calcular los índices NDVI y SAVI.

Cálculo de la Biomasa

Para el cálculo de la biomasa primero se obtuvo el factor de densidad con la siguiente formula:

$$FD = \frac{B}{V} \quad (3)$$

Donde:

B= Biomasa

V= Volumen

FD= Factor de densidad

La biomasa (B) es el peso seco de pasto que fue obtenido en el laboratorio, mientras que el volumen se obtiene con la superficie del aro y la altura del pasto en campo.

Posteriormente para obtener la biomasa en toda la superficie de parcela se utilizó la misma fórmula, pero calculando la biomasa por parcela.

$$Bp = FD \times Vp \quad (4)$$

Donde:

Bp= Biomasa por parcela

Vp= Volumen por parcela

FD= Factor de densidad

De esta manera se obtendrá la biomasa de las 50 parcelas del área de estudio.

Generación de resultados

Obtención de las parcelas óptimas

Para la obtención de las zonas óptimas se tomaron en cuenta dos criterios: índices de vegetación (NDVI y SAVI) y biomasa, se los normalizó con la fórmula:

$$Z_i = \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (5)$$

Donde:

Zi= Valor normalizado

Xi= Valor que se va a normalizar

Xmin= Valor mínimo del conjunto de datos

Xmax= Valor máximo del conjunto de datos

Después de normalizar ambos criterios entre 0 y 1 se le dio un peso de 0.5 a cada uno de ellos para obtener un nuevo valor entre 0 y 1, el cual nos indicó cuales fueron las mejores parcelas.

$$IZ = IV \times 0.5 + B \times 0.5 \quad (6)$$

Donde:

IZ= Índice de zonas óptimas

IV= Índice de vegetación

B= Biomasa

La ponderación para la biomasa y los índices de vegetación para determinar las parcelas óptimas estaba planteada con el mismo valor para ambos factores (0,5), sin embargo, estos valores se modificaron en dos meses. En el mes de diciembre al ser un mes con mucha lluvia y nubes, provocó que no se pueda capturar datos que sean completamente fiables y a pesar de enmascarar se tomó la decisión de darle un mayor peso a la biomasa por lo que la ponderación fue:

$$IZ = NDVI \times 0.5 + B \times 0.6 \quad (7)$$

Mientras que en el mes de febrero se tuvo un problema inesperado con un desperfecto en el Phantom 4 y la cámara Parrot Sequoia, y con el fin de no perder continuidad en el estudio se optó por utilizar la cámara Mapir Survey 3W, la cual cuenta con una menor sensibilidad espectral. De esta manera los datos multiespectrales serían un poco menos precisos, por lo que se le dio una mayor ponderación a la biomasa:

$$IZ = NDVI \times 0.35 + B \times 0.65 \quad (8)$$

Estas elecciones se tomaron en base a retroalimentación por parte de directivos de la comuna y estudios relacionados como el de (Escribano Rodríguez, Hernández Díaz-Ambrona, & Tarquis Alfonso, 2014) que mostraron que el índice NDVI tiene una mayor relación con la cantidad de pasto húmedo o seco, por lo que es un buen estimador de la biomasa. De esta manera se consideró adecuado utilizar el índice NDVI y darle esa ponderación para obtener el índice de zonas óptimas.

Al final del estudio se decidió realizar un análisis de correlación entre biomasa y los índices de vegetación obtenidos, se comparó la biomasa con el índice NDVI y la biomasa con

el índice SAVI, esto se lo realizo por cada mes de estudio. A partir de este resultado podríamos ver si existía una tendencia general entre las variables estudiadas.

Socialización con la directiva de la comuna

Posteriormente, cada mes luego de tener un plano con las parcelas óptimas se realizó una reunión con la directiva de la comuna Guagrabamba, esto con el fin de ver como se llevaría la planificación del consumo de forraje por parte del ganado las siguientes semanas y recibir retroalimentación de las parcelas que se utilizarían,

Diseño experimental

Para comprobar si existió una diferencia significativa de producción al implementar el sistema de pastoreo se aplicó un análisis de varianza en el software InfoStat a los datos de producción de leche, antes y después de la aplicación de zonas óptimas de pastoreo, Sin embargo, para aplicar la prueba ANOVA se tienen que cumplir los supuestos para aplicar pruebas paramétricas.

De esta manera se aplicó primero una prueba de Shapiro-Wilks, con un grado de significancia de 0.05 para comprobar la normalidad de los datos, las hipótesis fueron:

H_0 : *Los datos siguen una distribución normal*

H_1 : *Los datos no siguen una distribución normal*

A continuación, se aplicó una prueba de Levene para comprobar homocedasticidad de las varianzas, el grado de significancia fue de 0.05 y las hipótesis fueron:

H_0 : *Las varianzas son homogéneas*

H_1 : *Las varianzas no son homogéneas*

Finalmente, al comprobar los supuestos para pruebas paramétricas se procedió a aplicar la prueba ANOVA. Las hipótesis planteadas para el análisis de varianza de producción de leche fueron las siguientes:

H_0 : No existe una diferencia significativa

H_1 : Existe una diferencia significativa

Capítulo IV

Resultados

Generación de ortomosaicos

El producto final del proceso fotogramétrico es la generación de los ortomosaicos en RGB y multiespectrales, correspondientes a los vuelos con el UAV DJI Phantom 4 y la cámara Parrot Sequoia y el dron DJI Mavic PRO y la cámara Survey3, en cuatro épocas de estudio.

Ortomosaicos en RGB

Se obtuvieron cuatro ortomosaicos en color verdadero, producto del procesamiento de las imágenes RGB capturadas por el dron en la zona de estudio. Según (Moncayo, y otros, 2018) los factores que pueden alterar el resultado de los ortomosaicos son las nubes, la hora del vuelo, la altitud, la atmosfera y la iluminación. En el mes de enero se puede apreciar una diferencia en la tonalidad del ortomosaico atribuida a la diferencia en cuanto a la iluminación y la cantidad de nubes.

Figura 27

Ortomosaicos en RGB



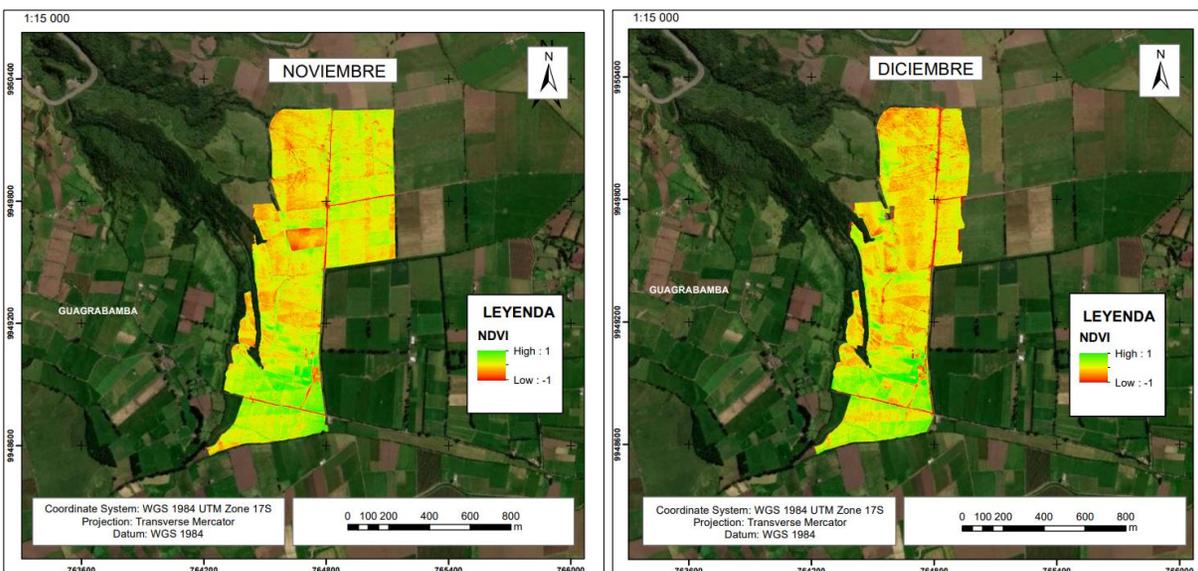


Ortomosaicos Multiespectrales

Para poder analizar los índices NDVI y SAVI primero fue necesario obtener los ortomosaicos, generados con las imágenes capturadas por cada banda (Green, Red, Red Edge y NIR) con la cámara multiespectral. Es así que se calculan y se presentan los nuevos ortomosaicos multiespectrales para el índice NDVI y SAVI.

Figura 28

Ortomosaicos multiespectrales NDVI



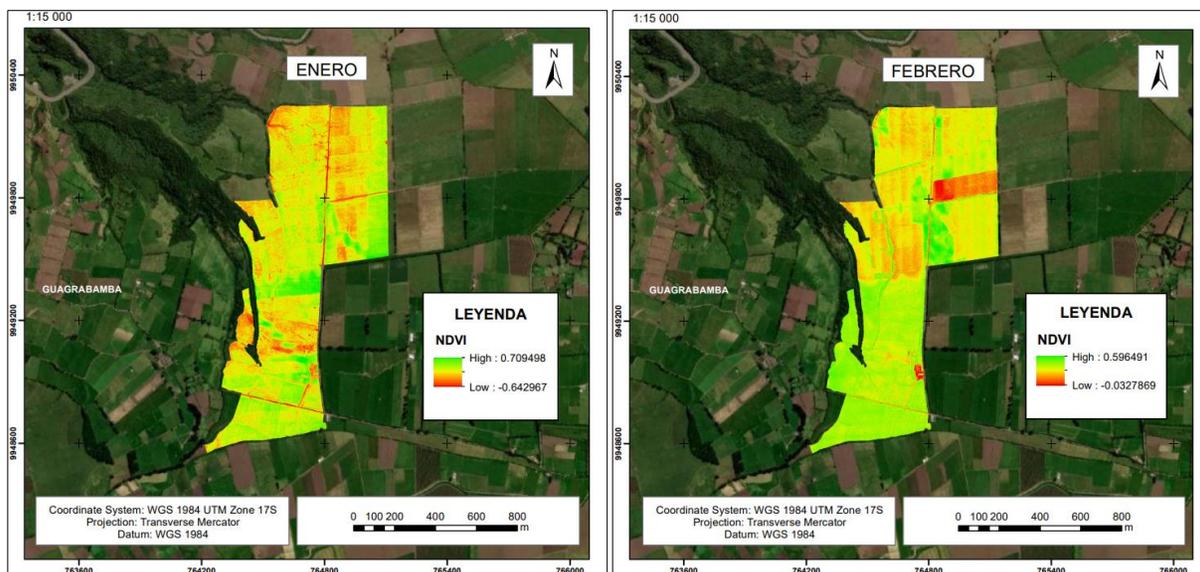
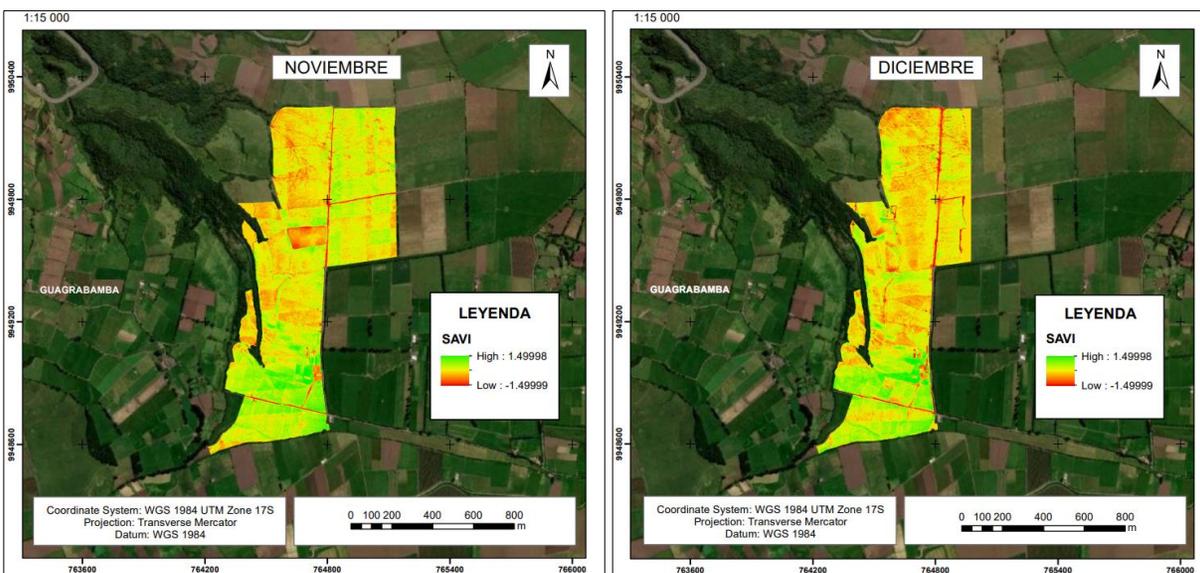
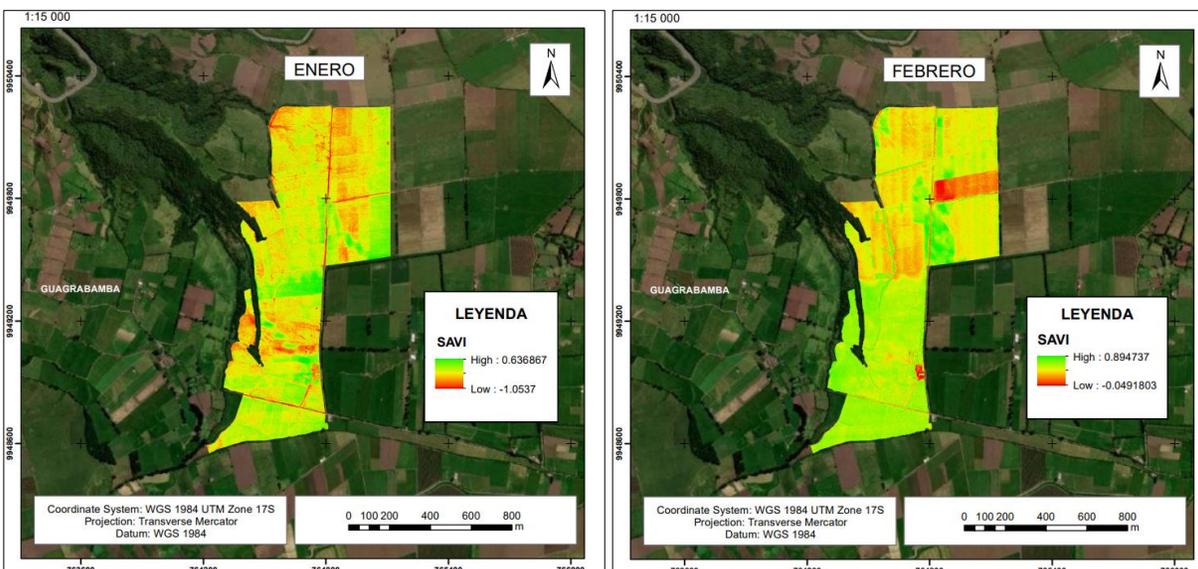


Figura 29

Ortomosaicos multispectrales SAVI





Reporte con coordenadas georreferenciadas

En la Tabla 5 se pueden observar las coordenadas georreferenciadas en cada uno de los límites con los que cuenta la zona de estudio.

Tabla 5

Coordenadas georreferenciadas de los límites en la zona de estudio

Límite	Norte	Este	Elevación
Norte	9950248.49	764835.17	3142.72
Sur	9948572.30	764314.22	3177.47
Este	9949526.64	765133.24	3145.90
Oeste	9948874.52	764297.27	3155.81

Biomasa

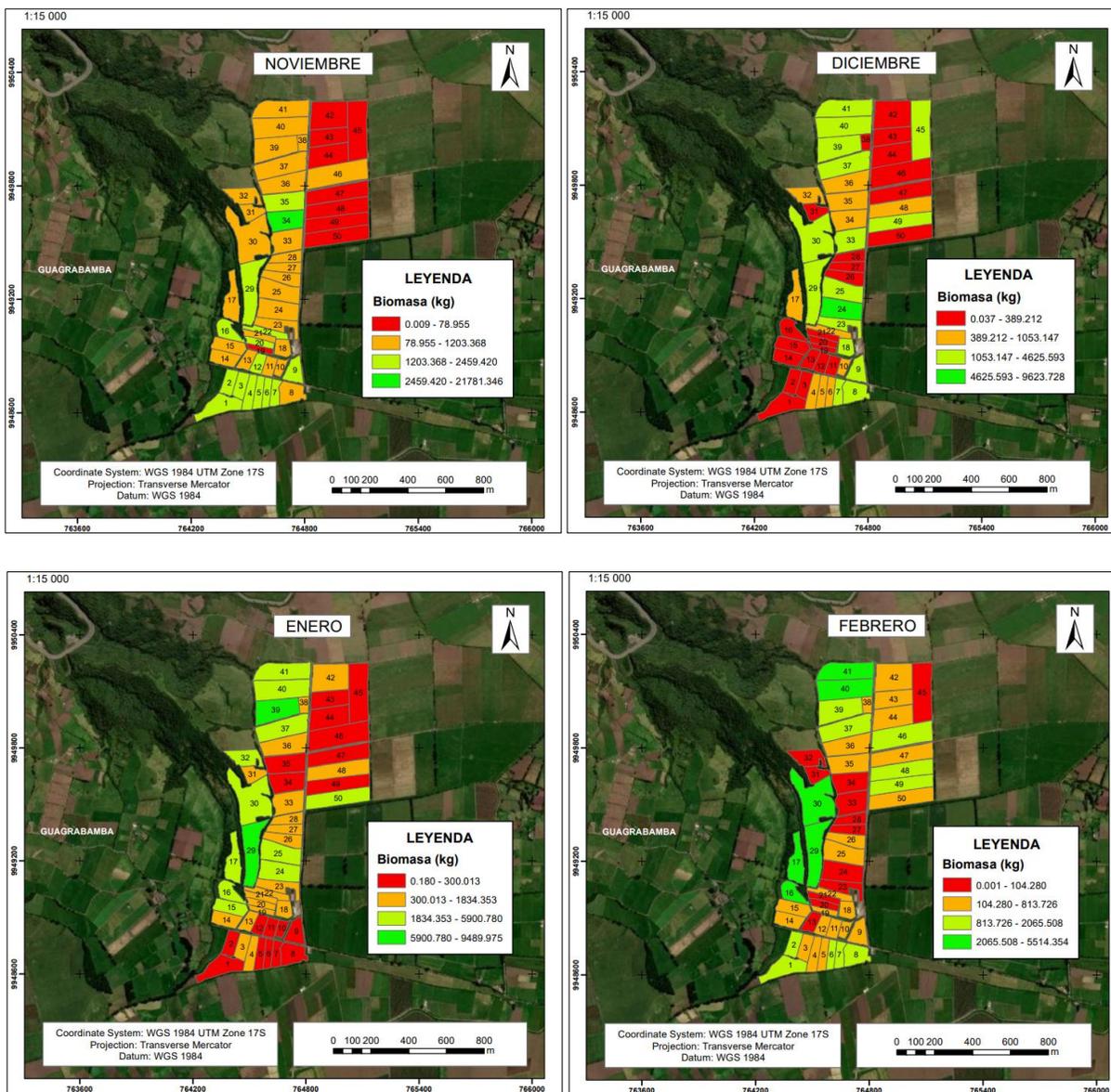
A partir de los datos de biomasa seca obtenidos en campo y secados en laboratorio. De la misma manera se realizó un registro mensual de biomasa en kilogramos por cada parcela de los cuáles se obtuvieron los siguientes resultados:

Figura 30*Cantidad de biomasa producida en kilogramos*

	A	B	C	D	E
1	Base de datos mensual				
2	Parcela	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero
3	1	2366.499	815.127	900.013	1440.569
4	2	2459.421	1853.147	46.153	950.017
5	3	1952.410	46.226	0.180	110.589
6	4	1717.802	122.009	55.368	327.518
7	5	1972.846	1295.321	0.249	0.001
8	6	2266.719	59.322	107.765	893.902
9	7	1465.514	1731.817	4207.000	3065.509
10	8	909.186	422.324	1929.913	3.450
11	9	2328.556	0.037	69.817	602.423
12	10	499.890	31.991	2834.353	589.529
13	11	853.130	1357.104	9138.246	2277.265
14	12	1394.561	0.068	614.004	159.469
15	13	578.259	27.125	1046.733	68.341
16	14	679.994	2053.640	3378.815	133.010
17	15	896.831	1430.173	4799.981	4172.098
18	16	1606.323	157.612	1362.400	207.717
19	17	748.602	168.010	584.410	108.564
20	18	1203.368	923.950	207.649	445.563
21	19	10.151	899.914	1187.771	661.319
22	20	1396.885	2052.602	9489.976	1823.992
23	21	762.418	239.639	1175.037	86.365
24	22	1479.048	2369.095	2577.790	5514.355
25	23	907.827	46.523	455.605	5.327
26	24	542.468	1160.983	760.322	125.395
27	25	1017.029	4625.594	1104.575	17.118
28	26	639.879	692.566	1499.770	112.348
29	27	661.150	9623.729	4510.470	98.705
30	28	474.398	7.283	1797.303	595.696
31	29	1348.929	1347.413	2018.601	1213.727
32	30	378.956	43.177	21.833	232.786
33	31	780.738	145.404	608.643	27.521
34	32	343.562	141.242	32.076	168.655
35	33	1108.629	1018.060	231.973	63.431

Figura 31

Cantidad de biomasa por mes

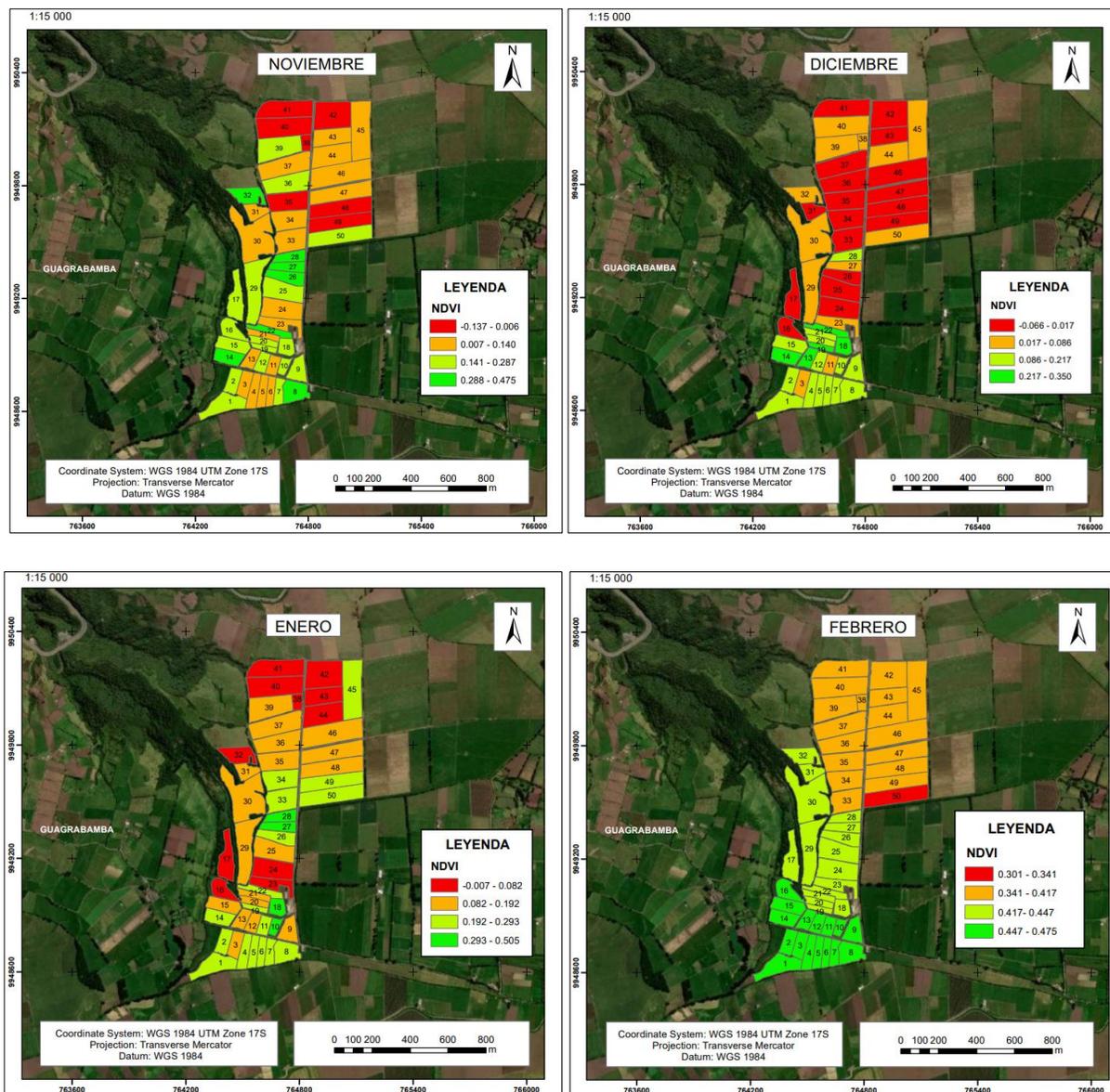


Resultados de Índices de vegetación

En la Figura 32 se presentan los planos del índice NDVI en los diferentes meses de estudio con una escala de colores, donde el color rojo y naranja representa una carencia en la cobertura vegetal y las tonalidades verdes evidencian la mayor densidad vegetal. En la Figura 34 y Figura 35 se puede observar los valores de los índices de vegetación por cada potrero en cada muestreo.

Figura 32

Planos de índices NDVI



Los planos de índice SAVI se observan en la Figura 33 para los diferentes meses de estudio, donde la escala de colores presenta tonalidades verdes para una mayor densidad vegetal y el rojo y naranja evidencian la carencia de cobertura vegetal.

Figura 33

Planos de índices SAVI

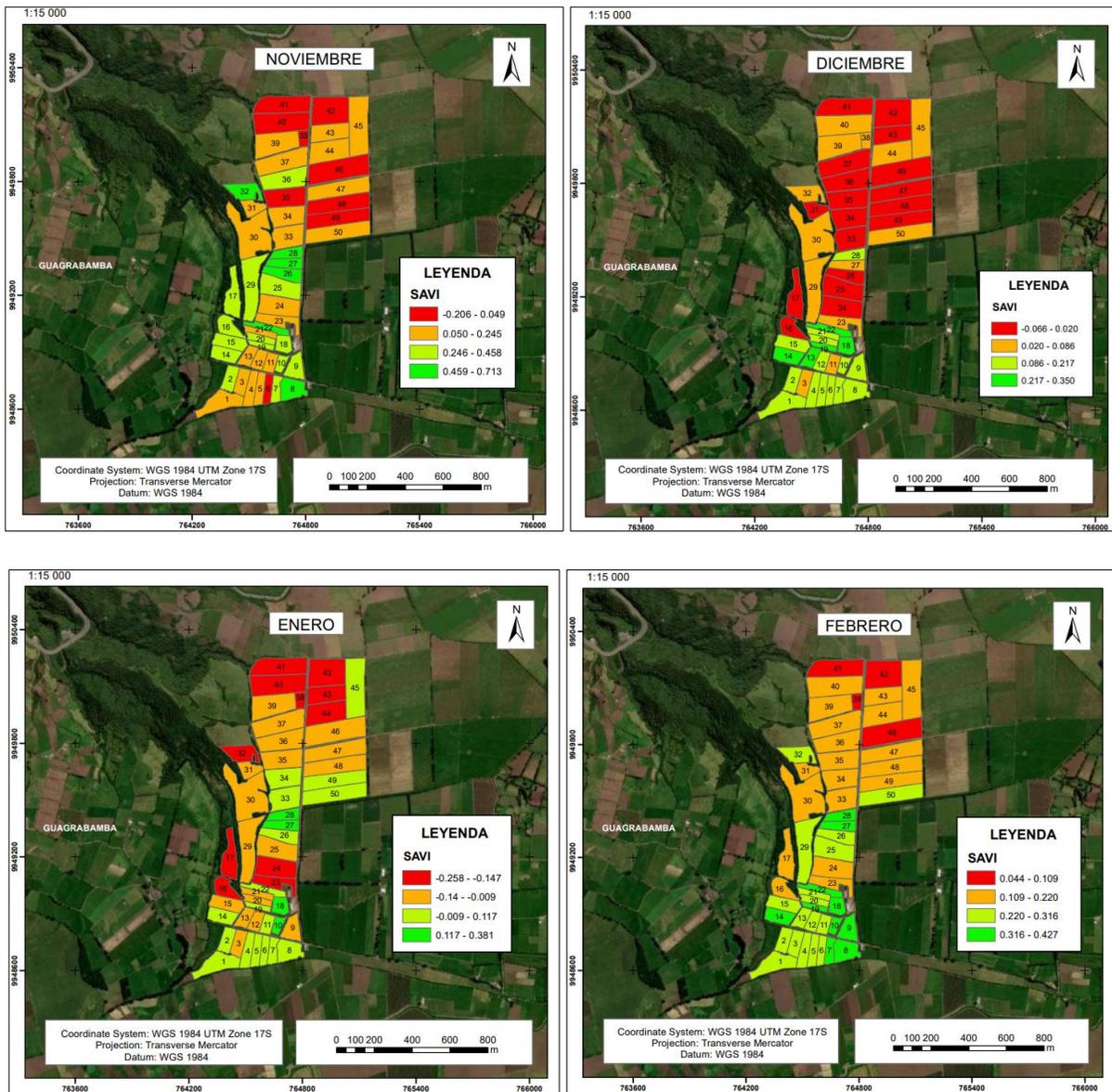


Figura 34*Valores de NDVI por cada potrero*

	A	B	C	D	E
1	Parcela	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero
2	1	0.16	0.40	0.20	0.46
3	2	0.17	0.35	0.22	0.46
4	3	0.11	0.47	0.19	0.46
5	4	0.11	0.55	0.26	0.46
6	5	0.10	0.51	0.28	0.46
7	6	0.03	0.50	0.22	0.46
8	7	0.25	0.42	0.21	0.46
9	8	0.35	0.55	0.26	0.45
10	9	0.29	0.58	0.16	0.46
11	10	0.23	0.49	0.35	0.43
12	11	0.08	0.43	0.29	0.43
13	12	0.15	0.37	0.14	0.43
14	13	0.05	0.57	0.17	0.44
15	14	0.31	0.53	0.24	0.47
16	15	0.22	0.42	0.12	0.48
17	16	0.24	0.33	0.05	0.46
18	17	0.20	0.28	-0.01	0.47
19	18	0.25	0.78	0.33	0.44
20	19	0.23	0.86	0.25	0.45
21	20	0.20	0.59	0.16	0.44
22	21	0.11	0.43	0.15	0.44
23	22	0.37	0.62	0.22	0.41
24	23	0.12	0.32	-0.01	0.43
25	24	0.12	0.42	0.03	0.45
26	25	0.24	0.30	0.12	0.45
27	26	0.37	0.30	0.28	0.44
28	27	0.32	0.25	0.51	0.43
29	28	0.46	0.55	0.39	0.39
30	29	0.25	0.39	0.17	0.46
31	30	0.11	0.28	0.11	0.39
32	31	0.14	0.10	0.14	0.37
33	32	0.48	0.37	0.04	0.37
34	33	0.11	0.30	0.20	0.36

Figura 35

Valores de SAVI por cada potrero

	A	B	C	D	E
1	Parcela	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero
2	1	0.24	0.25	0.00	0.68
3	2	0.26	0.18	0.03	0.69
4	3	0.17	0.13	-0.02	0.69
5	4	0.17	0.23	0.08	0.69
6	5	0.15	0.24	0.10	0.69
7	6	0.04	0.28	0.03	0.68
8	7	0.37	0.30	0.02	0.69
9	8	0.53	0.30	0.08	0.68
10	9	0.43	0.32	-0.05	0.69
11	10	0.35	0.26	0.19	0.65
12	11	0.11	0.12	0.12	0.65
13	12	0.23	0.22	-0.07	0.65
14	13	0.08	0.35	-0.04	0.65
15	14	0.46	0.38	0.06	0.70
16	15	0.33	0.27	-0.10	0.71
17	16	0.36	0.01	-0.19	0.70
18	17	0.31	0.02	-0.26	0.70
19	18	0.38	0.52	0.16	0.66
20	19	0.34	0.53	0.06	0.68
21	20	0.30	0.31	-0.05	0.66
22	21	0.16	0.22	-0.06	0.66
23	22	0.56	0.35	0.02	0.61
24	23	0.17	0.09	-0.26	0.65
25	24	0.19	0.03	-0.21	0.67
26	25	0.36	0.00	-0.10	0.68
27	26	0.56	-0.06	0.10	0.67
28	27	0.48	0.05	0.38	0.65
29	28	0.69	0.20	0.24	0.58
30	29	0.37	0.06	-0.03	0.69
31	30	0.17	0.06	-0.11	0.59
32	31	0.21	-0.03	-0.08	0.55
33	32	0.71	0.05	-0.20	0.56
34	33	0.17	-0.01	0.00	0.54
35	34	0.13	-0.01	0.03	0.59

Análisis de correlación

Antes de aplicar el análisis de correlación, se realizó una prueba de normalidad a las variables. En la Figura 36 se puede observar que los datos de biomasa no cumplen con normalidad, por consiguiente, se realizó el análisis de correlación con el coeficiente de Spearman y los resultados se pueden observar en la Tabla 6.

Figura 36

Prueba de normalidad a los datos de biomasa

Nueva tabla : 23/02/2023 - 22:08:19 - [Versión : 30/04/2020]

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
NOV	50	1164.22	1846.42	0.58	<0.0001
DIC	50	632.29	845.82	0.72	<0.0001
ENER	50	18563.59	19183.59	0.85	<0.0001
FEBRE	50	157.29	175.38	0.80	<0.0001

El análisis de correlación entre biomasa y los índices de vegetación NDI y SAVI mostraron las siguientes correlaciones:

Tabla 6

Valores del análisis de correlación

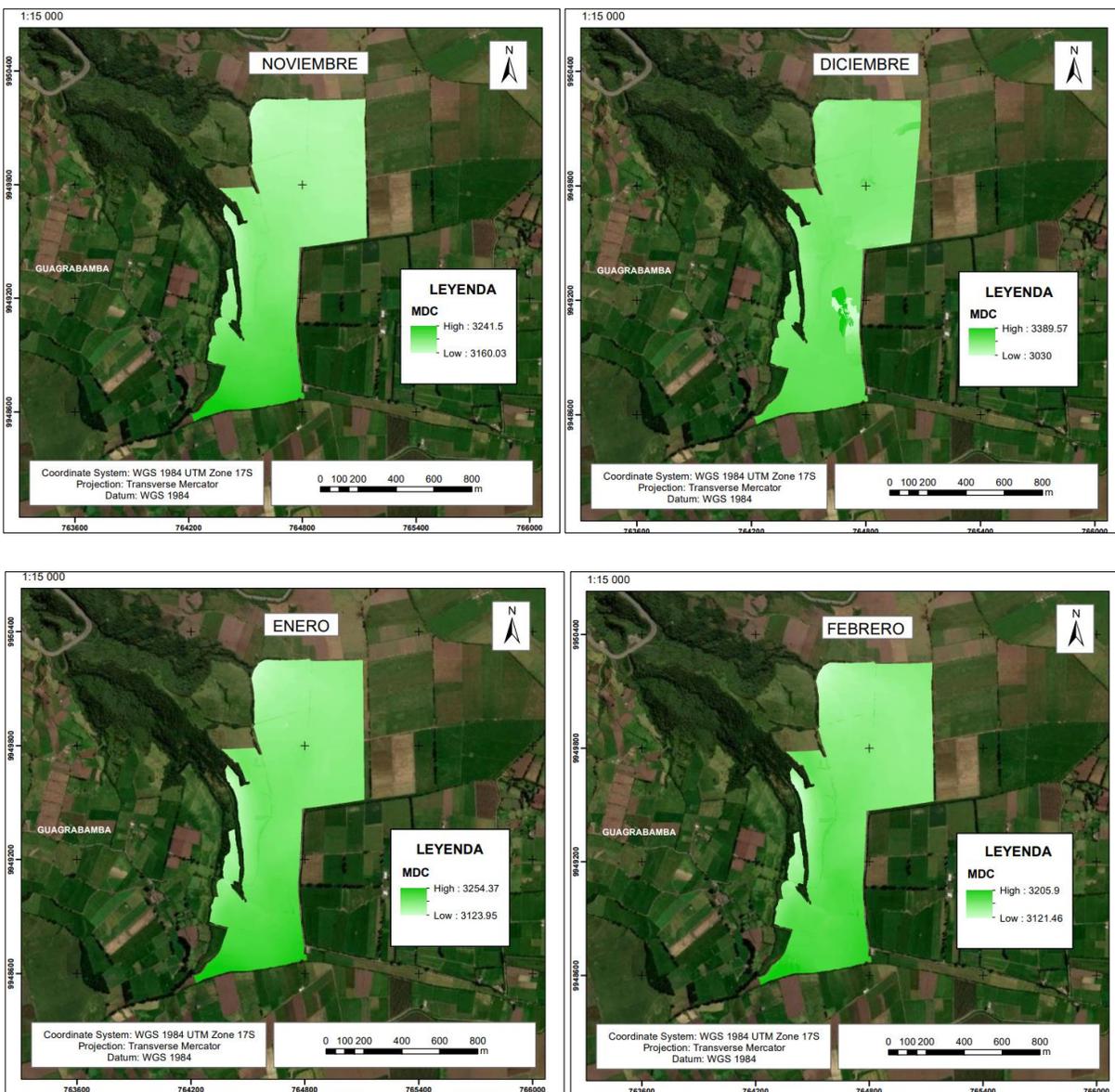
Biomasa/ Índice	NDVI	SAVI
Noviembre	0.05	0.05
Diciembre	0.61	0.59
Enero	0.20	0.20
Febrero	0.55	0.63

Modelos digitales de cultivo (MDC)

Parte de los resultados del proceso fotogramétrico con las imágenes RGB permitió la generación de los cuatro MDC, llegando a identificar la variación del crecimiento de pasto existentes en los cuatro periodos de tiempo.

Figura 37

Modelos digitales de cultivo



Parcelas Óptimas

Con los resultados anteriores de biomasa, índice NDVI e índice SAVI se obtuvieron lotes óptimos para el consumo del ganado y se los puede observar en la Figura 38 y Figura 39 respectivamente.

Figura 38

Zonas óptimas de NDVI

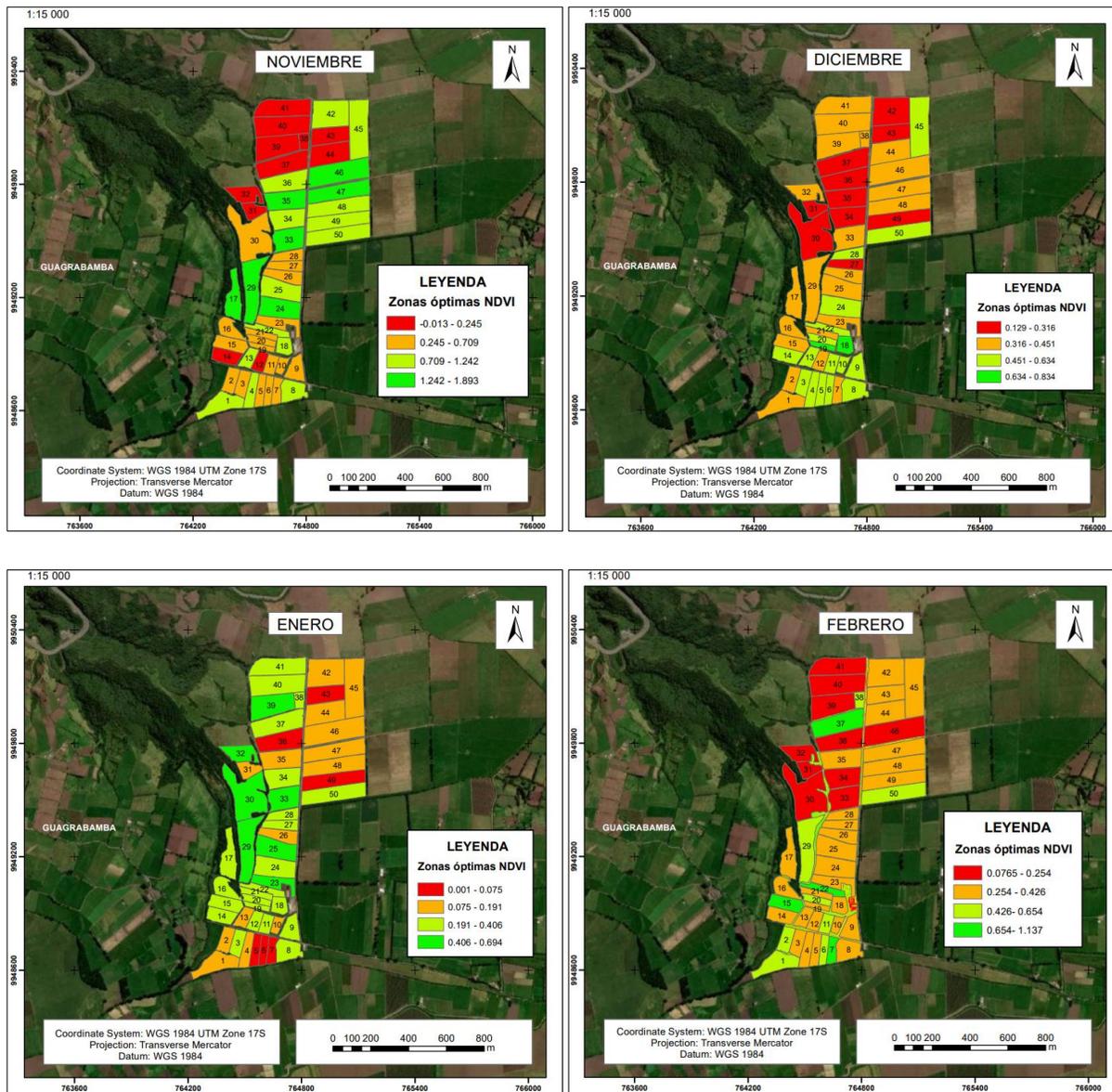
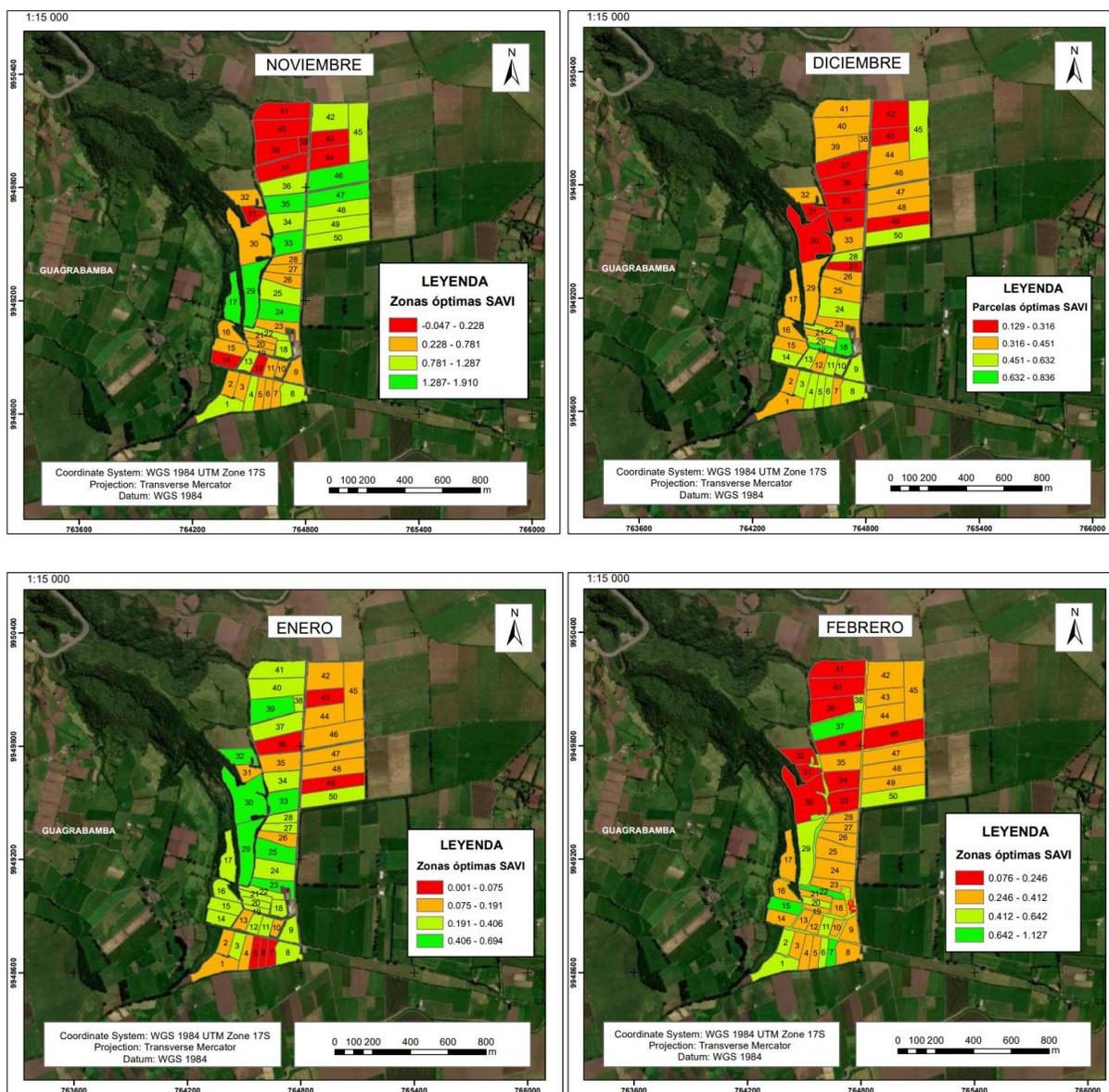


Figura 39

Zonas óptimas de SAVI



Prueba ANOVA

Los resultados de los meses entre julio hasta octubre muestran un total de 132981 litros de leche con una media de 18997, mientras que los valores de producción entre noviembre hasta febrero muestran un total de 140017 con una media de 20002. Para el análisis de los datos se compararon 16 valores de producción de leche 7 quincenas antes de la implementación del estudio y 7 quincenas después, como se puede apreciar en la Tabla 7.

Tabla 7

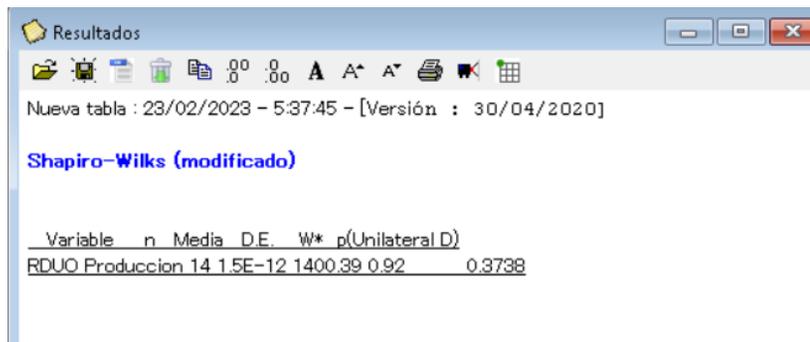
Valores de producción de leche por quincenas

Antes	
Julio	19795
Agosto	18201
Septiembre	17151
Octubre	17992
Después	
Noviembre	21286
Diciembre	21494
Enero	19433
Febrero	20015

Después de aplicar la prueba de Shapiro-Wilks en el software InfoStat se obtuvo un p-valor de 0.3738, siendo que el p-valor es mayor al nivel de significancia de 0.05 no se rechaza la hipótesis nula y se concluye que los datos si tienen una distribución normal.

Figura 40

Resultado de la prueba de Shapiro-Wilks en el software InfoStat



Resultados

Nueva tabla : 23/02/2023 - 5:37:45 - [Versión : 30/04/2020]

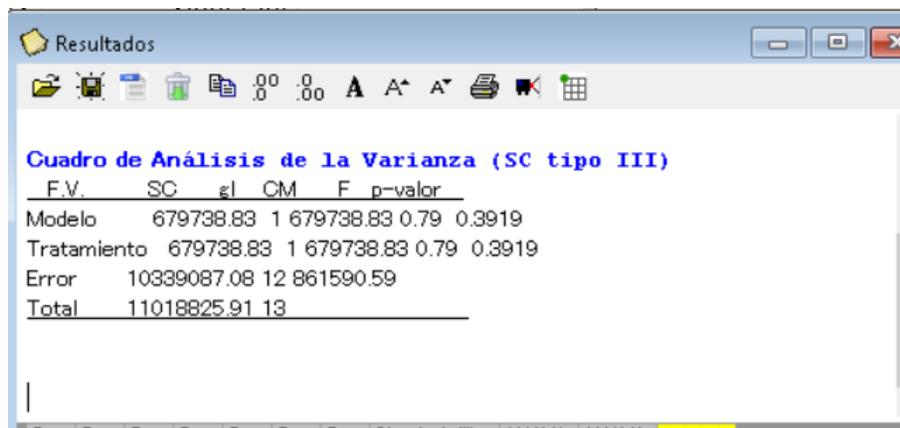
Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO Produccion	14	1.5E-12	1400.39	0.92	0.3738

Posteriormente en la prueba de Homogeneidad de varianzas se aplicó un análisis de varianza en el cual la variable dependiente fue el valor absoluto de los residuos.

Figura 41

Resultado de la prueba de Levene en el software InfoStat



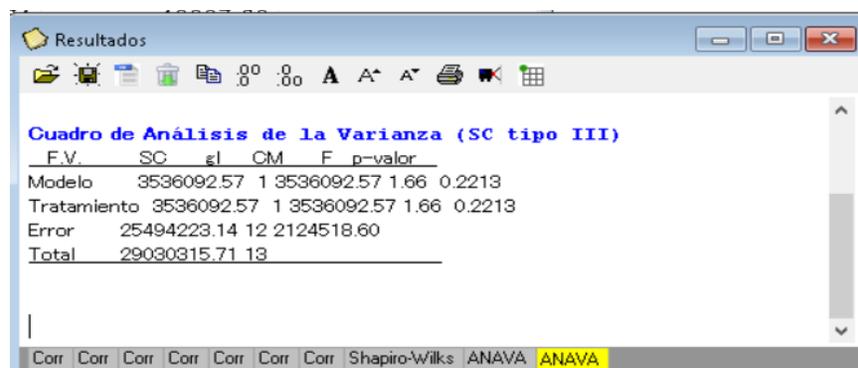
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	679738.83	1	679738.83	0.79	0.3919
Tratamiento	679738.83	1	679738.83	0.79	0.3919
Error	10339087.08	12	861590.59		
Total	11018825.91	13			

El nivel de significancia utilizado fue 0.05 y después de realizar la prueba se obtuvo un el p-valor de 0.3919, por lo que se acepta la hipótesis nula y se concluye que no existe una diferencia entre las dos varianzas, por lo que se cumplen los supuestos de una prueba paramétrica como ANOVA.

Para conocer si existió un efecto al implementar el sistema de pastoreo se aplicó un análisis de varianza a los datos de producción de leche, antes y después de la aplicación de zonas óptimas de pastoreo, en la Figura 42 se muestran el análisis correspondiente el software InfoStat a un nivel de significancia de 0.05.

Figura 42

Resultado de la prueba ANOVA en el software InfoStat



F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3536092.57	1	3536092.57	1.66	0.2213
Tratamiento	3536092.57	1	3536092.57	1.66	0.2213
Error	25494223.14	12	2124518.60		
Total	29030315.71	13			

En la imagen se puede observar que el p-valor fue de 0.2213 y siendo mayor que 0.05 significa que no se rechaza la hipótesis nula por lo que se puede concluir que no existen diferencias entre las medias de los dos grupos de producción de leche.

Discusión

El presente proyecto demostró que además de poder evidenciar la vigorosidad del pasto en cada parcela en épocas diferentes de estudio como en el estudio de (Sinde I. , Gil-Docampo, Grefa, Arza , & Yáñez, 2020), también es posible designar parcelas óptimas para el consumo del ganado y de forma conjunta, a través de un análisis estadístico de la producción de leche antes y después de la aplicación del estudio, se puede analizar el mantenimiento o incremento que se puede dar en la producción de leche dentro de la zona de estudio. De esa forma se puede optar por decisiones rentables y apropiadas en beneficio de la comunidad.

Biomasa

El reporte de biomasa que se realizó por mes guarda relación y coherencia con las parcelas utilizadas y esto se puede observar en la tabla de valores mínimos y máximos por mes.

Tabla 8

Valores máximos y mínimos del índice de la biomasa

Biomasa	Mínimos	Parcela	Máximos	Parcela
Noviembre	380.22	49	2366.50	1
	176.99	48	2459.42	2
	303.79	45	21781.35	34
Diciembre	0.04	9	2818.05	36
	0.07	12	4625.59	25
	0.34	34	9623.73	27
Enero	0.18	3	5900.78	34
	0.25	5	9138.25	11
	1.52	50	9489.98	20
Febrero	0.00	5	3928.74	37
	3.45	8	4172.10	15
	5.33	23	5514.35	22

Tabla 9*Valores de Biomasa por hectárea*

Biomasa/ha	Valor	Parcela
Máximas	2734.77	34
	1810.76	27
	1523.98	37
	738.22	20
	852.97	11
Mínimas	181.38	49
	238.58	3
	246.39	6
	261.47	5
	264.65	30

En el estudio de (Marcos Robles, y otros, 2016) se realiza una metodología muy similar a la aplicada en esta investigación para obtener biomasa, en la investigación se concluye que el método tiene coherencia con lo que se puede observar en campo, menciona que existen varios factores en la toma de datos que pueden afectar en la fiabilidad de los mismos. En el estudio de (Marcos Robles, y otros, 2016) los valores por hectárea que se encontraron fueron entre los 500 y 11000 (kg de biomasa /ha), mientras que en el estudio de (Díaz , y otros, 2023), en su trabajo “Estimación de la disponibilidad de forraje y de parámetros asociados a la calidad nutricional del pasto” compara valores de biomasa por hectárea de diferentes investigaciones de las cuales se encontraron valores entre 900 y 2000 (kg de biomasa /ha).

Los valores anteriores tienen concordancia con los obtenidos en nuestro estudio con una media de 721.86 Kg de biomasa por hectárea, esto quiere decir que los resultados de biomasa entran en los rangos descritos por diferentes autores. Sin embargo, al examinar los valores extremos, especialmente en los mínimos existen ciertos valores atípicos. Las parcelas con menor cantidad de biomasa por mes son: 3, 5, 8, 12, 23, 48, 49 y 50, ya que son las más usadas para el consumo del ganado, erosión producida en el suelo por las vacas o porque el

suelo fue recientemente resembrado, dando como resultado un suelo casi desnudo como se puede observar en la Figura 43.

Figura 43

Suelo sin pasto



En consecuencia, la recolección de muestra de pasto fue muy escasa en ese lote. También hay que tomar en cuenta que valores muy extremos pueden deberse a la falta de detalle al momento de realizar el levantamiento RTK, afectando la calidad en el Modelo Digital de Elevación, dando como resultado que los valores de volumen entre superficies generen valores o muy grandes o muy pequeños en alguna zona. Por otro lado, las parcelas con más biomasa guardan relación con la designación de áreas para el consumo del ganado ya que ninguna parcela (con excepción de 34 y 50) es usada principalmente para el consumo del ganado por lo que la biomasa era más abundante y vigorosa en esas áreas.

NDVI

Según el estudio de (Díaz , y otros, 2023), el índice NDVI es el más eficiente en la determinación del componente relacionado a la disponibilidad forrajera. De forma similar a la investigación de (Sinde I. , Gil-Docampo, Grefa, Arza , & Yáñez, 2020) en el mes de diciembre se encontró el promedio de los índices de NDVI asociados a la disponibilidad de biomasa del

forraje con valores de 0,377; 0,368 y 0,371, valores semejantes a los encontrados en este estudio para el mes de diciembre con un valor promedio de 0,40.

En la siguiente tabla se observan los valores máximos y mínimos de NDVI en los diferentes meses de estudio, en el mes de diciembre existe una mejora en el estado vegetativo, debido a que los valores mínimos no presentan valores negativos. Los potreros 19,18 y 22, contienen los máximos valores en todo el estudio por ser valores cercanos a 1 según (Beltrán, 2017), los hace acreedores a una vegetación vigorosa con una mayor densidad de pasto presente en el análisis de los diferentes periodos de tiempo.

Los valores mínimos se presentan en el mes de noviembre, como los valores más bajos en el estudio, las parcelas 38, 48 y 49 reflejan una carencia de pasto, al igual que (Carbajal & Onofre, 2020) se debe a la presencia de charcos, al visualizar el ortomosaico RGB especialmente la parcela 38 presenta gran cantidad de lodo, que limitan su aprovechamiento. No obstante, los valores máximos de NDVI en el mes de enero y noviembre presentan valores que se encuentran en un rango de 0.3 a 0.4, dando a conocer que esas parcelas, representan una vegetación no tan activa (Carbajal & Onofre, 2020).

Diciembre es el mes que presenta los valores máximos más altos de NDVI a comparación de las otras épocas de estudio, el factor clima puede ser el causante principal de estos resultados, ya que al igual (Portilla, 2018) se evidencio que en la sierra del país a mediados del mes se caracteriza por ser una época lluviosa, donde se puede fortalecer el crecimiento del pasto sano y fuerte por el agua natural, pura y limpia que se suministra.

Tabla 10*Valores máximos y mínimos del índice NDVI*

	Mínimos	Parcela	Máximos	Parcela
Noviembre	-0.14	38	0.48	32
	-0.08	48	0.46	28
	-0.03	49	0.37	22
Diciembre	0.10	31	0.86	19
	0.18	35	0.78	18
	0.19	49	0.62	22
Enero	-0.01	17	0.51	27
	-0.01	23	0.39	28
	0.02	43	0.35	10
Febrero	0.30	46	0.48	15
	0.36	33	0.47	17
	0.37	31	0.47	14

SAVI

El índice SAVI proporciona un análisis más discriminatorio que el NDVI, según (Muñoz, 2013) por su reflectividad del suelo, aísla la información de la vegetación de la que procede del suelo. Mejora el análisis que presenta el NDVI, ya que proporciona resultados iguales o parecidos de dos coberturas vegetales sobre suelos diferentes. En este estudio se presentaron similitudes en las parcelas que se posicionaban con los valores máximos y mínimos de los índices empleados, es decir las mismas parcelas en el mes de diciembre y enero se presentan con los valores máximos y mínimos en esos meses. A pesar de ello el promedio del índice en el mes de noviembre y enero son similares con un valor de 0,15 y 0,17 respectivamente.

En el mes de noviembre los valores mínimos del índice SAVI de -0.21 y -0.04 correspondientes a las parcelas 38 y 48 respectivamente, coinciden con las parcelas que presentan valores mínimos en el índice NDVI, es así que corroboran la carencia de pasto dentro de esas parcelas. De forma similar los valores máximos correspondientes a las parcelas 32 con 0.71 y 28 con 0.69 son las mismas parcelas que presentan valores máximos en el

índice NDVI dan a conocer que estas parcelas son las que se encuentran en estado activo con mayor vigorosidad.

Los valores máximos del índice SAVI en la parcela 19 con 53 y la parcela 18 con 52 vuelven a ser las parcelas con mayores valores presentes en el índice SAVI, evidenciando que en estas parcelas se encuentran en un estado más aceptable de crecimiento de vegetación. A diferencia de las parcelas 41, 26 y 31 donde sucede lo contrario.

Tabla 11

Valores máximos y mínimos del índice SAVI

	Mínimos	Parcela	Máximos	Parcela
Noviembre	-0.21	38	0.71	32
	-0.08	48	0.69	28
	-0.04	49	0.56	22
Diciembre	-0.10	41	0.53	19
	-0.06	26	0.52	18
	-0.03	31	0.38	14
Enero	-0.26	17	0.38	27
	-0.26	23	0.24	28
	-0.23	41	0.19	10
Febrero	0.45	46	0.71	15
	0.54	33	0.70	17
	0.55	31	0.70	14

Seguidamente se tomaron en cuenta las parcelas que son netamente utilizadas para la alimentación de las vacas y se realizó un análisis puntual de esas parcelas para comparar cual es la mejor. Con la ayuda de la directiva de la comuna, en una reunión mensual se llegaba a un acuerdo de las parcelas que las vacas iban a pastar por el lapso aproximado de un mes. Se realizó un registro del seguimiento de las parcelas que el ganado utilizaría cada mes, el cual se encuentra detallado en la Tabla 12.

Tabla 12

Registro de las parcelas consumidas por el ganado por mes.

Jornada/mes	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero
Noche	3	1	9	1
	5	2	10	2
	6	4	11	4
	7	5	12	6
	8	8	13	7
Mañana	23	23	27	20
	25	27	28	22
	27	28	29	29
	28	33	30	37
	29	34	31	47
	33	35	32	48
	34	36	33	49
	35	37	34	50
	36	38	47	
	47	45	48	
	48	46	49	
49	47	50		

Después de tener la reunión con la directiva se tuvo como resultado que la mayoría de parcelas que se estaban utilizando y de las que se iban a utilizar en las próximas semanas, en su mayoría coincidían con las parcelas que tenían un mejor índice de zonas óptimas. Por consecuencia la elección de potreros no variaba mucho por lo que no se pudo hacer un gran cambio al momento de elegir la parcelas. Por otro lado, cuando unas parcelas con un buen índice de zona óptima se encontraban muy lejos una de otra, no era una elección coherente proponer que el ganado pascie un lote y después se desplace al otro.

Producción de leche

Los datos de producción de leche fueron facilitados por la directiva de la comuna, los primeros datos son de los meses de julio hasta octubre anteriores al inicio del proyecto, mientras que en los meses de noviembre hasta febrero son datos en los cuales la investigación y análisis de parcelas óptimas ya estaba implementado.

Tabla 13*Producción de leche*

Producción de leche (L)	
Julio	19795
Agosto	37230
Septiembre	35466
Octubre	40490
Noviembre	21286
Diciembre	41388
Enero	38950
Febrero	38393

La prueba ANOVA mostró que no existen diferencias entre las medias de los dos grupos de producción de leche. Este resultado se puede explicar por varios factores, pero principalmente por la nula variación de parcelas que se estaba o se tenía planificado utilizar con las que se encontraron como óptimas. Sin embargo, también se pudieron encontrar factores externos a este estudio que pueden llegar a ser más importantes que la elección de zonas óptimas y que pudieron variar en el lapso del estudio. Concretamente en investigaciones como la de (Gómez Osorio, Posada Ochoa, Olivera Ángel, Rosero Noguera, & Aguirre Martínez, 2017), en la que se destaca que la inclusión de cierto alimento en un suplemento no mostró una mejoría estadística en la producción de leche, sin embargo, si se pudo mejorar la rentabilidad asociada a la producción de leche, en el estudio de (Pereira, Lamela, & Ripoll, 1990) donde se realizó una evaluación de pasto para la producción de leche y en el cual mencionan que el efecto que aportó mayor disponibilidad de pastos y diferenciación de composición química fue la época, lo cual es un resultado esperable por la diferencia de precipitación.

Análisis de correlación

La correlación entre dos variables permite cuantificar la intensidad de la relación que existe entre ellas (Pucha, 2019). El índice NDVI estima la cantidad y la calidad en la que se

encuentra la vegetación, motivo por el que se encuentra muy marcada la relación entre el NDVI y la biomasa de pasto. Para poder evaluar la relación presente entre la biomasa y el NDVI se calculó su correlación, este análisis tiene la finalidad de determinar su grado de asociación, sin embargo, depende de la información que se encuentra en cada estudio como puede ser: la georreferenciación y el clima.

El coeficiente de correlación Spearman evidenció que existe una mayor relación entre los índices de vegetación NDVI y SAVI con la biomasa en el mes de diciembre con valores de 0,61 y 0,59 respectivamente, presentando una correlación positiva, motivo por el que la biomasa y los índices en ese tiempo mantuvieron una estrecha relación. En el mes de noviembre se encuentran los valores mínimos entre las épocas de estudio, con 0,05 en los dos índices, evidenciando una correlación negativa, debido a que en el análisis del índice NDVI en este mes ya se reflejaba la carencia de pasto y presencia de lodo, por lo que no se evidencia una relación dependiente entre los índices de vegetación con la biomasa en el mes de noviembre.

Cabe recalcar que el coeficiente de correlación promedio de la biomasa del pasto y el NDVI permite determinar el grado de asociación que existe entre las dos variables; no obstante, hay que tener presente que es una tendencia general no una relación específica que se puede encontrar entre dos variables.

Capítulo V

Conclusiones

Al iniciar el estudio se contó con 50 parcelas, sin embargo, las parcelas principales destinadas al pastoreo en el día son desde la 20 hasta la 37 y desde la 46 hasta 50; y en la noche son de la 1 hasta la 13. Estas parcelas tomaron más relevancia en el estudio porque la rotación del ganado se daba casi por completo en estos lotes y al encontrar las zonas óptimas se tenía que realizar un análisis puntual de estas parcelas por zonas y realizar un seguimiento semanal para encontrar cual sería la mejor. Las parcelas restantes de igual manera participaron en el análisis ya que el ganado podía cambiar a alguna de ellas dependiendo la disponibilidad de las otras parcelas, de esta manera teníamos un análisis completo de todas las parcelas, pero solo las 36 mencionadas fueron las principales.

Los valores máximos y mínimos de los índices NDVI y SAVI presentan una repetición de parcelas con valores máximos y mínimos en el mes de noviembre y diciembre, se puede evidenciar que existen tonalidades similares, lo que corrobora la semejanza entre los dos índices para la identificación de la vigorosidad del pasto. Para los meses de estudio en el mes de diciembre se pudo comprobar que presenta las mejores características para la alimentación del ganado, ya que el valor máximo promedio del índice NDVI es de 0,40 y la mayor producción de leche se encuentra en este mes. En cuanto al análisis de correlación el valor promedio entre los dos índices fue de 0.36. El valor muestra que la cantidad de materia orgánica y la vigorosidad de la vegetación están relacionados moderadamente, sin embargo, el valor aun es bajo por lo que la correlación no es fuerte, indicando que existen otros factores que se relacionen de mejor manera.

Al coincidir la mayoría de parcelas que se estaban utilizando con las parcelas que se consideraban óptimas, la elección de potreros no variaba mucho por lo que no se pudo hacer un gran cambio al momento de elegir las parcelas. Por otro lado, cuando unas parcelas con un buen índice de zona óptima se encontraban muy lejos una de otra no era una elección

coherente proponer que el ganado pague un lote y después se desplace al otro que se encuentra lejos, esto no solo afectaría negativamente a la producción de leche por el desperdicio energético por parte del ganado, también aumentaría la cantidad de estrés en las vacas por lo que bajaría la calidad de la leche.

Al realizar el análisis de varianza de los datos de producción podemos sacar como conclusión principal de este estudio que realizar parcelas de zonas óptimas para el ganado no es un factor significativo que influya en la producción de leche. Aunque el análisis muestra que los datos de biomasa e índices de vegetación obtenidos son coherentes con otros estudios y con lo observado en campo, también hay que mencionar que algunos de estos datos tienen errores y pueden ser menos fiables, por errores en el muestreo en campo, errores en los modelos digitales del terreno o incluso algún error en la captura de datos multiespectrales o RGB.

Considerar la biomasa y los índices de vegetación NDVI y SAVI para implementar zonas óptimas por sí solas no es suficiente para obtener una mejora en la producción de leche por lo que podemos inferir que existen componentes iguales o más importantes como: tipo alimentación del ganado, genética, salud de las vacas, ordeño adecuado y evitar el estrés en el ganado. Estos factores deberían complementar el estudio y ser analizados junto a la implementación de este sistema de pastoreo para buscar una diferencia que realmente sea significativa en la producción lechera.

Recomendaciones

Para obtener resultados más precisos de la biomasa por parcela se recomienda tener un mayor número de puntos con el método RTK para la obtención de un mejor modelo digital de elevación y por consiguiente un mejor resultado en el volumen por parcela. Sin embargo, para realizarlo con un mayor detalle en toda el área sería demoroso por lo que también sería recomendable realizar primero un análisis en menos área con un menor número de ganado.

Para poder efectuar un correcto vuelo con el UAV Phantom 4 y la cámara Parrot Sequoia, es necesario considerar el tiempo atmosférico presente en la zona de estudio ya que la comuna se caracteriza por la presencia de lluvia y neblina al pasar medio día, es así que se recomienda realizar los vuelos en la mañana.

Se recomienda extender o continuar con el análisis de rendimiento o producción con el objetivo de obtener valores contrastables y evaluarlos a lo largo del tiempo, y en caso de encontrar un valor atípico que se puede dar por diferentes factores como clima o alimentación del ganado poder seguir el análisis de valores con datos de anteriores años.

El tiempo que duró el proceso fotogramétrico es considerable, debido a la extensión con la que se está trabajando en la comuna. Es una gran cantidad de imágenes multiespectrales y RGB con las que se debe trabajar, por lo que se debe realizar una depuración de las imágenes innecesarias, para minimizar el tiempo y memoria que se necesita emplear en el procesamiento de las imágenes.

Para que el análisis sea más efectivo se recomienda efectuar la captura de fotografías aéreas y recolección de muestras cada 40 días ya que el ciclo del crecimiento y recuperación del pasto en la comuna está determinado en ese lapso de tiempo.

Bibliografía

- Agrocalidad. (2016). *Instructivo de la Normativa General para promover y regular la producción orgánica - ecológica - biológica en el Ecuador*. <https://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/2020/05/by3.pdf>.
- Ambrosio , G., González , J., & Arévale, V. (2002). Corrección radiométrica y geométrica de imágenes para la detección de cambios en una serie temporal. *ResearchGate*, https://www.researchgate.net/publication/266478620_Correccion_Radiometrica_y_Geometrica_de_Imagenes_para_la_Deteccion_de_Cambios_en_una_Serie_Temporal_in_spanish.
- Andrade, B., & Moncayo, L. (2017). *Análisis de NDVI contrastando diferentes metodologías de toma de datos espectrales, en cultivos de pastos en etapa previa a pastoreo*. [Trabajo de titulación, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. Obtenido de <https://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/13158>
- Angón, E., García, A., Perea, J., Acero, R., Toro–Mújica, P., Pacheco, H., & & González, A. (2013). Eficiencia técnica y viabilidad de los sistemas de pastoreo de vacunos de leche en la Pampa, Argentina. *Agrociencia*, 443-456. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-31952013000500003&script=sci_arttext
- Badii, M., Castillo Rodríguez, M., Wong, A., & Villalpando, P. (2017). Diseños experimentales e investigación científica. *Innovaciones De Negocios*, 4(8), 283-330. Obtenido de <https://doi.org/10.29105/rinn4.8-5>
- Beltrán, D. (2017). *Aplicación de Índices de Vegetación para evaluar procesos de restauración ecológica en el parque forestal embalse del NEUSA [Tesis de ingeniería, Universidad Militar Nueva Granada]*. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/17210/BeltranHernandezDiegoHernan2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Bendig, J., Bolten, A., & Bareth, g. (2013). UAV-based Imaging for Multi-Temporal, very high Resolution Crop Surface Models to monitor Crop Growth Variability. *Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation*, 6, 551-562. doi:10.1127/1432-8364/2013/0200
- Booyesen, R., Gloaguen, R., Lorenz, S., Zimmermann, R., & Nex, P. (2021). Geological Remote Sensing. *Encyclopedia of Geology (Second Edition)*, 301-314. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.12127-X>
- Borrelli, P., & Oliva, G. (2004). *Efectos de los animales sobre los pastizales*. Obtenido de INTA https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-capitulotme_4.pdf
- Bustamante, A. (2017). *Implementación de un Sistema de Rotación de Pasturas en la Finca el Palmar*. [Tesis de administración, Corporación Universitaria Lasallista] <http://repository.unilasallista.edu.co/dspace/handle/10567/2383>.
- Carbajal, H., & Onofre, F. (2020). Determinación con imágenes satelitales del índice de vegetación de diferencia. *Dialnet*, 5(1), 228-245. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7659358>
- Castillo, M. (2015). *Análisis de la Productividad y competitividad de la ganadería de carne en el Litoral Ecuatoriano (Resultados de Consultoría para RIMISP – Parte I)*. Obtenido de https://www.rimisp.org/wp-content/files_mf/1437665697GanaderiaCarne_DocResultados_Final_editado.pdf
- Castro, M. (2013). *Producción y consumo de las pasturas del Rejo Lactante del Cadet. Tumbaco-Pichincha*. [Tesis de ingeniería, Universidad Central del Ecuador]. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/971/1/T-UCE-0004-9.pdf>
- Castro, N., Rúa, M., & Cristiano, G. (2020). Tecnología Pastoreo Racional Voisin: una herramienta para incrementar la productividad ganadera en el sudoeste bonaerense y contribuir con el ambiente. *Cuyonomics*, 4(6), 11-30. Obtenido de <https://revistas.uncu.edu.ar/ojs/index.php/cuyonomics/article/view/4324>

- Caviedes, M., & Albán, G. (2020). *Memorias del Simposio Internacional de Pastos y Forrajes de Clima Templado 2018*. Obtenido de <https://revistas.usfq.edu.ec/index.php/archivosacademicos/article/view/1483>
- Chelotti, J., Vanrell, S., Martinez, L., Gallib, A., Planisich, A., Utsumi, S., . . . Rufiner, L. (2020). An online method for estimating grazing and rumination bouts using acoustic signals in grazing cattle. *Elsevier*, 173, 105-443. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168169919304442>
- Collier. (2009). Photogrammetry/Aerial Photography. *International Encyclopedia of Human Geography*, 151-156. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/B978-008044910-4.00059-6>
- Cruz, G., Gonzáles, S., & Quiroz, L. (2017). Las tecnologías de la información y la comunicación en la enseñanza del pensamiento espacial en las ciencias sociales. *Redalyc*, 7(2), 92-106. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/4195/419553524005.pdf>
- Cuevas, J., & Le Quesne, C. (2005). Low vegetation recovery after short-term cattle exclusion on Robinson Crusoe Island. *Springer*, 183, 105-124. Obtenido de <https://doi.org/10.1007/s11258-005-9010-6>
- Dagnino, J. (2014). Análisis de varianza. *Revista chilena de anestesia*, 43, 306-310. Obtenido de <http://revistachilenadeanestesia.cl/PII/revchilanestv43n04.07.pdf>
- Díaz , R., Álvarez, M., Castillo, Á., Pérez, O., Cárdenas, E., & Posada, W. (2023). Estimación de la disponibilidad de forraje y de parámetros asociados a la calidad nutricional del pasto *Urochloa humidicola* cv Llanero a partir de imágenes multiespectrales. *ResearchGate*, 11(1), 61–74. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/367657372_Estimacion_de_la_oferta_de_forraje_y_la_calidad_nutricional_del_pasto_Urochloa_humidicola_cv_Llanero_partir_de_imagenes_multiespectrales

- Edirisinghe, A., Clark, D., & Waugh, D. (2012). Spatio-temporal modelling of biomass. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 16(1), 5-16. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/J.JAG.2011.11.006>
- Escribano Rodríguez, J., Hernández Díaz-Ambrona, C. G., & Tarquis Alfonso, A. M. (2014). Selección de índices de vegetación para la estimación de la producción herbácea en dehesas = Selection of vegetation indices to estimate pasture production in dehesas. *Pastos*, 44(2), 6-18. Obtenido de <http://polired.upm.es/index.php/pastos/article/view/3108>
- Espinosa, V., & Machay, L. (2016). *Agenda productiva de economía solidaria en la comuna Guagrabamba de la provincia de Pichincha. [Tesis de ingeniería, Universidad Central]*. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/9365>
- Fallas, J. (2002). *Sistema de posicionamiento global*. Heredia: Universidad Nacional. Heredia. Costa Rica. Obtenido de https://www.ucipfg.com/Repositorio/MGAP/MGAP-05/BLOQUE-ACADEMICO/Unidad-3/complementarias/Sistemas_de_posicionamiento_global.pdf
- Felicísimo, A. (1994). *Modelos Digitales del Terreno Introducción y aplicaciones en las ciencias ambientales*.
- Gómez Osorio, L., Posada Ochoa, S., Olivera Ángel, M., Rosero Noguera, R., & Aguirre Martínez, P. (2017). Análisis de rentabilidad de la producción de leche de acuerdo con la variación de la fuente de carbohidrato utilizada en el suplemento de vacas holstein. *Revista de Medicina Veterinaria*, 1(34), 9-22. Obtenido de <https://doi.org/10.19052/mv.4251>
- Gómez, A., Velásquez, F., & Jimenez, A. (2016). Agricultura de Precisión y Sensores Multiespectrales Aerotransportados. *Conference: CICI2016*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/317225959_Agricultura_de_Precision_y_Sensores_Multiespectrales_Aerotransportados

- González, P. (2015). *Levantamiento mediante GPS de una red de puntos establecidos para correlacionar los distintos espacios de la universidad en el mismo sistema de coordenadas*. [Trabajo de titulación, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE].
Obtenido de <https://repositorio.upct.es/handle/10317/4651>
- González , R., Ucán, J., Sánchez, I., Medina, R., Árcega, F., Zetina, C., & Casares, R. (2019). Drones aplicaciones en ingeniería y geociencias. *Interciencia*, 44(6), 326-331. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/339/33960068003/html/>
- Grefa, J., & Yáñez, D. (2018). *Análisis de la correlación entre el volumen y vigorosidad vegetal de pasto con las características del suelo mediante técnicas de UAV*. [Trabajo de Titulación, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. Obtenido de <https://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/14011>
- Guamán, S. (2020). *Procesamiento y restitución de imágenes capturadas por dron multirrotores a través de Photomod UAS en el sector de Alangasí*. [Tesis de ingeniería, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. Obtenido de <https://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/21884>
- Herreo, J. (2020). *Armonización de Datos de Satélite Mediante Zonas Homogéneas [Tesis doctoral, Universidad de Valladolid]*. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://www.educacion.gob.es/teseo/imprimirFicheroTesis.do?idFichero=nfVJ0aA9p7o%3D>
- IGN. (2020). *Teledetección*. Centro Nacional de Información Geográfica. Obtenido de <https://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/OBS-Teledeteccion.pdf#:~:text=La%20teledetecci%C3%B3n%20es%20la%20t%C3%A9cnica,informaci%C3%B3n%20interpretable%20de%20la%20Tierra.>
- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. (2006). Los Sistemas de Información Geográfica. *Geoenseñanza*, 11(1), 107-116 . Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=36012424010>

- Jácome, M. (2020). *Estimación de biomasa de la especie polylepis SP en la reserva ecológica El Ángel, mediante imágenes satelitales sentinel para su conservación*. [Título de ingeniería, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. Obtenido de <https://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/25963>
- Jiménez, A., Pérez, J., & Carrillo, J. (2014). Integración de las Tecnologías Geoespaciales como herramientas docentes en Ciencias de la Tierra. *ResearchGate*, 239-250
https://www.researchgate.net/publication/286448574_Integracion_de_las_Tecnologias_Geoespaciales_como_herramientas_docentes_en_Ciencias_de_la_Tierra#:~:text=Las%20Tecnolog%C3%ADas%20Geoespaciales%20son%20tecnolog%C3%ADas,trabajan%20con%20datos%20es.
- Labrador, M., Évora, G., & Arbelo, M. (2012). *Satélites de teledetección para la gestión del territorio*. España: La Laguna.
- León, R., Bonifaz, N., & Gutiérrez, F. (2018). *Pastos y forrajes del Ecuador: siembra y producción de pasturas*. Universidad Politécnica Salesiana. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19019>
- Li, J., Ling, M., Shui, J., Huang, S., Dan, J., Gou, B., & Wu, Y. (2022). Smart Grazing in Tibetan Plateau: Development of a Ground-Air-Space Integrated Low-Cost Internet of Things System for Yak Monitoring. *Wireless Communications and Mobile Computing, 2022*. Obtenido de <https://doi.org/10.1155/2022/1870094>
- López, S. (2021). *Evaluación de sistemas PPK/RTK/NTRIP incorporados en UAV para la generación de ortomosaicos, MDT's y cartografía a escala 1:1000 en el sector de la Vicentina*. [Tesis de ingeniería, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. Obtenido de <https://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/26031>
- Lora, J. (2016). *Comparativa de sensores espaciales de diferente resolución espectral en la exploración minera [Tesis de maestría, Escola Politècnica Superior d'Enginyeria de Manresa]*. Repositorio Institucional. Obtenido de

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/96828/lora%20lopez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Lu, D. (2006). The potential and challenge of remote sensing-based biomass estimation.

International Journal of Remote, 27(7), 1297-1328. Obtenido de

<https://doi.org/10.1080/01431160500486732>

Manosalvas, S. (2019). *Diseño e implementación de un sensor multiespectral para un vehículo*

aéreo no tripulado que ayude a la agricultura de precisión. [Tesis de ingeniería,

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. Obtenido de

<https://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/20789>

Marcos Robles, J., Gil Docampo, M., Ortiz Sanz, J., Martínez Rodríguez, S., Garrido Larnaga,

F., Sánchez Sastre, L. F., . . . Ortiz Sanz, L. (2016). Determinación de biomasa en

parcelas de cultivos herbáceos mediante cámaras ópticas elevadas por medio de

vehículos aéreos no tripulados (UAV). *CIAIQ2016*, 4, 95-103. Recuperado el 2022, de

CIAIQ2016

Martínez, E., & Yanchatipán, L. (2020). *Estudio de la variabilidad espectral del chocho (Lupinus*

mutabilis sweet), mediante el uso de sensores activos y pasivos por efecto de la adición

de quelatos y nanofertilizantes. [Tesis de ingeniería, Universidad de las Fuerzas

Armadas ESPE]. Obtenido de <https://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/20789>

Medina, A. (2017). *Procesado de imágenes de satélites de alta resolución para la clasificación*

de especies vegetales en espacios naturales protegidos [Tesis de doctorado,

Universidad de las Palmas de Gran Canaria]. Obtenido de

<https://accedacris.ulpgc.es/handle/10553/54050>

Mendoza, C., Pabón, M., & Carulla, J. (2011). Variaciones diarias de la oferta forrajera, efecto

sobre la producción y calidad de la leche. *MVZ Córdoba*, 16(3), 2721-2732

<http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0122->

[02682011000300009&script=sci_abstract&tlng=es.](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0122-02682011000300009&script=sci_abstract&tlng=es)

- Mesas, F. (2012). *Análisis y estudio de independencia espectral entre sensores espaciales y aerotransportados: integración con LiDAR*. [Tesis Doctoral, Universidad de Córdoba].
Obtenido de <https://helvia.uco.es/xmlui/handle/10396/7667>
- Moncayo, L., Rivadeneira, J., Andrade, B., Leiva, C., Sinde, I., Yépez, J., . . . Toulkeridis, T. (2018). A NDVI Analysis Contrasting Different Spectrum Data Methodologies Applied in Pasture Crops Previous Grazing – A Case Study from Ecuador. *International Conference on eDemocracy & eGovernment (ICEDEG)*, 126-135. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/325635438_A_NDVI_Analysis_Contrasting_Different_Spectrum_Data_Methodologies_Applied_in_Pasture_Crops_Previous_Grazing_-_A_Case_Study_from_Ecuador
- Mora, M., & Cañarte, D. (2017). *Relación de la variación espectral mediante índices de vegetación en quinua (Chenopodium quinoa) en un ensayo controlado y un cultivo comercial*. [Tesis de ingeniería, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. Obtenido de <https://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/13713>
- Moreno, G., Cajamarca, J., & Tenicota, A. (2020). Agricultura de Precisión: Preprocesamiento y Segmentación de Imágenes para Obtención de una Ruta de Navegación Autónoma Terrestre. *SCIELO*, 44(2), 8. Obtenido de http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-01292019000500043#:~:text=La%20tecnolog%C3%ADa%20conocida%20como%20agricultura,por%20un%20proceso%20siembra%2Dcosecha
- Morón, L. (2009). Ventajas y desventajas de los sistemas de pastoreo y confinamiento en la producción de carne en raza cebú en el departamento del Cesar. *Ciencia Unisalle*.
Obtenido de https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1303&context=medicina_veterinaria

- Moyao , G., Vázquez, R., Ramos, R., & Nájera, A. (2021). Cálculo de Índices de Vegetación NDVI y SAVI a partir de imágenes multiespectrales obtenidas con un dron. *ResearchGate*, 13(4), 9. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/351837842_Calculo_de_Indices_de_Vegetacion_NDVI_y_SAVI_a_Partir_de_Imagenes_Multiespectrales_Obttenidas_con_un_Dron
- Muñoz, P. (2013). *Centro de información de Recursos Naturales*. Obtenido de Ciren: <https://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/26389>
- Naciones Unidas. (2015). Obtenido de Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Naciones Unidas. (2020). *Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2020*. ONU. Obtenido de https://unstats.un.org/sdgs/report/2020/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2020_Spanish.pdf
- Ochoa, O. (2015). *Implementación de un sistema de adquisición de imágenes multiespectrales, para integración en un vehículo aéreo no tripulado*. [Tesis de ingeniería, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. Obtenido de <https://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/10481>
- Paredes, J., González, J., Saito, C., & Flores, A. (2017). Multispectral imaging system with UAV integration capabilities for crop analysis. *2017 First IEEE International Symposium of Geoscience and Remote Sensing (GRSS-CHILE)*, 1-4. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7996009>
- Pereira, E., Lamela, L., & Ripoll, J. (1990). Evaluación de pastos para la producción de leche, guinea (Likoni y común) y pasto estrella cv. Tocumen. *Pastos y Forrajes*, 13(1), 67-77. Obtenido de [https://payfo.ihatuey.cu/index.php?journal=pasto&page=article&op=view&path\[\]=1292](https://payfo.ihatuey.cu/index.php?journal=pasto&page=article&op=view&path[]=1292)
- Pérez, A., & Segui, M. (2021). *Simulación del impacto de la variabilidad interanual de la oferta forrajera sobre el resultado productivo y económico de un sistema de cría en el Partido*

- de Ayacucho [Tesis de licenciatura, UNCPBA]. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://www.ridaa.unicen.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/123456789/2688/PEREZ%20AL EJANDRA%20LILIANA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Pérez, P., & Steven, G. (2018). *Contraste de los índices de vegetación por radiometría en relación a la digestibilidad in situ de dos gramíneas forrajeras*. [Trabajo de Titulación, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE] . Obtenido de <https://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/15868>
- Pino, E. (2019). Los drones una herramienta para una agricultura eficiente: un futuro de alta tecnología. *SCIELO*, 37(1). Obtenido de https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292019000100075
- Portilla, F. (2018). Introducción. In: Agroclimatología del Ecuador. *Scielo*, 17- 40. Obtenido de <https://books.scielo.org/id/nw2rh/pdf/portilla-9789978104927-01.pdf>
- Pucha, F. (2019). Correlación entre el NDVI y el crecimiento anual de especies forestales al Sur del Ecuador. *ResearchGate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/337089939_Correlacion_entre_el_NDVI_y_el_crecimiento_anual_de_especies_forestales_al_Sur_del_Ecuador
- Qin, Q., Xu, D., Hou, L., Shen, B., & Xin, X. (2021). Comparing vegetation indices from Sentinel-2 and Landsat 8 under different vegetation gradients based on a controlled grazing experiment. *Elsevier*, 133, 108-363. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108363>
- República del Ecuador. (2021). *Constitución de la República del Ecuador*. https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/02/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador_act_ene-2021.pdf.
- Resolución No. 002-2021-CNP. ([*Consejo Nacional de Planificación*]). Plan Nacional de Desarrollo 2021, 2025. 23 de septiembre de 2021.

- Ríos, R. (2020). La Agricultura de Precisión. Una necesidad actual. *IAgric*, 11(1). Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/5862/586269368010/html/>
- Rodríguez, J. (2017). *Índices de vegetación a partir de datos obtenidos mediante sistemas VANT [Tesis de ingeniería, Universidad Técnica Particular de Loja]*. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/20.500.11962/20670/1/Rodr%C3%ADguez%20Cabrera%2C%20Julio%20Cesar..pdf>
- Rojas Cárdenas, L., & Rojas Cortés, L. (2000). Exploración al diseño experimental. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 9, 51-59. Obtenido de <https://doi.org/10.18359/rcin.1688>
- Ruiz, F., & Janica, H. (2012). *Efectos ambientales y socio-económicos del sistema de producción ganadero con enfoque ambientalmente sostenible y el sistema tradicional [Tesis de maestría, Universidad Javeriana]*. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/2505/RuizSoleraFlorAngela2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- SCDB. (2011). *Pastoreo, conservación de la naturaleza y desarrollo*. Obtenido de <https://www.cbd.int/development/doc/cbd-good-practice-guide-pastoralism-booklet-web-es.pdf>.
- Secretaria Técnica Planifica Ecuador. (2021). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial, Documento ejecutivo para autoridades provinciales*. Quito.
- Sinde, I., Gil, M., Arza, M., Grefa, J., Yáñez, D., Pérez, P., & Abril, V. (2021). Biomass estimation of pasture plots with multitemporal UAV-based photogrammetric surveys. *Elsiever*, 101, 102-355.
- Sinde, I., Gil-Docampo, M., Arza, M., Grefa, J., Yanéz, D., Pérez, P., & Abril, V. (2021). Biomass estimation of pasture plots with multitemporal UAV-based photogrammetric surveys. *ScienceDirect*, 101, 1-11. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0303243421000623>

- Sinde, I., Gil-Docampo, M., Grefa, L., Arza, M., & Yáñez, D. (2020). Estimación del rendimiento del pasto mediante NDVI calculado a partir de imágenes multiespectrales de vehículos aéreos no tripulados (UAV). *ResearchGate*, 17(1), 25-38. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/343869833_ESTIMACION_DEL_RENDIMIENTO_DEL_PASTO_MEDIANTE_NDVI_CALCULADO_A_PARTIR_DE_IMAGENES_MULTIESPECTRALES_DE_VEHICULOS_AEREOS_NO_TRIPULADOS_UAV
- SNI. (2015). *Caracterización de la parroquia Aloag*. Seretaria Nacional de Planificación. Obtenido de <https://multimedia.planificacion.gob.ec/PDOT/descargas.html>
- Soto, C. (2014). *Establecimiento de un sistema de pastoreo Voisin y evaluación de la productividad forrajera en una finca de ceba en Puerto Berrio Antioquia [Tesis de maestría, Corporación Universitaria Lasallista]*. Repositorio Institucional http://repository.unilasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/1505/1/Establecimiento_sistema_pastoreo_Voisin_Puerto_Berrio_Antioquia.pdf.
- Terán, J. (2015). *Evaluación entre dos sistemas de pastoreo para ganado lechero (Bos taurus) en Machachi, Pichincha [Tesis de ingeniería, Universidad San Francisco de Quito USFQ]*. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/5041/1/122435.pdf>
- Triminio, A. (2020). *Pastoreo Racional Voisin (PRV) como un sistema de producción sostenible [Tesis de licenciatura, Escuela Agrícola Panamericana]*. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://bdigital.zamorano.edu/items/c95fbe56-6493-472c-abd7-55a902feb4ac>
- Tu, R., Lui, J., Zhang, R., Zhang, P., Huang, X., & Lu, X. (2019). RTK model and positioning performance analysis using Galileo four-frequency observations. *Advances in Space Research*, 63(2), 913-926. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.asr.2018.10.011>

Zambrano , L., Pamela, A., & Paulina, P. (2018). Multitemporal Analysis of vegetation change at Chimborazo Reserve as a result of climate change. *Enfoque UTE*, 9(2), 125-137
<https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v9n2.252>.