

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN HORTICULTURA**



**“DETECCIÓN DEL ESTADO HÍDRICO EN PLANTAS DE
VID MEDIANTE TELEDETECCIÓN TÉRMICA Y
MULTIESPECTRAL BAJO DIFERENTES REGÍMENES DE
RIEGO”**

Presentada por:

MERY LIZBETH PARRA GARZÓN

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO
MAGISTER SCIENTIAE EN HORTICULTURA**

Lima – Perú

2023

DETECCIÓN DEL ESTADO HÍDRICO EN PLANTAS DE VID MEDIANTE TELEDETECCIÓN TÉRMICA Y MULTIESPECTRAL BAJO DIFERENTES REGÍMENES DE RIEGO

INFORME DE ORIGINALIDAD

5%

INDICE DE SIMILITUD

5%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

1%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	link.springer.com Fuente de Internet	1%
2	repositorio.upec.edu.ec Fuente de Internet	1%
3	ruidera.uclm.es Fuente de Internet	1%
4	creativecommons.org Fuente de Internet	1%
5	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	TM Lebiso, MM Mada. "Determination of optimum irrigation scheduling for sorghum in Benna-Tsemay Woreda, Southern Ethiopia", International Journal of Agricultural Research, Innovation and Technology, 2022 Publicación	1%

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN HORTICULTURA**

**“DETECCIÓN DEL ESTADO HÍDRICO EN PLANTAS DE
VID MEDIANTE TELEDETECCIÓN TÉRMICA Y
MULTIESPECTRAL BAJO DIFERENTES REGÍMENES DE
RIEGO”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO
MAGISTER SCIENTIAE**

Presentada por:

MERY LIZBETH PARRA GARZÓN

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Mg.Sc. Gilberto Rodríguez Soto
PRESIDENTE

Dr. Jorge Escobedo Álvarez
ASESOR

M.Sc. Juan Carlos Brignardello Barreda
CO- ASESOR

Mg.Sc. Alejandro Ari Pacheco Avalos
MIEMBRO

Mg.Sc. Juan Carlos Jaulis Cancho
MIEMBRO

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación está dedicado a mi familia por su amor, paciencia, consejos y apoyo incondicional ante las diferentes circunstancias de la vida, a Dios por regalarme la oportunidad de ser parte de este proceso académico y regalarme esta experiencia de vida.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Agraria la Molina - UNALM – por permitirme realizar mis estudios de Maestría en esta extraordinaria institución, que aporta experiencia de vida y conocimiento académico.

Al M.S. Juan Carlos Brignardello Barreda por permitirme ser parte del proyecto de investigación, así como por la confianza, asesoría, amistad y apoyo en la ejecución del proyecto.

Al Dr. Jorge Escobedo Álvarez por brindarme todo el apoyo y asesoría como director de tesis parte fundamental para culminación la investigación.

Mg.Sc. Ing. Alejandro Ari Pacheco Avalos por su recomendaciones, sugerencias y orientación frente a la realización de este proyecto de investigación.

A los miembros del jurado por su asesoramiento, consejo y apoyo frente a la revisión de la investigación.

A los ingenieros Andrés Flores, Carlos Saíto, Mario Balcázar por el apoyo, asesoría, acompañamiento continuo y aportes en la ejecución de la investigación.

A la Universidad Católica del Perú por apoyar el proyecto.

Al personal técnico y de campo de la empresa Vitícola SAC por su oportuno apoyo en las diferentes labores de campo.

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1	CULTIVO DE VID	4
2.1.1.	GENERALIDADES	4
2.1.2.	CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA	4
2.1.3.	CARACTERÍSTICAS DE <i>VITIS VINIFERA</i>	5
2.1.4.	PRINCIPALES VARIEDADES DE UVA DE MESA EN EL PERÚ	5
2.2.	EL AGUA COMO FACTOR FUNDAMENTAL EN LAS PLANTAS	7
2.2.1.	EL AGUA EN LA VID	9
2.3.	TELEDETECCIÓN	10
2.3.1.	IMÁGENES MULTIESPECTRALES	11
2.3.2.	ÍNDICES DE VEGETACIÓN	12
2.3.3.	IMÁGENES TÉRMICAS.....	15
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
3.1.	UBICACIÓN	16
3.2.	MATERIALES Y EQUIPOS	17
3.2.1.	MATERIAL VEGETAL.....	17
3.2.2.	MATERIALES Y EQUIPOS	18
3.3.	METODOLOGÍA	18
3.3.1.	TRATAMIENTOS	18
3.4.	DISEÑO ESTADÍSTICO	22
3.5.	MEDICIONES	22
3.5.1.	CAPTURA Y PROCESAMIENTO DE IMÁGENES MULTIESPECTRALES Y TÉRMICAS	22
3.5.2.	ESTADO HÍDRICO DE LAS PLANTAS	25
3.5.3.	RENDIMIENTO DE MATERIA SECA EN MATERIAL DE PODA	26
3.5.4.	COSECHA.....	27
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
4.1.	REPUESTA MULTIESPECTRAL	29
4.1.1.	RESPUESTA MULTIESPECTRAL OBTENIDA PARA ‘SWEET CELEBRATION’	30
4.1.3.	RESPUESTA MULTIESPECTRAL OBTENIDA PARA ‘SWEET SAPPHIRE’	35
4.2.	REPUESTA TÉRMICA.....	38
4.2.1.	RESPUESTA TÉRMICA OBTENIDA PARA ‘SWEET CELEBRATION’	39
4.2.2.	RESPUESTA TÉRMICA OBTENIDA PARA ‘SWEET SURPRISE’	41
4.2.3.	RESPUESTA TÉRMICA OBTENIDA PARA ‘SWEET SAPPHIRE’	43
4.3.	RENDIMIENTO DE MATERIA SECA EN MATERIAL DE PODA	47
4.3.1.	RESULTADOS DE RENDIMIENTO DE MATERIA SECA OBTENIDOS PARA ‘SWEET CELEBRATION’	47

4.3.2.	RESULTADOS RENDIMIENTO DE MATERIA SECA OBTENIDOS PARA ‘SWEET SURPRISE’	48
4.3.3.	RESULTADOS DE RENDIMIENTO MATERIA SECA OBTENIDOS PARA ‘SWEET SAPPHIRE’	49
4.4.	EFFECTO DE LOS REGIMENES DE RIEGO SOBRE LA PRODUCCIÓN.....	51
4.4.1.	PRODUCCIÓN OBTENIDA PARA ‘SWEET CELEBRATION’	51
4.4.2.	PRODUCCIÓN OBTENIDA PARA ‘SWEET SURPRISE’	52
4.4.3.	PRODUCCIÓN OBTENIDA PARA ‘SWEET SAPPHIRE’	53
4.5.	EFFECTO DE LOS REGÍMENES DE RIEGO SOBRE EL COLOR DE LAS BAYAS	54
4.5.1.	COLOR DE LAS BAYAS PARA ‘SWEET CELEBRATION’	54
4.5.2.	COLOR DE LAS BAYAS PARA ‘SWEET SURPRISE’	55
4.5.3.	COLOR DE LAS BAYAS PARA ‘SWEET SAPPHIRE’	56
4.6.	EFFECTO DE LOS REGÍMENES DE RIEGO SOBRE EL TAMAÑOS DE LAS BAYAS	58
4.6.1.	TAMAÑO DE LAS BAYAS PARA ‘SWEET CELEBRATION’	58
4.6.2.	TAMAÑO DE LAS BAYAS PARA ‘SWEET SURPRISE’	59
4.6.3.	TAMAÑO DE LAS BAYAS PARA ‘SWEET SAPPHIRE’	60
V.	CONCLUSIONES	62
VI.	RECOMENDACIONES	63
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
VIII.	ANEXOS	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de los tratamientos.....	19
Tabla 2. Estado fenológico de las plantas de vid durante la ejecución de los vuelos con el drone y la captura de las imágenes multiespectrales y térmicas	24

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Vista general del área experimental; (A) área experimental correspondiente a ‘Sweet Celebration’; (B) área experimental correspondiente a ‘Sweet Surprise’;(C) área experimental correspondiente a ‘Sweet Sapphire’	16
Figura 2. Vista general (bayas) de los cultivares empleados en el experimento (a) ‘Sweet Celebration’, (b) ‘Sweet Surprise’ y (c) ‘Sweet Sapphire’	17
Figura 3. Conformación de las unidades experimentales	20
Figura 4. Estación meteorológica Vantage Pro2	21
Figura 5. Vista general del dron de ala fija, tipo Skywalker	22
Figura 6. Vista general de: (a) cámara multispectral mica sense Rededge; (b) cámara térmica FLIR pro R	23
Figura 7. Vista general de la ruta de vuelo diseñada para sobrevolar el área experimental. 24	
Figura 8. Cámara Scholander PMS de bombeo manual	25
Figura 9. Vista general de (a) ubicación de las bolsas de plástico aluminizado usadas para medir el potencial hídrico, dentro de la parcela experimental (b) colocación de la muestra foliar dentro de la cámara Scholander PMS de bombeo manual.....	26
Figura 10. Vista general de (a) Área de tratamiento (b) material de poda	27
Figura 11. Vista general del producto cosechado.....	28
Figura 12. (A) Valor promedio NDVI para ‘Sweet Celebration’; (B) Ψ potencial hídrico en hoja. Donde: T1 (60 por ciento - ETc), T2 (80 por ciento - ETc), T3 (100 por ciento - ETc), T4 (120 por ciento - ETc), y T5 (140 por ciento - ETc).....	30
Figura 13. Correlación entre NDVI y Ψ en hoja para ‘Sweet Celebration’	32

Figura 14. (A) Valor promedio NDVI para ‘Sweet Surprise’; y (B) Ψ potencial hídrico en hoja. Donde: T1 (60 por ciento - ETc), T2 (80 por ciento - ETc), T3 (100 por ciento - ETc), T4 (120 por ciento - ETc), y T5 (140 por ciento - ETc).....	33
Figura 15. Correlación entre NDVI y Ψ en hoja, para ‘Sweet Surprise’	34
Figura 16. (A) Valor promedio NDVI calculado para ‘Sweet Sapphire’; y (B) Ψ potencial hídrico en hoja. Donde: T1 (60 por ciento - ETc), T2 (80 por ciento - ETc), T3 (100 por ciento - ETc), T4 (120 por ciento - ETc), y T5 (140 por ciento - ETc).....	35
Figura 17. Correlación entre NDVI y Ψ en hoja para ‘Sweet Sapphire’	36
Figura 18. Mosaicos térmicos obtenidos a partir de imágenes térmicas captadas con una cámara Flir pro R.....	38
Figura 19. (A) Valor promedio de la temperatura registrada por la cámara Flir en ‘Sweet Celebration’ (B) potencial hídrico (Ψ). Donde: T1 (60 por ciento - ETc), T2 (80 por ciento - ETc), T3 (100 por ciento - ETc), T4 (120 por ciento - ETc) y T5 (140 por ciento - ETc)...	39
Figura 20. Correlación temperatura promedio del dosel y Ψ para ‘Sweet Celebration’	40
Figura 21. (A) Valor promedio de la temperatura registrada por la cámara Flir en ‘Sweet Surprise’; (B) Ψ en hoja. Donde: T1 (60 por ciento -ETc), T2 (80 por ciento - ETc), T3 (100 por ciento - ETc), T4 (120 por ciento - ETc) y T5 (140 por ciento - ETc)	42
Figura 22. Correlación entre Temperatura del dosel y Ψ en hoja para ‘Sweet Surprise’	43
Figura 23. (A) Valor promedio de la temperatura registrada por la cámara Flir en ‘Sweet Sapphire’; (B) Ψ en hoja. Donde: T1 (60 por ciento - ETc), T2 (80 por ciento - ETc), T3 (100 por ciento - ETc), T4 (120 por ciento - ETc) y T5 (140 por ciento - ETc)	44
Figura 24. Correlación entre Temperatura del dosel y Ψ en hoja para ‘Sweet Sapphire’	45
Figura 25. Materia seca medido antes y después del establecimiento de los tratamientos para ‘Sweet Celebration’. Donde: T1 (60 por ciento - ETc), T2 (80 por ciento - ETc), T3 (100 por ciento - ETc), T4 (120 por ciento - ETc), y T5 (140 por ciento - ETc).....	47

Figura 26. Porcentaje de Materia seca medido antes y después del establecimiento de los tratamientos para ‘Sweet Surprise’ Donde: T1 (60 por ciento - ETc), T2 (80 por ciento - ETc), T3 (100 por ciento - ETc), T4 (120 por ciento - ETc), y T5 (140 por ciento - ETc)..... 48

Figura 27. Porcentaje de materia seca medido antes y después del establecimiento de los tratamientos para ‘Sweet Sapphire’. Donde: T1 (60 por ciento - ETc), T2 (80 por ciento - ETc), T3 (100 por ciento - ETc), T4 (120 por ciento - ETc), y T5 (140 por ciento - ETc).. 49

Figura 28. Producción promedio (kg/planta) para ‘Sweet Celebration’. Donde: T1 (60 por ciento - ETc), T2 (80 por ciento - ETc), T3 (100 por ciento - ETc), T4 (120 por ciento - ETc), y T5 (140 por ciento - ETc)..... 51

Figura 29. Producción promedio (kg/planta) para ‘Sweet Surprise’. Donde: T1 (60 por ciento - ETc), T2 (80 por ciento - ETc), T3 (100 por ciento - ETc), T4 (120 por ciento - ETc), y T5 (140 por ciento - ETc) 52

Figura 30. Producción promedio (kg/planta) para ‘Sweet Sapphire’. Donde: T1 (60 por ciento - ETc), T2 (80 por ciento - ETc), T3 (100 por ciento - ETc), T4 (120 por ciento - ETc), y T5 (140 por ciento - ETc) 53

Figura 31. Porcentaje coloración del fruto para ‘Sweet Celebration’ Donde: T1 (60 por ciento - ETc), T2 (80 por ciento - ETc), T3 (100 por ciento - ETc), T4 (120 por ciento - ETc), y T5 (140 por ciento - ETc) 54

Figura 32. Porcentaje coloración del fruto para ‘Sweet Surprise’ Donde: T1 (60 por ciento - ETc), T2 (80 por ciento - ETc), T3 (100 por ciento - ETc), T4 (120 por ciento - ETc), y T5 (140 por ciento - ETc) 55

Figura 33. Porcentaje coloración del fruto para ‘Sweet Sapphire’ Donde: T1 (60 por ciento - ETc), T2 (80 por ciento - ETc), T3 (100 por ciento - ETc), T4 (120 por ciento - ETc), y T5 (140 por ciento - ETc) 56

Figura 34. Tamaño de las bayas para el cultivar ‘Sweet Celebration’ (Barras: calibre en mm; línea: proporción de la fruta según los calibres) Donde: T1 (60 por ciento - ETc), T2 (80 por ciento - ETc), T3 (100 por ciento - ETc), T4 (120 por ciento - ETc), y T5 (140 por ciento - ETc). 58

Figura 35. Tamaño de las bayas para el cultivar ‘Sweet Surprise’ (Barras: calibre en mm; línea: proporción de la fruta según los calibres) Donde: T1 (60 por ciento - ETc), T2 (80 por

ciento - ETc), T3 (100 por ciento - ETc), T4 (120 por ciento - ETc), y T5 (140 por ciento - ETc) 59

Figura 36. Tamaño de las bayas para el cultivar ‘Sweet Sapphire’ (Barras: calibre en mm; línea: proporción de la fruta según los calibres) Donde: T1 (60 por ciento - ETc), T2 (80 por ciento - ETc), T3 (100 por ciento - ETc), T4 (120 por ciento - ETc), y T5 (140 por ciento - ETc) 60

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Análisis de varianza para NDVI (primer sobrevuelo de ‘Sweet Celebration’)	79
Anexo 2. Análisis de varianza para NDVI (segundo sobrevuelo de ‘Sweet Celebration’)..	79
Anexo 3. Análisis de varianza para NDVI (primer sobrevuelo de ‘Sweet Surprise’).....	79
Anexo 4. Análisis de varianza para NDVI (segundo sobrevuelo de ‘Sweet Surprise’).....	80
Anexo 5. Análisis de varianza para NDVI (primer sobrevuelo de ‘Sweet Sapphire’).....	80
Anexo 6. Análisis de varianza para NDVI (segundo sobrevuelo de ‘Sweet Sapphire’).....	80
Anexo 7. Análisis de varianza del potencial hídrico medido en ‘Sweet Celebration’	81
Anexo 8. Análisis de varianza del potencial hídrico medido en ‘Sweet Surprise’	81
Anexo 9. Análisis de varianza del potencial hídrico medido en ‘Sweet Sapphire’	81
Anexo 10. Análisis de varianza de la temperatura registrada por la cámara Flir (primer sobrevuelo en ‘Sweet Celebration’)	82
Anexo 11. Análisis de varianza de la temperatura registrada por la cámara Flir (segundo sobrevuelo en ‘Sweet Celebration’)	82
Anexo 12. Análisis de varianza de la temperatura registrada por la cámara Flir (primer sobrevuelo en ‘Sweet Surprise’).....	82
Anexo 13. Análisis de varianza de la temperatura registrada por la cámara Flir (segundo sobrevuelo en ‘Sweet Surprise’).....	83
Anexo 14. Análisis de varianza de la temperatura registrada por la cámara Flir (primer sobrevuelo en ‘Sweet Sapphire’).....	83
Anexo 15. Análisis de varianza de la temperatura registrada por la cámara Flir (segundo sobrevuelo en ‘Sweet Sapphire’).....	83

Anexo 16. Análisis de varianza peso del producto cosechado (kg) ‘Sweet Celebration’	84
Anexo 17. Análisis de varianza peso del producto cosechado (kg) ‘Sweet Surprise’	84
Anexo 18. Análisis de varianza peso del producto cosechado (kg) ‘Sweet Sapphire’	84
Anexo 19. Análisis de varianza de la producción de materia seca en poda, antes del establecimiento de los tratamientos, ‘Sweet Celebration.	85
Anexo 20. Análisis de varianza de la producción de materia seca, posterior al establecimiento de los tratamientos, ‘Sweet Celebration’	85
Anexo 21. Análisis de varianza de la producción de materia seca, antes del establecimiento de los tratamientos, ‘Sweet Surprise’	85
Anexo 22. Análisis de varianza de la producción de materia seca, posterior al establecimiento de los tratamientos, ‘Sweet Surprise’	86
Anexo 23. Análisis de varianza de la producción de materia seca, antes del establecimiento de los tratamientos, ‘Sweet Sapphire’	86
Anexo 24. Análisis de varianza de la producción de materia seca, posterior al establecimiento de los tratamientos, ‘Sweet Sapphire’	86
Anexo 25. Índice de vegetación NDVI del primer sobrevuelo ‘Sweet Celebration’	87
Anexo 26. Índice de vegetación NDVI del segundo sobrevuelo ‘Sweet Celebration’	87
Anexo 27. Índice de vegetación NDVI del primer sobrevuelo ‘Sweet Surprise’	87
Anexo 28. Índice de vegetación NDVI del segundo sobrevuelo ‘Sweet surprise’	88
Anexo 29. Índice de vegetación NDVI del primer sobrevuelo ‘Sweet Sapphire’	88
Anexo 30. Índice de vegetación NDVI del segundo sobrevuelo ‘Sweet Sapphire’	88
Anexo 31. Peso del producto cosechado ‘Sweet Celebration’ (kg)	89

Anexo 32. Peso del producto cosechado ‘Sweet Surprise’ (kg).....	89
Anexo 33. Peso del producto cosechado ‘Sweet Sapphire’ (kg).....	89
Anexo 34. Rendimiento de materia seca en material de poda (MS (A)) y después (MS(D)) del establecimiento de los tratamientos para ‘Sweet Celebration’	90
Anexo 35. Rendimiento de materia seca en material de poda (MS (A)) y después (MS(D)) del establecimiento de los tratamientos para ‘Sweet Surprise’	90
Anexo 36. Rendimiento de materia seca en material de poda (MS (A)) y después (MS(D)) del establecimiento de los tratamientos para ‘Sweet Sapphire’	91
Anexo 37. Imágenes del NDVI (primer sobrevuelo para el ‘Sweet Celebration’).....	91
Anexo 38. Imágenes del NDVI (segundo sobrevuelo para el ‘Sweet Celebration’).....	92
Anexo 39. Imágenes del NDVI (primer sobrevuelo para ‘Sweet Surprise’).....	92
Anexo 40. Imágenes del NDVI (segundo sobrevuelo para ‘Sweet Surprise’).....	93
Anexo 41. Imágenes del NDVI (primer sobrevuelo para ‘Sweet Sapphire’).....	93
Anexo 42. Imágenes del NDVI (segundo sobrevuelo para ‘Sweet Sapphire’)	94

RESUMEN

El uso de herramientas como la teledetección aplicada a la agricultura permiten monitorear y diagnosticar diversos aspectos de los cultivos. Ello basado en que las plantas tienen una respuesta espectral y térmica según la condición en la que se encuentren. La presente investigación tuvo como objetivo determinar el estado hídrico en plantas de vid mediante la interpretación de imágenes multiespectrales y térmicas captadas con un dron; por lo cual se empleó el sensoramiento remoto para determinar el estado hídrico de tres cultivares de uva de mesa 'Sweet Celebration', 'Sweet Surprise' y 'Sweet Sapphire'. Los cultivares fueron sometidos a diferentes regímenes de riego para luego ser monitoreados a través de imágenes multiespectrales y térmicas. También, se identificaron los efectos de los regímenes de riego sobre el producto cosechado. Cada cultivar se evaluó con un diseño estadístico de bloques completamente al azar con 5 tratamientos y 3 repeticiones; donde: T1 (60 por ciento - ETc), T2 (80 por ciento - ETc), T3 (100 por ciento - ETc), (T4 por ciento - ETc), y T5 (140 por ciento - ETc). Las imágenes multiespectrales se analizaron mediante el cálculo del NDVI, mientras que para las imágenes térmicas se determinó la temperatura de la superficie del dosel; finalmente se evaluó el producto cosechado cualitativa y cuantitativamente. Al evaluar la respuesta específica de las plantas frente a los diferentes regímenes de riego, el índice NDVI y la temperatura estimada no mostraron una variación estadísticamente significativa (nivel de significancia - 0.01). La tendencia fue la misma para los tres cultivares, se observó que las plantas bajo déficit hídrico mostraron los valores NDVI más bajos y las temperaturas más altas, con hasta 4.2 °C por encima de los demás tratamientos. Respecto al producto cosechado, los tratamientos bajo déficit hídrico mostraron la menor producción, así como una notable pérdida de tamaño de las bayas y mayor intensidad en el color. Del estudio se concluye, que mediante el cálculo NDVI y la determinación de la temperatura foliar es posible definir valores de referencia según la condición hídrica que se presente; respecto a la productividad y los parámetros de calidad como el tamaño y el color de las bayas se pueden ver afectadas dependiendo de la sensibilidad de cada cultivar a las variaciones hídricas.

Palabras clave: imágenes multiespectrales, imágenes térmicas, uva de mesa, drones, agua.

SUMMARY

The remote sensing tools use in agriculture allows monitoring and diagnosing different aspects crops because to plants have a spectral response that depends on its condition. The aim of the study was to determine water status vine plants by interpreting multispectral and thermal images captured with a drone; Therefore, remote sensing was used to determine 'Sweet Celebration', 'Sweet Surprise' and 'Sweet Sapphire' water condition. The plants were subjected to different irrigation regimes, them were being monitored through multispectral and thermal interpretation, at par the effects of irrigation regimes on the harvested product were identified. It was applicated a completely randomized block statistical design with 5 treatments and 3 blocks; where: T1 (60 percent - ET), T2 (80 percent - ET), T3 (100 percent - ET), T4 (120 percent - ET), y T5 (140 percent - ET). The multispectral images were analyzed by calculating the Normalized Differential Vegetation Index (NDVI), in the thermal images the temperature of the canopy surface was determined. Harvested product was evaluated qualitatively and quantitatively. The different irrigation regimes, the NDVI index, and the estimated temperature didn't show statistically significant differences (with a significance level of 0.01). It was observed that the plants with a water deficit showed the lowest NDVI values and the highest temperatures, with up to 4.2 °C above the other treatments, respect the harvested product, the treatments with water deficit showed the lowest production, loss of berry size, and uniformity in color. In conclusion, NDVI and the determination of leaf temperature it is possible to determine reference values according to the water status; regarding productivity and quality parameters can be affected depending on the sensitivity of each cultivar to water variations.

Keywords: multispectral imaging, thermal imaging, grapes, drones, water.

I. INTRODUCCIÓN

En el Perú el cultivo de vid (*Vitis vinifera*) muestra una tendencia positiva en la producción y un crecimiento en los mercados extranjeros, llegando a contar con 20 mil hectáreas cultivadas con fines de exportación; siendo las regiones de Ica y Piura las principales zonas productoras del país (INEI 2022). A pesar de que la costa peruana presenta el mayor desarrollo agrícola del país debido a sus condiciones climáticas privilegiadas, actualmente se enfrenta a una menor disponibilidad del recurso hídrico, lo que constituye un gran obstáculo para el sector agrícola (Hendriks y Boelens 2016). La baja disponibilidad de agua, particularmente en regiones como Ica ha conllevado a la sobre -explotación de las aguas subterráneas (Muñoz 2011) con la consiguiente disminución cada vez más marcada del recurso, situación que se inscribe dentro de la problemática global de la escasez mundial de agua y el reto para optimizar su empleo (FAO 2017).

Siendo el agua un recurso limitado, es un elemento indispensable para el funcionamiento de las plantas, y de su adecuado manejo en los cultivos comerciales va a depender en gran medida la máxima expresión de su potencial productivo. Por ejemplo, para el caso de la uva de mesa, tanto el déficit como el exceso conllevan reducción de los rendimientos. En efecto la baja disponibilidad de agua en el periodo de crecimiento de las bayas limita la producción y la calidad de la fruta, siendo la fase I de crecimiento la más sensible; lo que resulta, en algunas variedades en una reducción hasta de 22 por ciento de la cantidad de fruta exportable (Ferreira *et al.* 2006).

Por otro lado, el exceso de agua en el suelo disminuye la disponibilidad de oxígeno para las raíces que a su vez inhibe la fotosíntesis y el transporte de carbohidratos, lo que finalmente afecta el tamaño, la composición química, la apariencia de la fruta, la brotación de las yemas florales y el rendimiento (Kozłowski 1997; Esteban *et al.* 2001; Fimbres *et al.* 2000).

La implementación de herramientas que faciliten el diagnóstico hídrico de las plantas es una práctica fundamental en el manejo técnico de los cultivos para alcanzar el uso adecuado del agua. Uno de los métodos empleados para este fin es la medición del potencial hídrico en hoja o tallos, mediante el empleo de bombas de presión (Hsiao 1990; Azcón y Talón 2013; Choné *et al.* 2001); sin embargo, la toma de datos resulta laboriosa y requiere de mucho tiempo, lo que limita su implementación de uso generalizado. La teledetección es una herramienta que se ha estudiado y aplicado como una alternativa para monitorear el estado hídrico de las plantas en grandes áreas y en diversos cultivos en un menor tiempo, y con un alto grado de precisión ya que la respuesta fisiológica de las plantas frente a una condición hídrica inadecuada puede llegar a ser detectable mediante el uso de imágenes multispectrales y térmicas, que como lo indica Trueba (2017) detectan anomalías en los cultivos que no son visibles por el ojo humano.

Con esta técnica moderna, la información se capta a través satélites y/o aeronaves no tripuladas provistas de sensores como cámaras multispectrales y/o térmicas que permiten la captura de un conjunto de imágenes empleadas para la construcción de mapas donde se pueden monitorear el estado de los cultivos. Desde la producción esperada hasta la identificación de zonas bajo condiciones impropias de riego; determinado mediante el cálculo de algunos índices de vegetación. En las imágenes multispectrales captadas con fines agrícolas se analiza la reflectancia de la energía solar sobre la superficie vegetal del cultivo de interés, esto se logra debido a la visualización de las longitudes de onda y la respuesta espectral; por otro lado, en las imágenes térmicas se puede evaluar el incremento de la temperatura sobre el dosel de las plantas producido por un cierre estomático parcial en respuesta a una condición de estrés (Jiménez 2009).

La teledetección es una herramienta que ha mostrado resultados en las mediciones del estrés hídrico, también tienen otros propósitos tales como predicción de la producción (De Lara 2011), estado fitosanitario (Rullán 2015; Kharuf *et al.* 2018), entre otros. De manera que esta herramienta permite realizar un diagnóstico oportuno de la condición hídrica del cultivo y corregir las fallas del sistema hídrico facilitando la toma de decisiones del correcto riego

reflejándose en un incremento de los rendimientos y la calidad del producto cosechado, haciendo posible un uso óptimo del agua y minimizando la pérdida del recurso hídrico.

Los objetivos de este estudio fueron, (a) determinar el estado hídrico en plantas de vid mediante la interpretación de imágenes multiespectrales y térmicas captadas con un dron; (b) Estimar el índice de vegetación NDVI de las imágenes multiespectrales obtenidas de cada uno de los tratamientos sometidos a diferentes regímenes hídricos; (c) Identificar la respuesta térmica de la superficie del dosel de las plantas de vid sometidas a diferentes regímenes de riego y; (d) Analizar los efectos de los regímenes de riego sobre el producto cosechado.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 CULTIVO DE VID

2.1.1. Generalidades

Vitis vinifera pertenece a la familia *Vitaceae*, es una especie originaria del suroeste de Asia y del Mediterráneo oriental. El cultivo de vid se encuentra difundido a lo largo y ancho del mundo, destacando China como el mayor productor, con un promedio anual de 13 millones de toneladas periodo 2017-2018 seguido por Italia y Estados Unidos. Por otro lado, Chile es el principal productor de uva en Sudamérica con una producción anual de aproximadamente tres millones de toneladas. En el Perú este cultivo fue introducido con posterioridad a la conquista por los españoles a fin de emplear sus frutos para la fabricación de vino, producto esencial para preservar sus tradiciones sociales y religiosas; siendo Lima la zona donde según García (2004); Huertas (2004) se iniciaron las primeras plantaciones. Actualmente la producción de uva se ha difundido a otras zonas de la costa peruana y ha llegado a alcanzar 688,384 toneladas a nivel nacional siendo así el primer producto de exportación agrícola.

2.1.2. Clasificación taxonómica

De acuerdo con Hassler (2018) la clasificación taxonómica proporcionada es la siguiente:

Reino	Plantae
Filo	Tracheophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Vitales
Familia	Vitaceae
Género	Vitis
Especie	Vitis vinifera L.

2.1.3. Características de *Vitis vinifera*

Las plantas de vid presentan tallos leñosos y trepadores, con zarcillos opuestos a las hojas las cuales son alternas; las yemas son mixtas y se ubican en la axila de las hojas; las flores son hermafroditas de simetría pentámera y se agrupan en inflorescencias de tipo racimo, las cuales una vez fecundadas dan lugar a bayas que pueden presentar diversas formas, colores y tamaños según la características genéticas (Torres 2017), en esa misma línea cada baya puede llegar a tener de cero a cuatro semillas, de tal forma que las variedades que no poseen semillas se denominan apirenas (Reynier 2002).

La vid es una planta caduca y presenta un ciclo anual de acuerdo con el clima templado mediterráneo; sin embargo, en los climas tropicales mantiene un crecimiento continuo. La duración de los estados fenológicos depende de la variedad, las condiciones climáticas y la zona donde se cultive. El crecimiento de los frutos se ajusta a una doble sigmoide que se divide en tres fases, dos de crecimiento rápido (Fases I y III) y una de crecimiento lento (Fase II). En la fase I la baya presenta división y elongación celular, período en el que se define el número final de células que posteriormente sólo aumentarán de tamaño, en la fase II el crecimiento del fruto es lento con un leve incremento del tamaño, finalmente en la fase (III) se desarrolla el sabor, aroma y se da el cambio de color de las bayas. En este orden de ideas cuando se genera déficit hídrico en la fase I se llega a afectar directamente el fruto, reflejándose en un menor calibre de las bayas que será imposible recuperar, mientras que si el déficit se presenta para pinta y cosecha esta condición no resulta ser limitante (Torres 2017).

2.1.4. Principales variedades de uva de mesa en el Perú

El Perú cuenta con una amplia gama de variedades cultivadas de uva mesa, dentro de esta lista se encuentran ‘Red Globe’, ‘Crimson Seedless’, ‘Superior’, ‘Sweet Globe’, ‘Flame Seedless’, ‘Sweet Celebration’, ‘Thompson Seedless’, ‘Sweet Sapphire’, entre otros (Provid 2020). Estas variedades destacan por ser de buen sabor, crujientes, con excelente calibre, y

buenas viajeras, características que atienden a las exigencias de los mercados internacionales.

Red Globe: Es una variedad roja con presencia de semillas, las bayas son redondas y grandes con un calibre promedio de 24 – 28 mm, tiene cáscara firme, pulpa crujiente y carnosas, siendo los países asiáticos los principales consumidores (Provid 2020).

Crimson Seedless: Es una variedad roja, con ausencia de semillas, las bayas son cónicas con un calibre promedio de 17 a 22 mm, se caracteriza por poseer pulpa crujiente y sabor neutro (Provid 2020).

Superior: Es una variedad de color verde claro, con ausencia de semillas, las bayas son de forma elíptica u ovoidal con pulpa crujiente (Provid 2020).

Sweet Globe: Es una variedad de color verde claro, con ausencia de semillas, las bayas son de forma ovoide, presentan un calibre promedio de 22 a 24 mm (Provid 2020).

Flame Seedless: Es una variedad de uva que posee bayas esféricas de color rojo profundo, con ausencia de semillas y su sabor es dulce con textura crujiente, consistente y pulpa incolora (Provid 2020).

Sweet Celebration: Es una variedad roja de tipo Seedless, tiene un excelente sabor, firmeza, tolera bien los viajes y se considera de cosecha larga debido que va tomando color en el tiempo (Ljubetic 2017).

Thompson Seedless: Es una variedad de color verde claro sin semilla, las bayas son de forma cónica con un calibre promedio de 18 a 20 mm, muy jugosa, con un sabor neutro muy dulce, de pulpa crujiente y cáscara gruesa (Provid 2020).

Sweet Sapphire: Es una variedad clasificada como negra de tipo Seedless, las bayas son de forma alargada tubular, y pueden llegar a medir hasta 7 cm de largo con un calibre promedio de 20 mm, presentan una hendidura en el extremo distal. Esta variedad no requiere aplicación de ácido giberelico para facilitar el raleo o crecimiento (Ljubetic 2017).

Sweet Surprise: Es una variedad clasificada como negra de tipo Seedless de sabor especial (Provid 2020).

2.2. El agua como factor fundamental en las plantas

El agua es el componente de mayor proporción en las plantas, para las especies herbáceas representa del 80 -90 por ciento del peso fresco mientras que en las especies leñosas este valor puede ser más del 50 por ciento; lo que afecta directa o indirectamente los procesos fisiológicos y las reacciones bioquímicas, además es el disolvente de sustancias como sales inorgánicas, azúcares y aniones orgánicos (Azcón y Talón 2000) por lo tanto una cantidad excesiva o restrictiva de agua constituye un factor promotor de situaciones desfavorables o estresantes para las plantas (Moreno 2009).

Las plantas pierden agua de manera constante debido a la exposición de las hojas a la demanda atmosférica, así que esta debe recuperarse continuamente por absorción y transporte desde el suelo, por consiguiente, se debe plantear un diseño de riego optimizado para evitar alteraciones en el abastecimiento de agua.

En el cultivo de vid el goteo es la técnica de riego más empleadas para la producción; para definir los requerimientos hídricos y la programación del riego por goteo se consideran los valores de evapotranspiración de referencia, evapotranspiración del cultivo y el coeficiente de cultivo o K_c (Zea 2015), sufriendo este último variaciones a través del ciclo fenológico, tomando los mayores valores cuando el cultivo alcanza su máximo índice de área transpirante (Rodríguez 2012). Es posible calcular el K_c para vid mediante la relación del porcentaje de interceptación solar del parronal con la sombra proyectada sobre el suelo, siendo

un punto importante el sistema de conducción y el vigor de la planta para determinar el valor del coeficiente de cultivo (Torres 2017; Johnson *et al.*2000).

El estado hídrico de las plantas se puede calcular a partir de medidas tomadas en el suelo, en el ambiente o en la planta. Una de las metodologías más empleadas en el cultivo de vid es la medición del potencial hídrico xilemático (Ψ), tomado al amanecer o al mediodía (Acevedo *et al.* 2010); ya que resulta ser un indicador adecuado para establecer el estado hídrico de las plantas cuando se encuentran bajo situaciones de estrés hídrico (Ferreira *et al.* 2006).

No obstante, la respuesta de las plantas frente a una condición deficitaria de agua no siempre es la misma, de acuerdo con Zarafshar *et al.* (2014), las especies de origen semi-árido son más resistentes al estrés por sequía que aquellas de origen semi- húmedo. Según Hanson (1982) al someter las plantas a déficit hídrico como respuesta fisiológica estas cierran sus estomas para conservar el agua y reducir su pérdida por transpiración durante los períodos de sequía, sin embargo; esto implica una disminución del transporte y translocación de los nutrientes lo que se traduce en una reducción de la fotosíntesis y la respiración, lo que conlleva a la disminución del crecimiento y la productividad de los cultivos; al respecto Onder (2005) indica que bajo el 77 por ciento ETc se afecta significativamente el rendimiento de la papa, mientras, Shammout *et al.* (2018) reportan que el cultivo de pimiento al ser sometido a déficit hídrico no genera pérdidas significativas en el rendimiento.

Por otra parte, los riegos excesivos presentan un efecto perjudicial en los cultivos debido al incremento de enfermedades fúngicas, asfixia radicular, perdida por escorrentía, contaminación y el incremento en el vigor de las plantas lo que conlleva a la elevación en los costos de producción por labores de mantenimiento, disminución en la calidad de los productos agrícolas, disminución en los rendimientos, entre otros.

2.2.1. El agua en la vid

La demanda hídrica en vid depende del grado de crecimiento vegetativo, el cubrimiento del suelo, los factores climáticos y la demanda evaporativa de la atmosfera (Torres 2017), por lo que los requerimientos hídricos se incrementan cuando el sistema de conducción o tutorado presenta una mayor cobertura del suelo, con base en lo anterior las exigencias hídricas serian mayores en un sistema en parronal español vs espaldera Californiana, ya que el sistema en parronal español puede llegar a tener una cobertura del 90 a 100 por ciento mientras que la espaldera Californiana es menor de 50 por ciento (Ferreyra *et al.* 2001).

El agua es uno de los principales recursos que limita la producción agrícola a nivel mundial a causa de su escasez; lo que ha conllevado a la búsqueda de soluciones para reducir el consumo y aumentar el aprovechamiento eficiente. El riego deficitario en el cultivo de vid es una estrategia aplicada como una alternativa para reducir el consumo de agua hasta en un 28 por ciento sin comprometer los parámetros de calidad y rendimiento (Martínez 2015; Acevedo *et al.* 2006; Anconelli y Battilani 2000).

Al respecto Williams *et al.* (1995) reportaron que en ‘Flame Seedless’ y ‘Perlette’ aumentan los sólidos solubles al aplicar un riego deficitario y se mantiene el tamaño de las bayas óptimo. En ‘Crimson Seedless’ el riego deficitario controlado mejora la coloración de las bayas sin secuelas negativas en la producción manteniendo una calidad idónea (Martínez, 2015; Faci *et al.* 2014).

Ferreyra *et al.* (2003); Gurovich y Alberto (2004) encontraron que el cultivar Cabernet Sauvignon al ser sometida a un riego subóptimo reduce su crecimiento vegetativo y disminuye el diámetro y el peso de las bayas; pero a su vez, esta misma condición incrementa la intensidad colorante, la concentración de fenoles y antocianinas mejorando así la calidad del vino. Sin duda, el riego deficitario, se traduce en beneficios o perjuicios comerciales, lo que va a depender fundamentalmente del momento de la aplicación durante el ciclo fenológico anual ya que durante el periodo de crecimiento las plantas experimentan

actividades metabólicas con mayor o menor sensibilidad el estrés hídrico (Anconelli y Battilani 2000)

En concordancia con lo anterior para la fase de brotación y floración, el déficit hídrico provoca desuniformidad, ralentización del crecimiento de brotes y una posible disminución de la viabilidad del polen y la receptividad de los pistilos (Wample 1997 citado por Ferreyra *et al.* 2006), siendo la fase de floración y pinta la más sensible a los problemas de riego, resultando en bayas de menor tamaño y por consiguiente reducción en la calidad de la fruta, (Ojeda *et al.* 2001); por otra parte, se ha encontrado que para la fase entre pinta y cosecha, las limitaciones de riego no se consideran desfavorables (Ferreyra *et al.* 2006) siendo así que la fase de post envero resulta ser el momento oportuno para aplicar riegos deficitarios, lo que permite reducir el gasto hídrico sin generar repercusiones negativas en la calidad de la uva (Martínez 2015; Faci *et al.* 2014).

2.3. TELEDETECCIÓN

La teledetección es una herramienta que permite adquirir información sobre variables físicas de un objeto o superficie, bien sea por reflexión de la energía solar o emisión de energía propia mediante el uso de un sensor que no se encuentra en contacto con los objetos bajo evaluación, lográndose identificar diferentes superficies tal como suelo, vegetación, agua, etc., (Chuvieco 1996); esta herramienta tiene una amplia gama de usos que pueden ser industriales, topográficos, forestales y agrícolas (Díaz y Cervigón 2015).

A través de la teledetección aplicada en agricultura, es posible adquirir información del estado de los cultivos sin que sea necesario realizar muestreos destructivos o invasivos; obteniendo resultados en tiempo real en cualquier estado fenológico de las plantas. De esta manera se pueden evaluar aspectos nutricionales, incluyendo concentración de nitrógeno en las hojas (Blackmer *et al.* 1994; Escobar 2015), estimación y predicción de cosecha o rendimiento, presencia de plagas y enfermedades (Díaz y Cervigón 2015; Kharuf *et al.*

2018), estado hídrico de las plantas (Bellvert *et al.* 2014; Díaz y Cervigón 2015; Berni *et al.* 2012; López *et al.* 2021).

La adquisición de datos se puede dar mediante el uso de sensores puestos sobre el suelo, satélites y/o aeronaves no tripuladas (drones). El empleo de vehículos aéreos no tripulados para fines agrícolas conlleva a una serie de ventajas dentro de las que destacan; la realización de vuelos a través de un sistema de piloto automático por intermedio de un control remoto ubicado en tierra, disminución en el tiempo para obtener información, captura de datos en cualquier estado fenológico de los cultivos, bajos costos de uso, obtención de imágenes con alta resolución, bajo impacto ambiental, alta operatividad ligada a condiciones climáticas favorables, entre otros (Díaz y Cervigón 2015); no obstante, para lograr los objetivos dispuestos los drones deben estar provistos de sensores especializados tal como cámaras multispectrales, hiperspectrales y térmicas; estas permiten registrar la información a través de un conjunto de imágenes que presentan áreas de traslape entre sí, y se combinan en una sola imagen que forma un mosaico lo que a su vez permite elaborar un mapa del área de interés, para observar y analizar la reflectancia y cambios de temperatura de las diferentes superficies (Fernández y Gutiérrez 2016).

Comúnmente se encuentran dos tipos de sistema en la aeronave pilotada a distancia, uno que es de ala fija y otro de ala rotatoria, la selección del equipo a emplear se hará en función del objetivo buscado, teniendo en cuenta aspectos como el área a recorrer, especificidad de puntos de evaluación, la resolución espacial requerida y las condiciones para el despegue y el aterrizaje (Paiva *et al.* 2021; Díaz y Cervigón 2015).

2.3.1. Imágenes multispectrales

Son imágenes formadas por la adquisición de datos en serie, a través de sensores que captan los espectros de luz o longitudes de onda que refleja o emite un objeto. los sensores están equipados con un máximo de seis bandas espectrales que incluyen: azul ubicado en los 480 nm, verde ubicado en los 560 nm, rojo ubicado en los 670 nm, borde rojo (red edge) ubicado en los 720 nm e infrarrojo cercano (nir) ubicado en los 840 nm; siendo las bandas azules

(480nm), verde (560 nm) y rojo (670 nm) denominadas como espectro visible debido a que son las únicas que el ojo humano consigue distinguir (Meneses *et al.* 2015).

El espectro infrarrojo cercano (NIR 730 a 1,100 nm) junto al espectro visible (400 a 700 nm) son los más empleados con fines agrícolas. El espectro visible obedece a los pigmentos foliares como la clorofila la cual refleja la luz verde y absorbe la luz roja y azul, por otro lado el infrarrojo cercano presenta una reflectancia alta debido a la forma esponjiforme del mesófilo de las hojas (Trueba 2017) lo que permite visualizar anomalías en la vegetación (Díaz y Cervigón 2015) tales como el estrés hídrico (Peñuelas *et al.* 1993) puesto que el follaje de las plantas muestran variaciones en la reflectancia en la medida que se presentan limitaciones hídricas. Entendiéndose por reflectividad la parte de la irradiación que refleja en las superficies receptoras y es diferente para cada una de estas, por lo tanto, en las plantas, la reflectancia varía según las interacciones biofísicas y bioquímicas (Trueba 2017)

2.3.2. Índices de vegetación

Los índices de vegetación son una herramienta que se usa para interpretar imágenes provenientes de la teledetección (Bannari *et al.* 1996) por consiguiente, los índices son medidas cuantitativas que se adquieren de valores espectrales a través de sensores especializados, y se calculan mediante el uso de fórmulas que consideran dos o más bandas espectrales que se suman, dividen, o multiplican, según se requiera (Wiegand *et al.* 1991).

El cálculo de los índices de vegetación permite evaluar y estimar el estado de la vegetación, con base en los cambios de su reflectancia, transmisión o absorción, como una respuesta espectral particular de la vegetación (Rodríguez 2009). Cada superficie presenta una característica particular que influye en la respuesta espectral, para el caso de las plantas la morfología de la hoja (mesófilo), la arquitectura de la planta y los compuestos bioquímicos son características que inciden en la reflectancia (Curran *et al.* 2001).

En concordancia con lo anterior Díaz y Cervigón (2015) manifestaron que las hojas de las plantas absorben la energía debido a la presencia de pigmentos tales como la clorofila, mientras que la reflexión se presenta a causa del contenido de agua en las hojas; en ese sentido, cuando la vegetación sufre algún tipo de estrés, la cantidad de agua en las hojas

disminuye; por tanto, se producen variaciones espectrales que afectan directamente la reflectancia (Watzlawick *et al.* 2009).

Los índices de vegetación son sensibles frente a las condiciones heterogéneas dentro de la vegetación y el suelo, por lo que han desarrollado más de 100 índices de vegetación y la elección de uno de ellos debe darse con planeación, ya que los valores no son universales y son afectados por la atmósfera, la calibración del sensor, las condiciones de visualización del sensor, la geometría de la iluminación solar, la humedad del suelo, el color y el brillo (Bannari *et al.* 1996). Dentro de los índices se encuentran el NDVI, NDRE, SIPI entre otros.

Índice NDVI

El índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), es uno de los más empleados en la agricultura, desarrollado por Rouse *et al.* (1974); a través de este se relaciona la actividad fotosintética y la estructura de la hoja, lo que hace posible estimar el estado o vigor de las plantas (Gonzaga 2015), la intensidad del verdor, la cantidad de vegetación presente (Trueba 2017) así como la variabilidad de la biomasa, y el rendimiento (Hall *et al.* 2003).

Desde la posición de Diaz y Cervigón (2015) la estimación del índice de vegetación de diferencia normalizada está en función de la energía absorbida, y reflejada por las plantas. Los resultados del cálculo del índice de vegetación de diferencia normalizada oscilan de -1 a 1 donde los valores negativos corresponden a superficies de agua, estructuras artificiales, rocas, nubes y nieve, mientras que el suelo desnudo generalmente se ubica dentro del rango de 0.1 a 0.2, para las plantas los valores siempre serán positivos en el rango de 0.2 hasta 1 donde la vegetación sana y densa estará por encima de 0.5, y aquella vegetación dispersa probablemente se ubicara entre 0.2 y 0.5 (Trueba 2017). No obstante, cabe destacar que el valor NDVI fluctúa según, el estado fenológico de las plantas, disponibilidades hídricas y las condiciones ambientales.

El cálculo del NDVI implica el uso de una expresión matemática que considera dos bandas, el infrarrojo cercano (NIR) y el rojo (RED), expresándose de la siguiente fórmula:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{Red}) / (\text{NIR} + \text{Red})$$

Donde: NIR es luz infrarroja cercana ubicado a 860 nm del espectro y Red ubicado a 670 nm del espectro es luz roja visible, La banda visible proporciona información de la cantidad de energía absorbida por las plantas y la banda infrarroja actúa a la inversa, por lo que su diferencia muestra la respuesta de la vegetación.

Índice NDRE

El índice de diferencia normalizada de borde rojo detecta cambios en el contenido de clorofila y se muestra como un indicador idóneo sobre el estado nutricional de las plantas. El cálculo del NDRE se realiza mediante la siguiente operación matemática.

Formula:

$$\text{NDRE} = (\text{NIR} - \text{Red Edge}) / (\text{Red Edge} + \text{NIR})$$

Donde: NIR es luz infrarroja cercana y Red Edge es luz roja lejana.

Índice SIPI

El índice de pigmento insensible a la estructura es bueno para el análisis de la vegetación con la estructura variable del dosel, detección temprana de enfermedades de las plantas u otras causas de estrés. Estima la proporción de carotenoides a clorofila: las señales de mayor valor de la vegetación estresada.

El cálculo del SIPI se realiza mediante la siguiente operación matemática:

Fórmula:

$$\text{SIPI} = (\text{NIR} - \text{Azul}) / (\text{NIR} - \text{Rojo})$$

Donde: NIR es luz infrarroja cercana

2.3.3. Imágenes térmicas

Las imágenes térmicas son imágenes captadas mediante cámaras térmicas, su principio está basado en el concepto que todo objeto emite energía electromagnética y la cantidad de energía emitida está directamente relacionada con la temperatura que tiene; por tal razón la termografía es una técnica empleada para detectar la temperatura del dosel de manera remota, y se conoce como un indicador del estrés hídrico en las plantas (González *et al.* 2006), siendo aplicado para el diagnóstico hídrico para diferentes cultivos (López *et al.* 2009) como lechuga (Tarqui *et al.* 2017), algodón (González *et al.* 2006), Olivos (Poblete *et al.* 2016); vid (Jones *et al.* 2002; Anconelli y Battilani 2000).

Mediante la captura e interpretación de las imágenes térmicas es posible evaluar grandes superficies, plantas individuales e incluso partes de ellas sin incurrir en realizar muestreos destructivos; las imágenes son tomadas por cámaras térmicas que a su vez son transportadas en drones u operadas manualmente donde las imágenes se toman directamente en el campo asistidas con dispositivos auxiliares como trípodes, plataformas o grúas; no obstante, resulta ser de gran importancia considerar la hora del día en la que se realicen la captura de imágenes, así como las condiciones climáticas, la calibración, y la resolución de los equipos a usar (González *et al.* 2006)

Berni *et al.* (2012) sostienen que las imágenes térmicas permiten monitorear y mapear la variabilidad espacial del estado hídrico de las plantas, debido al cambio y/o incremento de la temperatura en el dosel como respuesta al cierre estomático. Cabe mencionar que la transpiración de las hojas tiene un efecto de enfriamiento importante que estabiliza la temperatura de las plantas (Azcón y Talón 2000); cuando los cultivos se someten a condiciones de estrés hídrico, las estomas de las plantas se cierran, la transpiración decrece y la temperatura de la hoja aumenta (Jackson *et al.* 1981) no obstante, Fuchs (1990) afirma que la temperatura dentro del dosel de las plantas resulta ser variable en cada estrato a lo largo del follaje, siendo las hojas que se encuentran bajo exposición directa al sol las que proporcionan una información más precisa.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN

El presente estudio se llevó a cabo en un viñedo ubicado a ($14^{\circ}58'19.04''S$ y $74^{\circ}53'3.13''O$.) propiedad de la empresa Vitícola SAC, situada en el departamento de Ica, Provincia Nazca, Distrito Villa. La zona de estudio presenta un clima que se caracteriza por ser de tipo desértico, con bajas precipitaciones y una temperatura que oscila entre $15^{\circ}C$ y $30^{\circ}C$.



Figura 1. Vista general del área experimental; (A) área experimental correspondiente a ‘Sweet Celebration’; (B) área experimental correspondiente a ‘Sweet Surprise’; (C) área experimental correspondiente a ‘Sweet Sapphire’

3.2. MATERIALES Y EQUIPOS

3.2.1. Material vegetal

El material vegetal empleado estuvo conformado por plantas de tres cultivares de uva de mesa (*Vitis vinifera* L.) ‘Sweet Celebration’ de tres años, ‘Sweet Surprise’ de dos años y ‘Sweet Sapphire’ de un año. Las dos primeras tenían como portainjerto a ‘Freedom’ y la última estaba injertada sobre ‘Paulsen 1103’

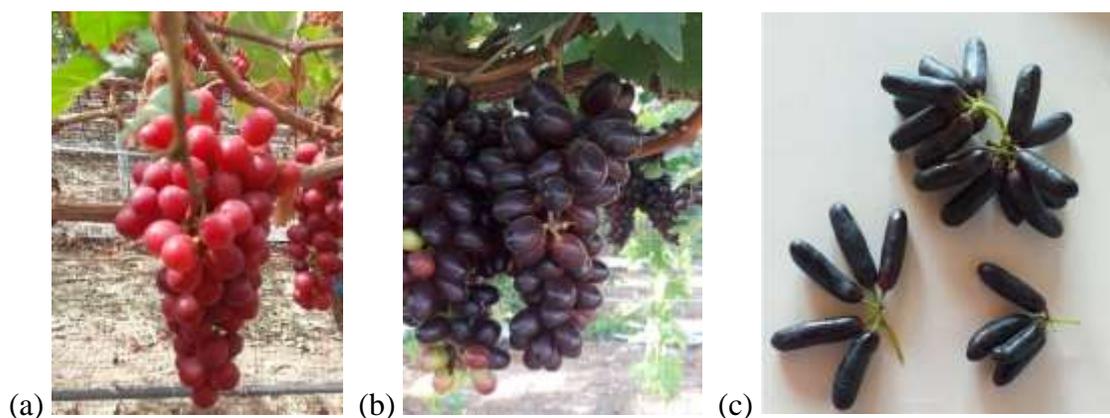


Figura 2. Vista general (bayas) de los cultivares empleados en el experimento (a) ‘Sweet Celebration’, (b) ‘Sweet Surprise’ y (c) ‘Sweet Sapphire’

Cada cultivar ocupaba un lote comercial dentro del fundo con un distanciamiento común entre hieras de 3.5 m, y una distancia entre plantas de 2 m para ‘Sweet Celebration’, 1.75 m para ‘Sweet Surprise’ y 1.80 m para ‘Sweet Sapphire’.

En todos los casos, las plantas fueron conducidas con un sistema de cuatro cordones y el agua se aplicó a través de un sistema de riego por goteo constituido por una línea de riego por cada hilera de plantas con goteros compensados de la marca Netafim, modelo Dripnet, que descargaban un caudal de 1,6 lph con una distancia entre goteros de 40 cm. El manejo agronómico para las plantas de vid dentro de cada ensayo correspondió al estándar de la plantación comercial.

3.2.2. Materiales y equipos

Para la ejecución del experimento se emplearon:

- Un Drone de ala fija tipo Skywalker
- Una cámara multispectral Micasense Rededge
- Una cámara térmica Flir VUE PRO R
- Una cámara Scholander PMS de bombeo manual
- Bolsas de plástico aluminizado
- Un calibrador
- Una báscula
- Canastillas
- Horno
- Tijeras de poda
- Luxómetro

3.3. METODOLOGÍA

El trabajo experimental estuvo constituido por tres ensayos, uno por cada cultivar (Sweet Celebration, Sweet Surprise y Sweet Sapphire), conducidos en parcelas independientes.

Dentro de cada lote comercial de los cultivares en estudio con la ayuda de imágenes multispectrales tomadas en un vuelo de inspección se seleccionó zonas homogéneas para establecer allí el ensayo correspondiente.

3.3.1. Tratamientos

Los cultivares Sweet Celebration, Sweet Surprise y Sweet Sapphire se sometieron a cinco tratamientos de riego con tres repeticiones.

Los tratamientos consistieron en someter las plantas de cada una de las tres cultivares a diferentes regímenes de riego, aplicando por debajo y por encima de lo que indica la ETc, desde el 60 por ciento hasta el 140 por ciento, como se describe en el Tabla 1. La práctica

convencional del cultivo evaluado era aplicar el 80 por ciento - ETc, tomándose este valor como el testigo del ensayo.

Tabla 1. Descripción de los tratamientos

Tratamientos	Descripción
T1	Reposición de agua equivalente al 60 por ciento de la ETc = $ETc * 0.6 \pm 0.04$
T2 (Testigo)	Reposición de agua equivalente al 80 por ciento de la ETc = $ETc * 0.8 \pm 0.04$
T3	Reposición de agua equivalente al 100 por ciento de la ETc = $ETc * 1 \pm 0.04$
T4	Reposición de agua equivalente al 120 por ciento de la ETc = $ETc * 1.2 \pm 0.04$
T5	Reposición de agua equivalente al 140 por ciento de la ETc = $ETc * 1.4 \pm 0.04$

Cada unidad experimental involucro tres filas de 12 plantas para un total de 36 plantas; considerándose solo las seis del centro con fines de evaluación y captura de datos para un total de 18 plantas por tratamiento, las plantas restantes tenían como objetivo evitar el efecto borde como se observa en la Figura 3.

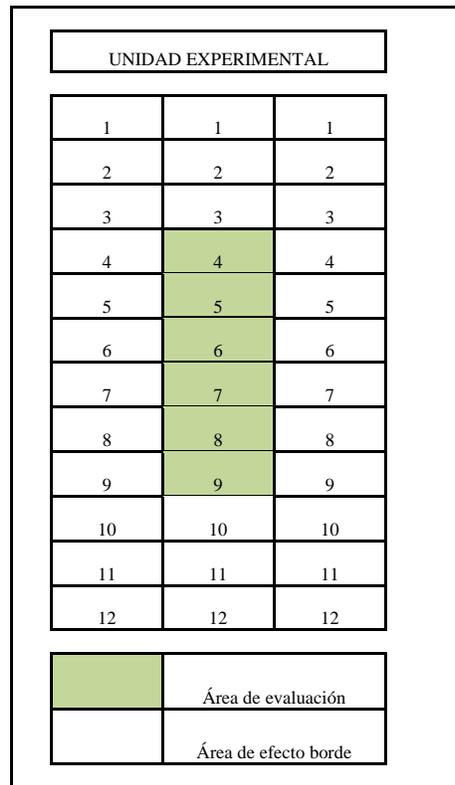


Figura 3. Conformación de las unidades experimentales

Para la implementación operativa del ensayo se contó con una línea principal de riego por cada línea de plantas (cinco goteros en promedio por planta), la cual fue modificada suprimiendo o aumentando goteros, según corresponda para cada tratamiento Donde: T1 (60 por ciento de la ETc), T2 (80 por ciento de la ETc), T3 (100 por ciento de la ETc), T4 (120 por ciento de la ETc), y T5 (140 por ciento de la ETc).

La estimación de los requerimientos hídricos se calculó a partir de la formula $Etc = Eto * Kc$, para lo cual las variables meteorológicas se obtuvieron de dos estaciones meteorológicas Vantage Pro2 “Davis”; ubicadas próximas a las parcelas experimentales, pertenecientes a la empresa Vitícola SAC.



Figura 4. Estación meteorológica Vantage Pro2

El valor de coeficiente de cultivo (K_c) de referencia se definió de acuerdo con los valores establecidos según la metodología de Williams *et al.* (2003); que fue empleada por varios ciclos productivos en el predio de evaluación lo que permitió establecer valores de referencia.

Según Torres (2017) bajo la metodología mencionada es posible calcular el K_c teniendo en consideración las características propias de cada parronal respecto al vigor y crecimiento aplicando la fórmula: $K_c = 0,012 * S\% + 0,072$ (2). Donde $S\%$ corresponde al porcentaje de área sombreada a medio día obtenida a través de imágenes fotografías procesadas a través de un software especializado.

El efecto de los tratamientos en cada uno de los cultivares se determinó:

- a. Respuesta multiespectral medida a partir del cálculo del índice de vegetación NDVI,
- b. Respuesta térmica calculada a partir de la temperatura captada por la cámara Flir,
- c. Rendimiento de materia seca calculado a partir de la madera poda,
- d. Producción (producto cosechado),
- e. Color y tamaño de las bayas.

3.4. DISEÑO ESTADÍSTICO

Para el análisis de datos se empleó el diseño bloques completamente al azar. Los datos obtenidos fueron ingresados al programa estadístico Yupana de versión libre, donde se realizaron las siguientes pruebas: análisis de varianza, correlación y comparación de medias mediante Tukey 0,01 por ciento.

3.5. MEDICIONES

3.5.1. Captura y procesamiento de imágenes multiespectrales y térmicas

Para la obtención de las imágenes se contó con una aeronave no tripulada de ala fija tipo Skywalker, la cual tenía incorporadas dos cámaras, una cámara térmica Flir pro R y una cámara multiespectral (Micasense) de cinco bandas.



Figura 5. Vista general del dron de ala fija, tipo Skywalker

La cámara térmica Flir pro R capturó datos referentes a la temperatura de cada píxel, mientras que la cámara multispectral (Micasense), tomó cinco fotografías simultáneamente, correspondientes a cinco bandas del espectro cromático:

Banda 1: Correspondiente a la banda azul (B) de 480 nm

Banda 2: Correspondiente a la banda verde (G), de 560 nm

Banda 3: Correspondiente a la banda rojo (R), de 670 nm

Banda 4: Correspondiente a la banda red edge: 720 nm

Banda 5: Correspondiente a la banda infrarrojo cercano (NIR): 840 nm.



(a)



(b)

Figura 6. Vista general de: (a) cámara multispectral mica sense Rededge; (b) cámara térmica FLIR pro R

Para la planificación del vuelo se empleó el software Mission Planner versión 1.3.62., y se consideró aspectos tales como la definición del polígono del área de interés, altura, velocidad, coordenadas, viento, obstáculos, lugar de lanzamiento y aterrizaje. Los sobrevuelos se efectuaron a 120 metros de altura sobre el nivel del suelo, con una velocidad (10 m/s), bajo el horario de 11:30 hasta las 13:00 horas siendo este el momento del día con mayor actividad fotosintética debido a la mayor radiación solar incidente.

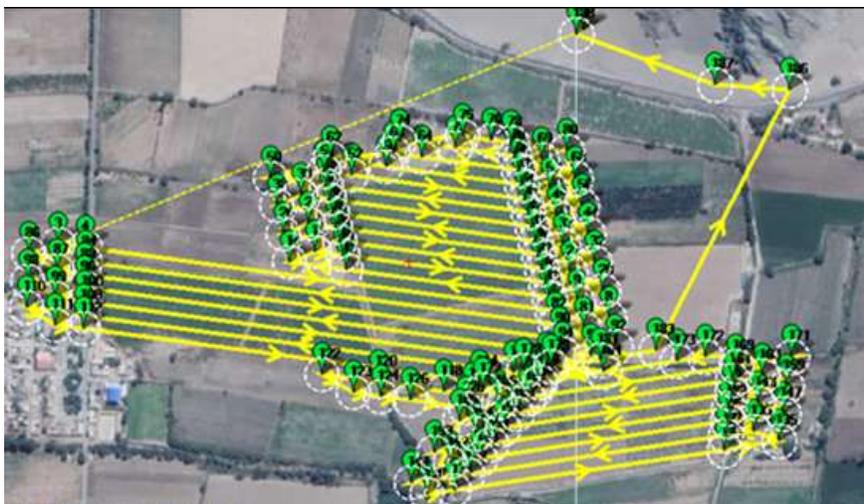


Figura 7. Vista general de la ruta de vuelo diseñada para sobrevolar el área experimental

Se efectuaron dos vuelos con el dron a lo largo del ciclo productivo en paralelo para los tres cultivares, obteniéndose así dos imágenes multiespectrales y dos imágenes térmicas de las áreas de ensayo.

La captura de las imágenes multiespectrales y térmicas se dieron con un espaciamiento de 30 días calendario. Durante la ejecución de los vuelos las plantas de vid se encontraban en dos momentos fenológicos diferentes para cada cultivar, conforme se describe en la Tabla 2

Tabla 2. Estado fenológico de las plantas de vid durante la ejecución de los vuelos con el dron y la captura de las imágenes multiespectrales y térmicas

Cultivares	Primer vuelo (estado fenológico)		Segundo vuelo (Estado fenológico)	
	Cuajado de fruto	Bayas tamaño guisante	Bayas tamaño guisante	Envero
Sweet Celebration	X		X	
Sweet Surprise	X		X	
Sweet Sapphire		X		X

Una vez capturadas las imágenes multispectrales y térmicas se construyeron los mosaicos del área de estudio, para este fin se emplearon los softwares Agisoft y Qgis aplicando el índice de vegetación NDVI “Normalized Difference Vegetation Index” para analizar las imágenes multispectrales; por otro lado, las imágenes térmicas fueron procesadas a través del software Pix4D lo que permitió definir la temperatura registrada por la cámara Flir pro R en las áreas de estudio.

3.5.2. Estado hídrico de las plantas

La estimación del estado hídrico de las plantas fue monitoreado a través de la medición del potencial hídrico xilemático en Mpa, para esta labor se empleó una cámara Scholander PMS de bombeo manual; este modelo de bomba de presión no requiere una fuente de gas comprimido. Las mediciones se realizaron previas al riego con una frecuencia mensual y se realizaron entre las 11:00 y 13:00 horas.



Figura 8. Cámara Scholander PMS de bombeo manual

De cada repetición se extrajeron dos muestras foliares (hojas maduras) para la medición del potencial hídrico. Previo al desprendimiento de las hojas, estas se introdujeron dentro de bolsas de plástico aluminizado y se mantuvieron allí por un periodo mínimo de 30 minutos sin ser retiradas de la planta, una vez transcurrido este tiempo, las hojas se retiraron de la planta para finalmente colocar el tapón con la muestra foliar dentro de la cámara de presión y proceder a bombear el aire hasta observar con ayuda de una lupa la salida de sabia por el xilema del extremo del peciolo de la hoja, en este punto se detuvo la inyección de aire y se anotó el valor.



Figura 9. Vista general de (a) ubicación de las bolsas de plástico aluminizado usadas para medir el potencial hídrico, dentro de la parcela experimental (b) colocación de la muestra foliar dentro de la cámara Scholander PMS de bombeo manual

Una vez obtenida la lectura se despresurizaba la cámara de presión Scholander PMS para continuar con una nueva medición repitiendo el procedimiento.

3.5.3. Rendimiento de materia seca en material de poda

Se realizó una comparación del rendimiento de la materia seca del material de poda inicial (plantas sin tratamientos) y materia seca final (plantas bajo tratamientos) de cada uno de los tratamientos en las tres variedades de vid. El valor inicial fue tomado previo al

establecimiento de los tratamientos y el valor final se tomó de manera posterior a la aplicación de los tratamientos en base al material de poda



Figura 10. Vista general de (a) Área de tratamiento (b) material de poda

Para realizar la medición se consideró el material de poda (tallos sin hojas) conformado por seis plantas, como se observa en la imagen 10, el cual fue colectado bajo las fechas programadas por la empresa. Una vez recaudado el material se llevó al laboratorio para ser colocado en un horno bajo una temperatura de 65 a 75 °C durante una semana, y posteriormente se procedió a pesar el material vegetal con el cual se calculó el porcentaje de materia seca para cada variedad.

3.5.4. Cosecha

Fueron cosechadas seis plantas por cada unidad experimental (18 plantas por tratamiento); se emplearon tijeras de poda con las cuales se retiró la fruta de las plantas, para ubicarla posteriormente en jabas como se observa en la Figura 11; posteriormente con ayuda de una balanza se midió el peso del producto cosechado de cada uno de los tratamientos.



Figura 11. Vista general del producto cosechado

Para determinar los parámetros de calidad de la fruta se midió el tamaño con un calibrador (mm) al 100 por ciento de los racimos correspondiente a 44 racimos por planta para ‘Sweet Sapphire’, 52 racimos/planta para ‘Sweet Celebration’ y 68 racimos/planta para ‘Sweet Surprise’. Además, se realizó una cata de color subjetiva, en la cual se mostraron las preferencias por parte del consumidor según el conocimiento aportado por el técnico encargado. En ella diversos catadores clasificaron el total de la fruta por tratamiento separando tres categorías de color; la fruta con color uniforme, la fruta con color desuniforme y la fruta con total ausencia de color.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Luego de realizar el ordenamiento y tabulación de la información se presentan los resultados del presente trabajo agrupados en los siguientes rubros:

- i) Respuesta multiespectral
- ii) Respuesta térmica
- iii) Rendimiento de materia seca en material de poda
- iv) Producción y calidad del producto cosechado

4.1. RESPUESTA MULTIESPECTRAL

Mediante las imágenes capturadas con la cámara multiespectral a bordo de un dron, se generaron 2 mosaicos a lo largo del ciclo productivo (Anexos 37 a 42).

Los resultados obtenidos muestran los valores promedio del Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI) en las zonas de estudio. Este índice fue contrastado con el Ψ potencial hídrico en su calidad de parámetro fisiológico, el cual fue medido en campo para los tres cultivos objeto de estudio.

4.1.1. Respuesta multispectral obtenida para ‘Sweet Celebration’

En la Figura 12 (A) se muestran los resultados para el índice NDVI en ‘Sweet Celebration’; y en la Figura 12 (B) se encuentran los resultados del Ψ potencial hídrico medido para el mismo cultivar.

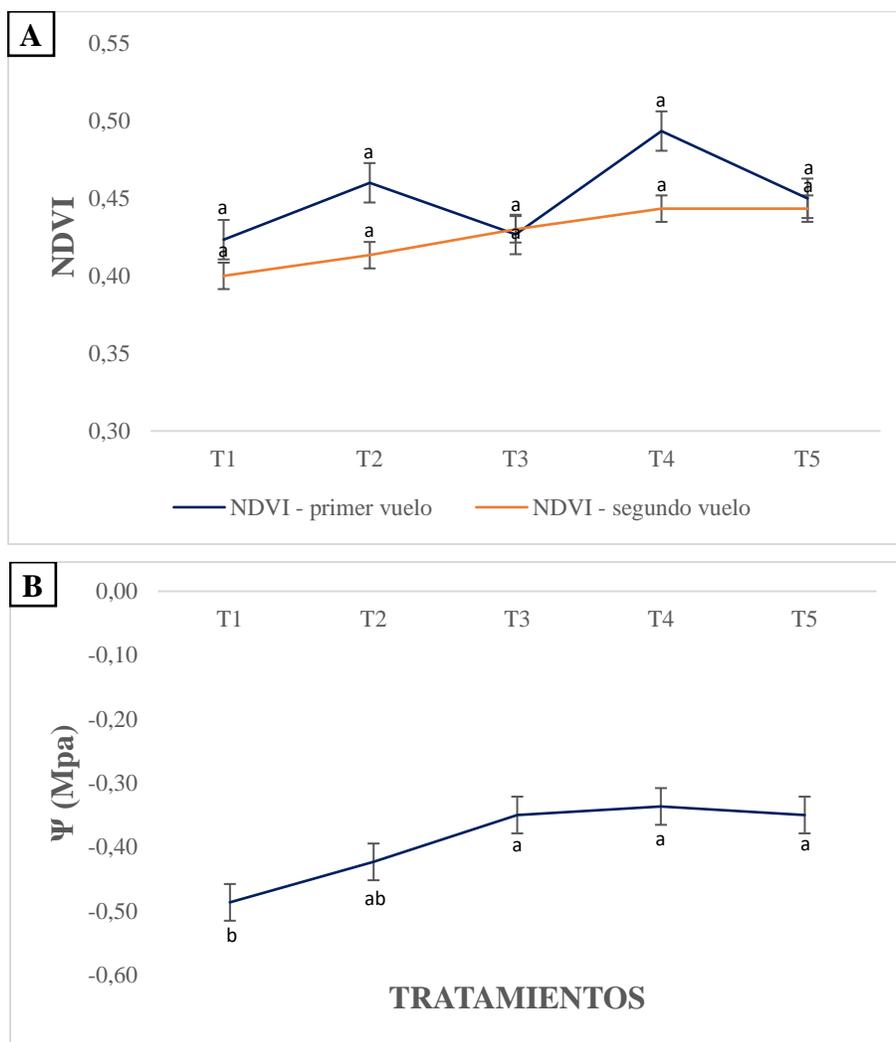


Figura 12. (A) Valor promedio NDVI para ‘Sweet Celebration’; (B) Ψ potencial hídrico en hoja. Donde: T1 (60 por ciento - ETc), T2 (80 por ciento - ETc), T3 (100 por ciento - ETc), T4 (120 por ciento - ETc), y T5 (140 por ciento - ETc)

El índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) medido para 'Sweet Celebration' no registro diferencias significativas con respecto a los tratamientos hídricos. En consecuencia, las diferencias observadas son numéricas. Como se muestra en la Figura 12 (A), el T1 (60 por ciento - ETc) arrojó un valor NDVI de 0.42 para el primer sobrevuelo y 0.40 para el segundo, notándose en este último una leve disminución del valor NDVI respecto a la primera medición siendo así el tratamiento T1 (60 por ciento - ETc) el que muestra los valores más bajos en comparación con los demás tratamientos; para el T4 (120 por ciento - ETc) se obtuvo un valor NDVI de 0.49 para el primer sobrevuelo y de 0.44 para el segundo sobrevuelo mostrando así los mayores valores del índice de vegetación respecto a los demás tratamientos, dentro de este orden de ideas el T3 (100 por ciento - ETc) obtuvo un valor de 0.43 en el primer y en el segundo sobrevuelo por consiguiente no se observaron variaciones numéricas entre los dos momentos de evaluación.

Por otra parte, los valores del Ψ potencial hídrico mostraron que existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. El valor más bajo (-0.49 Mpa) lo presentó el T1 (60 por ciento - ETC) y fue estadísticamente diferente a todos los otros tratamientos a excepción del T2 (80 por ciento - ETc) que arrojó -0.42 Mpa, valor que fue estadísticamente similar a los valores del resto de tratamientos.

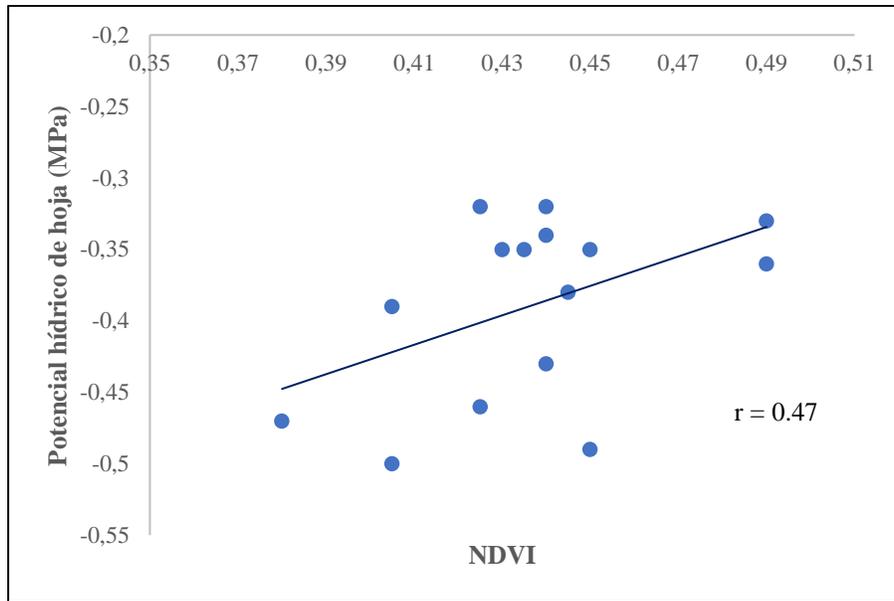


Figura 13. Correlación entre NDVI y Ψ en hoja para ‘Sweet Celebration’

En la Figura 13 se muestra la correlación que existe entre el NDVI y Ψ potencial hídrico que indica un $r = 0.47$ reflejándose una correlación positiva lineal, sin embargo, las dos variables evaluadas tienen una asociación cercana al 50 por ciento lo que indica que el aumento o la disminución de alguna de las variables no explica el comportamiento de la otra variable.

4.1.2. Respuesta multispectral obtenida para ‘Sweet Surprise’

En la Figura 14 (A) se muestran los resultados para el índice NDVI en ‘Sweet Surprise’; y en la Figura 14(B) se encuentran los resultados del Ψ potencial hídrico medidos para el mismo cultivar.

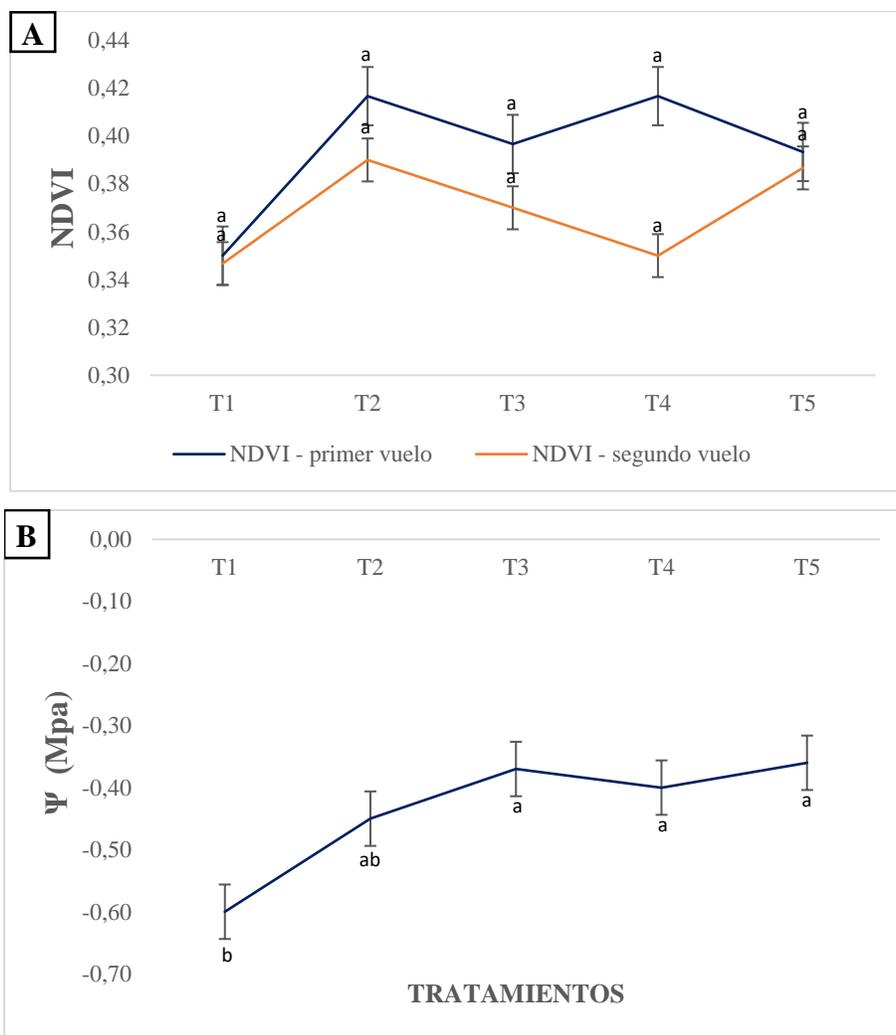


Figura 14. (A) Valor promedio NDVI para ‘Sweet Surprise’; y (B) Ψ potencial hídrico en hoja. Donde: T1 (60 por ciento - ETc), T2 (80 por ciento - ETc), T3 (100 por ciento - ETc), T4 (120 por ciento - ETc), y T5 (140 por ciento - ETc)

El índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) medido para ‘Sweet Surprise’ no registro diferencias significativas con respecto a los tratamientos hídricos. En consecuencia, las diferencias observadas son numéricas. Como se muestra en la Figura 14 (A) el T1 (60 por ciento - ETc) arrojó un valor NDVI de 0.35 para el primer y segundo sobrevuelo, siendo así el tratamiento que mostro los valores más bajos en comparación con los demás tratamientos. Por otro lado, el T2 (80 por ciento - ETc) y T4 (120 por ciento - ETc), mostrando los mayores valores NDVI con valores que oscilaron entre 0.42 y 0.35.

Por otra parte, los valores del Ψ potencial hídrico mostraron que existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. El valor más bajo (-0.6 Mpa) lo presentó el T1 (60 por ciento - ETc) y fue estadísticamente diferente a todos los otros tratamientos.

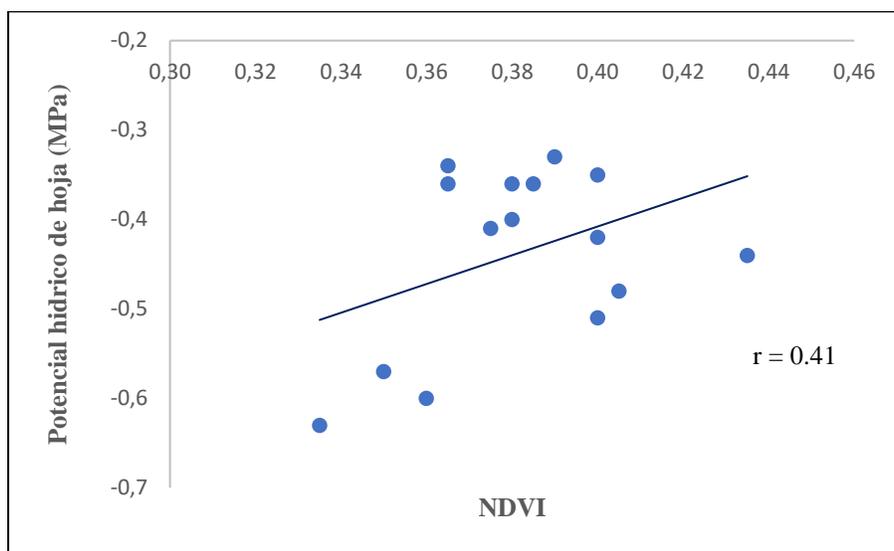


Figura 15. Correlación entre NDVI y Ψ en hoja, para ‘Sweet Surprise’

En la Figura 15 se muestra la correlación que existe entre el NDVI y Ψ potencial hídrico que indica un $r = 0.41$ reflejándose una correlación positiva lineal. Las dos variables evaluadas tienen una asociación cercana al 40 por ciento lo que indica que el aumento o la disminución de alguna de las variables no explica el comportamiento de la otra variable.

4.1.3. Respuesta multispectral obtenida para ‘Sweet Sapphire’

En la Figura 16 (A) se muestran los resultados para el índice NDVI en ‘Sweet Sapphire’; y en la Figura 16 (B) se encuentran los resultados del Ψ potencial hídrico medido para el mismo cultivar.

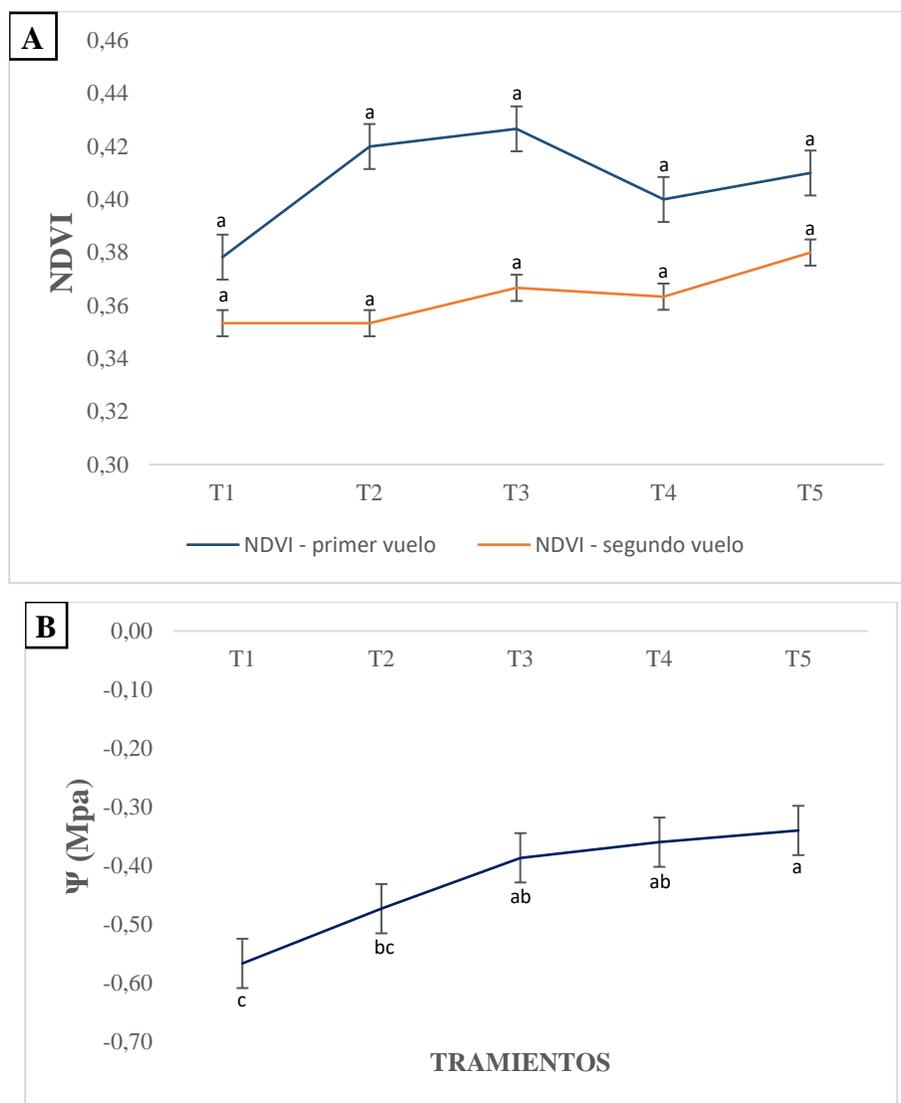


Figura 16. (A) Valor promedio NDVI calculado para ‘Sweet Sapphire’; y (B) Ψ potencial hídrico en hoja. Donde: T1 (60 por ciento - ETc), T2 (80 por ciento - ETc), T3 (100 por ciento - ETc), T4 (120 por ciento - ETc), y T5 (140 por ciento - ETc)

El índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) medido para ‘Sweet Sapphire’ no registro diferencias significativas con respecto a los tratamientos hídricos. En consecuencia, las diferencias observadas son numéricas. Como se muestra en la Figura 16 (A), el T1 (60 por ciento - ETC) arrojó un valor NVDI de 0.38 para el primer sobrevuelo y 0.35 para el segundo, siendo así el tratamiento que muestra los valores más bajos en comparación con los demás tratamientos. Para el T3 (100 por ciento - ETC) se obtuvo un valor de 0.43 para el primer vuelo con una leve disminución para el segundo vuelo, este tratamiento mostro los valores NDVI más altos respecto a los demás tratamientos.

Por otra parte, los valores del Ψ potencial hídrico mostraron que existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. El valor más bajo (-0.49 Mpa) lo presentó el T1 (60 por ciento - ETC).

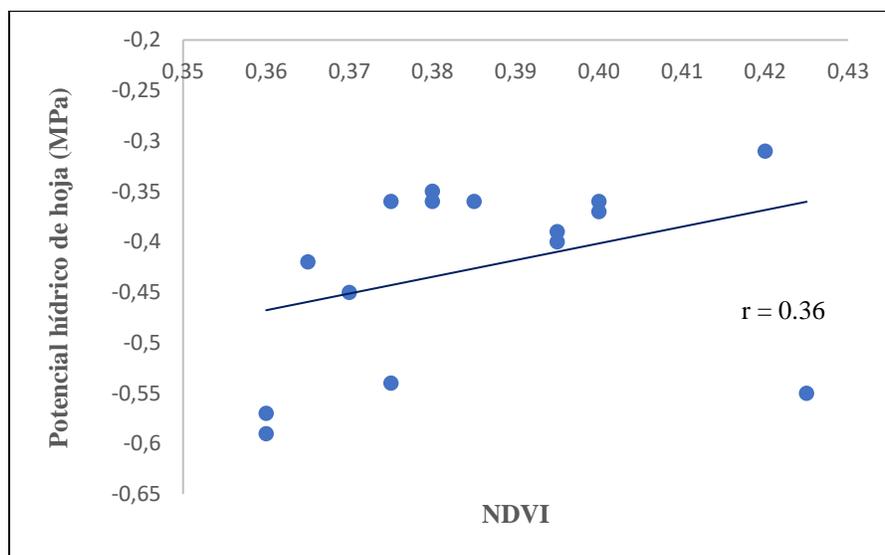


Figura 17. Correlación entre NDVI y Ψ en hoja para ‘Sweet Sapphire’

En la Figura 17 se muestra la correlación que existe entre el NDVI y Ψ potencial hídrico que indica un $r = 0.36$ reflejándose una correlación positiva lineal. Las dos variables evaluadas tienen una asociación cercana al 40 por ciento lo que indica que el aumento o la disminución de alguna de las variables no explica el comportamiento de la otra variable.

Mediante la captura de imágenes multiespectrales fue posible calcular y estimar el índice de vegetación NDVI para cada uno de los tratamientos establecidos en el presente estudio. Para el caso de los tres cultivares evaluadas ('Sweet Celebration', 'Sweet Surprise' y 'Sweet Sapphire') fue posible identificar los rangos del NDVI, cuyos valores máximos y mínimos oscilaron entre 0.49 a 0.35 entre tratamientos. Los valores más altos correspondieron a los tratamientos con riego óptimo mientras que los valores más bajos correspondieron a los tratamientos con riego deficitario.

Dentro del contexto anterior García y Seingier (2018) tras varios años de investigación determinaron que los valores NDVI son mayores en las zonas húmedas con relación a las zonas secas, en concordancia Acevedo *et al.* (2008) manifiestan que las plantas con estrés hídrico tienden a mostrar valores NDVI por debajo de aquellas zonas con mejores condiciones hídricas debido a que el estrés hídrico genera un impacto en el crecimiento y desarrollo vegetativo (Luna *et al.* 2012; Potters *et al.* 2007), lo que a su vez puede limitar el área foliar (Shao *et al.* 2008) y el vigor de las plantas (Kharuf *et al.* 2018; Santesteban *et al.* 2010). En consecuencia, con lo anterior las características morfológicas de la hoja, la arquitectura de la planta, y los diferentes componentes bioquímicos como pigmentos, celulosa, almidón y agua; determinan la cantidad de radiación solar reflejada lo que su vez incide en los valores NDVI calculados (Huber 2008).

De las evidencias anteriores es necesario resaltar que el NDVI puede ser catalogado como un indicador de la condición hídrica de las plantas, sin embargo, las estimaciones están condicionadas por la integración, acumulación y correlación de la información (Baluja *et al.* 2012), esto supone que es posible identificar cambios en las plantas a través de la recopilación de data a lo largo del tiempo (Aguilar 2015).

Respecto a las variables NDVI y potencial hídrico (Ψ), se encontró una correspondencia lineal positiva no significativa; resultados similares fueron encontrados por González *et al.* (2016) sin embargo, en la medida que se prolongue el efecto del estrés hídrico en las plantas se podría esperar que las correlaciones aumenten (Gálvez 2020), teniendo en consideración

que Ψ es un indicador del estado hídrico de las plantas de vid (López 2005) y el NDVI fluctúa ante más modificaciones hídricas.

4.2. REPUESTA TÉRMICA

Las imágenes captadas con la cámara térmica Flir pro R a bordo de un drone, permitieron generar dos mosaicos térmicos de la zona de estudio, que corresponden a dos épocas diferentes del ciclo productivo. Los resultados obtenidos permitieron definir valores promedio de temperatura en las zonas de estudio. La información se contrastó con parámetros fisiológicos tales como el potencial hídrico, el cual fue medido en campo para las tres variedades objeto de estudio.

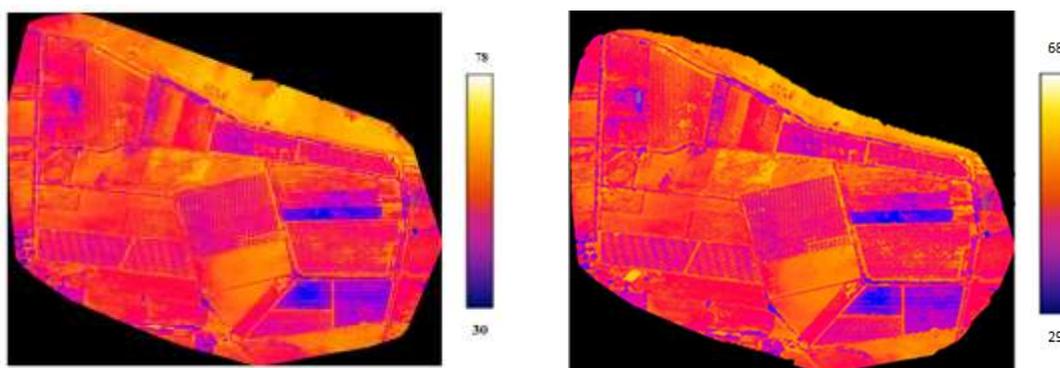


Figura 18. Mosaicos térmicos obtenidos a partir de imágenes térmicas captadas con una cámara Flir pro R

Los mosaicos térmicos que se muestran en la Figura 18 visualizan e identifican las zonas de la viña que emitían mayor y menor calor durante los vuelos ejecutados. La primera imagen ubicada a la izquierda corresponde al vuelo uno mientras que la imagen ubicada a la derecha corresponde al vuelo dos. El color rojo en las imágenes representa las áreas con las temperaturas más altas y el color azul simboliza las áreas más frías.

A continuación, se anotan las temperaturas promedio captadas por el sensor correspondientes a cada variedad.

4.2.1. Respuesta térmica obtenida para ‘Sweet Celebration’

En la Figura 19 (A) se muestran los promedios de temperatura captadas para ‘Sweet Celebration’. En la Figura 19 (B) se encuentran los resultados del potencial hídrico medido para el mismo cultivar.

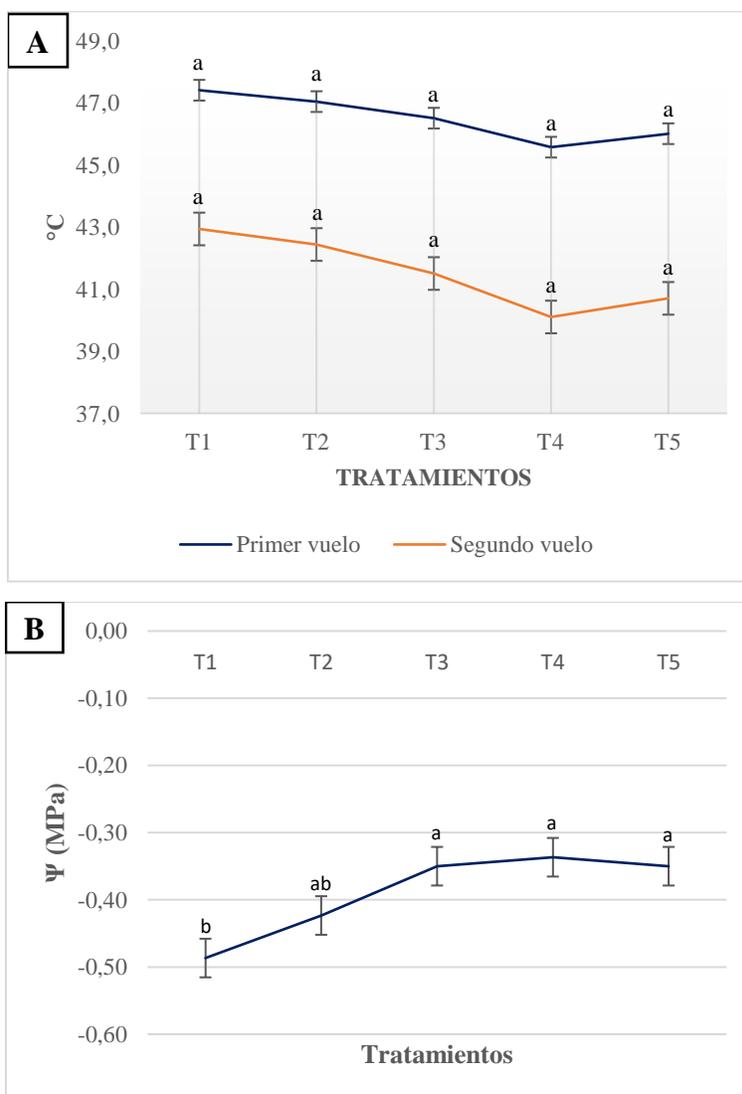


Figura 19. (A) Valor promedio de la temperatura registrada por la cámara Flir en ‘Sweet Celebration’ (B) potencial hídrico (Ψ). Donde: T1 (60 por ciento - ETc), T2 (80 por ciento - ETc), T3 (100 por ciento - ETc), T4 (120 por ciento - ETc) y T5 (140 por ciento - ETc)

Como se muestra en la Figura 19 (A), el T1 (60 por ciento - ETc) mostro la mayor temperatura con una diferencia de hasta 2.8 °C por encima de los demás tratamientos; a la vez el tratamiento T1 (60 por ciento - ETc) registra los valores más negativos en las mediciones del potencial hídrico con un valor de -0.49.

El ANOVA realizado para determinar las diferencias de temperatura de las plantas indicó que no existe significancia estadística entre los valores promedio de temperatura registrada para los tratamientos y durante los dos sobrevuelos ejecutados (nivel de significancia del 0.01). En consecuencia, las diferencias observadas son numéricas y la tendencia de la variación entre tratamientos fue similar en ambos vuelos, menor temperatura a medida que se incrementa la ETc, al menos hasta T4 (120 por ciento - ETc). Esta tendencia es inversa a la registrada para el potencial hídrico, el cual se incrementa conforme aumenta la ETc de los tratamientos, al menos hasta T3 (100 por ciento - ETc). En la Figura 19 (B) se encuentran los valores de potencial hídrico medidos en hoja recopilados al medio día.

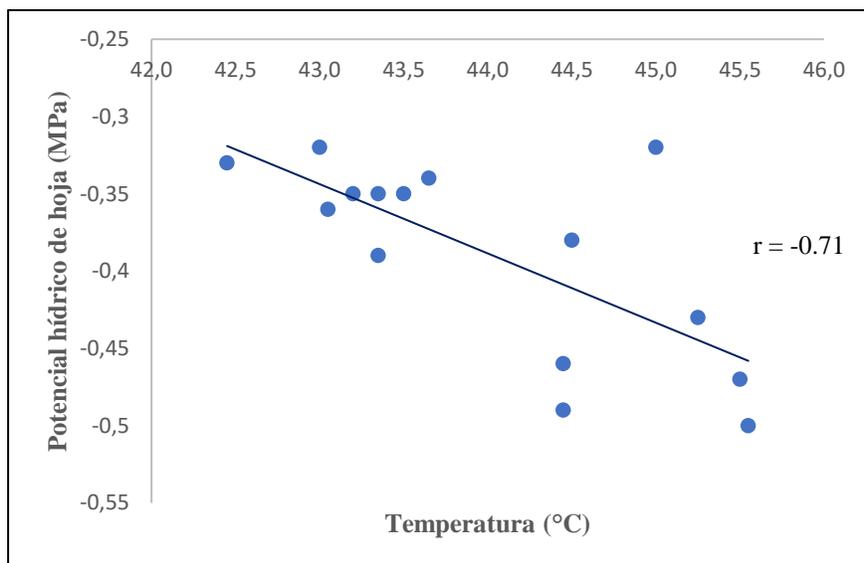


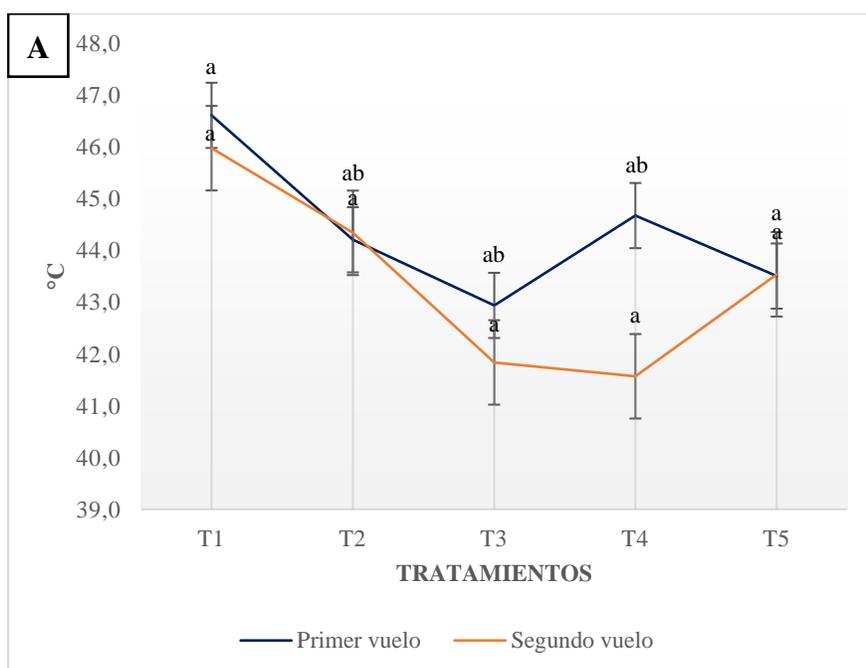
Figura 20. Correlación temperatura promedio del dosel y Ψ para ‘Sweet Celebration’

En la Figura 20 se muestra la correlación que existe entre la temperatura del dosel y Ψ potencial hídrico, indicándose un $r = -0.71$ reflejándose una correlación negativa lineal. Las

dos variables evaluadas tienen una asociación cercana al 70 por ciento. En la medida que el valor de la temperatura se incrementa el Ψ potencial hídrico es más negativo.

4.2.2. Respuesta térmica obtenida para 'Sweet Surprise'

En la Figura 21(A) se muestran los promedios de temperatura captadas para 'Sweet Surprise', mientras que en la Figura 21(B) se encuentran los resultados del potencial hídrico medido en la hoja al medio día, para el mismo cultivar.



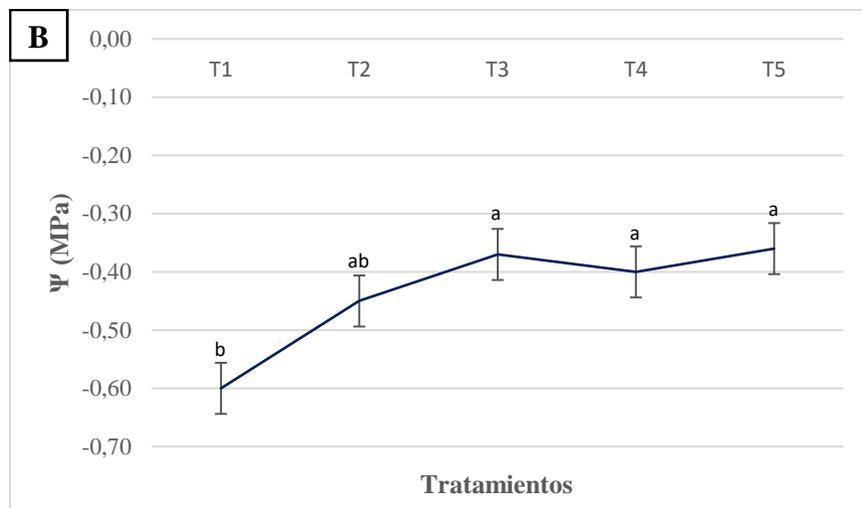


Figura 21. (A) Valor promedio de la temperatura registrada por la cámara Flir en ‘Sweet Surprise’; (B) Ψ en hoja. Donde: T1 (60 por ciento -ETc), T2 (80 por ciento - ETc), T3 (100 por ciento - ETc), T4 (120 por ciento - ETc) y T5 (140 por ciento - ETc)

Como se muestra en la Figura 21(A), el T1 (60 por ciento - ETc) mostró la mayor temperatura con hasta 4.4°C por encima de los demás tratamientos, seguido del T4 (120 por ciento - ETc) y el T2 (80 por ciento - ETc) con 1.3°C por encima de los tratamientos T3(100 por ciento - ETc) y el T5(140 por ciento - ETc). A la vez, el T1 (60 por ciento - ETc), exhibió los valores más negativos en las mediciones del potencial hídrico con -0.60 Mpa.

El ANOVA realizado para determinar las diferencias de temperatura de las plantas indicó para el primer vuelo diferencias significativas entre los tratamientos; mientras que, para el segundo sobrevuelo, no existe significancia estadística entre los valores promedio de temperatura registrada para los tratamientos (nivel de significancia del 0.01). En consecuencia, las diferencias observadas son numéricas y la tendencia de la variación entre tratamientos fue similar en ambos vuelos menor temperatura a medida que se incrementa la ETc. Esta tendencia es inversa a la registrada para el potencial hídrico al medio día, el cual se incrementa conforme aumenta la ETc de los tratamientos, al menos hasta T3 (100 por ciento -ETc). En la Figura 21(B) se encuentran los valores de potencial hídrico.

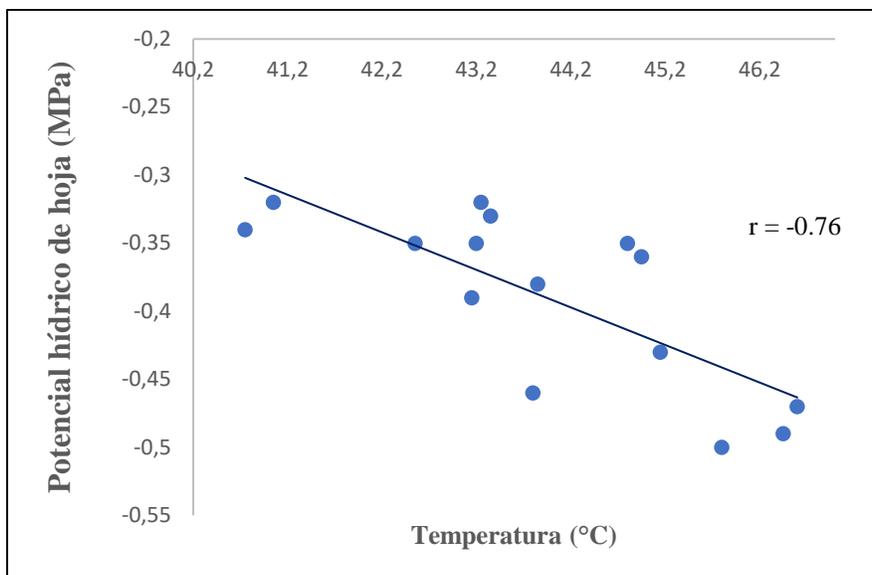


Figura 22. Correlación entre Temperatura del dosel y Ψ en hoja para ‘Sweet Surprise’

En la Figura 22 se muestra la correlación que existe entre la temperatura del dosel y potencial hídrico (Ψ), indicándose un $r = -0.76$ reflejándose una correlación negativa lineal. Las dos variables evaluadas tienen una asociación cercana al 70 por ciento. En la medida que el valor de la temperatura se incrementa el Ψ potencial hídrico es más negativo.

4.2.3. Respuesta térmica obtenida para ‘Sweet Sapphire’

En la Figura 23(A) se muestran los promedios de temperatura captadas para ‘Sweet Sapphire’. En la Figura 23 (B) se encuentran los resultados del potencial hídrico (Ψ) en el mismo cultivar.

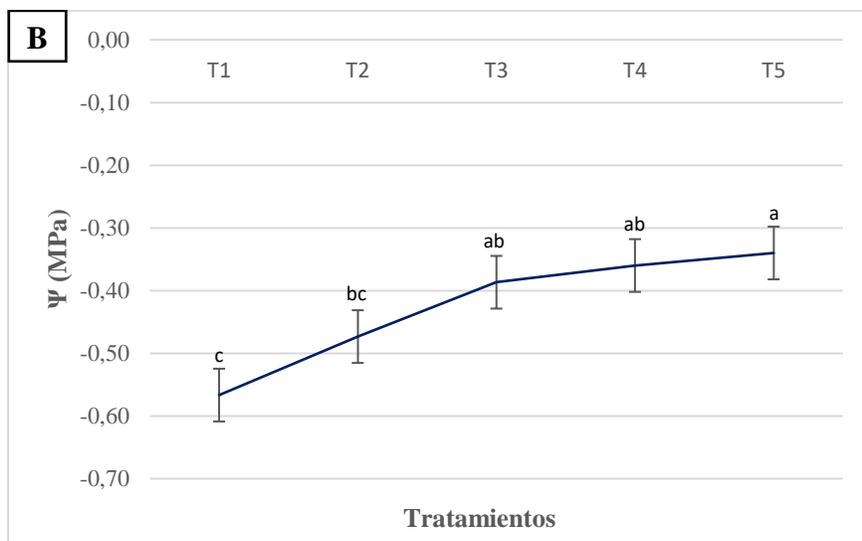
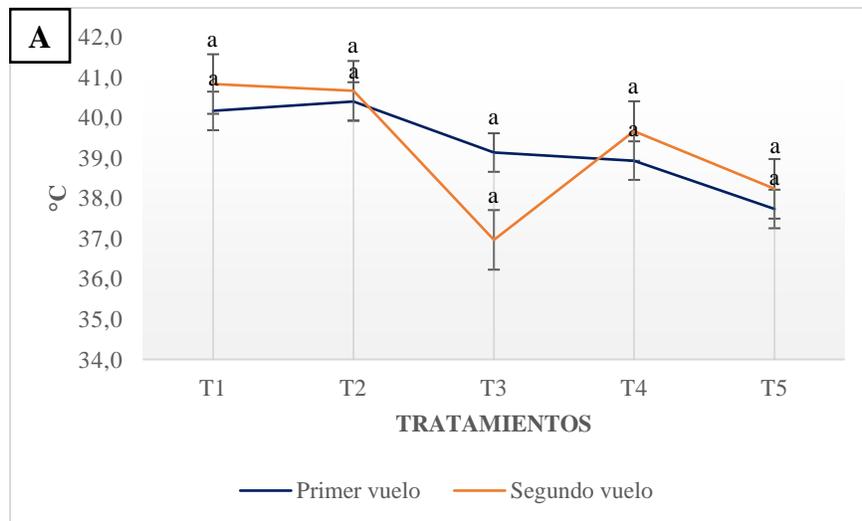


Figura 23. (A) Valor promedio de la temperatura registrada por la cámara Flir en ‘Sweet Sapphire’; (B) Ψ en hoja. Donde: T1 (60 por ciento - ETc), T2 (80 por ciento - ETc), T3 (100 por ciento - ETc), T4 (120 por ciento - ETc) y T5 (140 por ciento - ETc)

Como se muestra en la Figura 23 (A), el T1 (60 por ciento - ETc) en el vuelo uno, registró la mayor temperatura por encima de los demás tratamientos con hasta 2.5 °C, mientras que para el vuelo dos, el T2 (80 por ciento - ETc), con hasta 3.8 °C, exhibió la mayor temperatura. A la vez, el T1 (60 por ciento - ETc) y el T2 (80 por ciento - ETc) mostraron los valores más negativos en las mediciones del potencial hídrico con -0.57 y 0.47 Mpa, respectivamente.

El ANOVA realizado para determinar las diferencias de temperatura de las plantas indicó que no existe significancia estadística entre los valores promedio de temperatura registrada para los tratamientos y durante los dos sobrevuelos ejecutados (nivel de significancia del 0.01). En consecuencia, las diferencias observadas son numéricas, Sin embargo, la tendencia de la variación entre tratamientos fue similar en ambos vuelos: menor temperatura a medida que se incrementa la ETc. Esta tendencia es inversa a la registrada para el potencial hídrico (Ψ), el cual se incrementa conforme aumenta la ETc de los tratamientos. En la Figura 23 (B) se encuentran los resultados de la medición del potencial hídrico (Ψ).

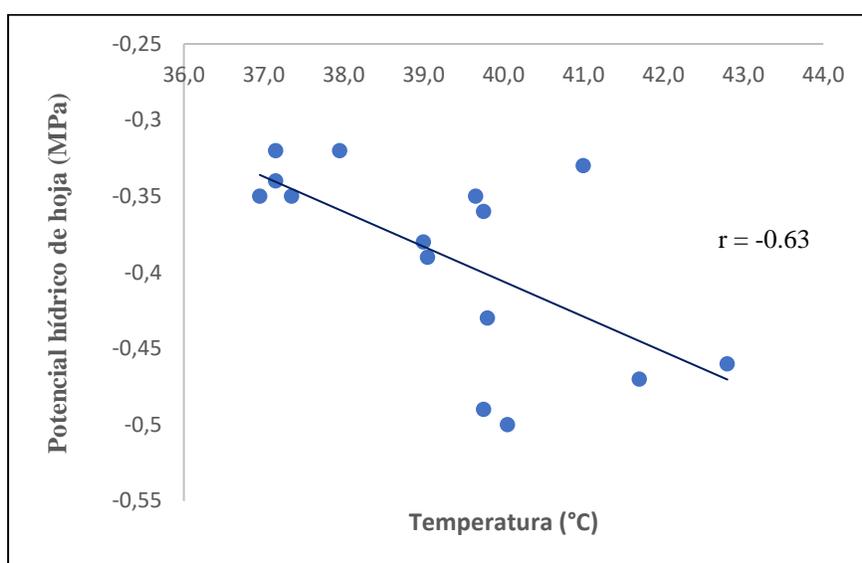


Figura 24. Correlación entre Temperatura del dosel y Ψ en hoja para ‘Sweet Sapphire’

En la Figura 24 se muestra la correlación que existe entre la temperatura del dosel y el potencial hídrico (Ψ), indicándose un $r = -0.63$ reflejándose una correlación negativa lineal. Las dos variables evaluadas tienen una asociación cercana al 63 por ciento. En la medida que el valor de la temperatura se incrementa el Ψ potencial hídrico es más negativo.

A través de las imágenes térmicas captadas en el presente estudio fue posible identificar la respuesta térmica en la superficie del dosel para los tres cultivares evaluados (‘Sweet Celebration’, ‘Sweet Surprise’ y ‘Sweet Sapphire’). Los tratamientos bajo déficit hídrico registraron la mayor temperatura, con hasta 4.2 °C por encima de los demás tratamientos.

Resultados similares fueron obtenidos por Poblete *et al.* (2016) quienes señalaron diferencias de temperaturas de hasta 4°C entre plantas que se encontraban bajo estrés hídrico con aquellas que no lo estaban. Lo anterior puede ser explicado debido a que las plantas bajo un inadecuado abastecimiento de agua disminuyen la transpiración debido al cierre parcial de las estomas minimizando así las pérdidas de agua; lo que se traduce en una mayor temperatura del follaje (Jones 2004; Jackson 1982; Pire *et al.* 1988). Según Roelfsema y Hedrich (2002), el cierre estomático puede deberse a que las plantas bajo estrés hídrico incrementan la presencia del ácido abscísico (ABA), produciendo una pérdida de iones de K⁺ y de aniones Cl⁻ o malato²⁻ en las células guarda. Esto provoca una salida de agua del citoplasma, dando lugar al cierre de las estomas.

Lo anterior, sugiere que el incremento de la temperatura en el dosel causado por una condición de estrés puede ser captado a través de la teledetección y a partir de la interpretación de las imágenes térmicas, siendo así la termografía una herramienta de diagnóstico hídrico cuya efectividad dependerá del grado de sensibilidad de algunos cultivares frente a las condiciones de estrés (Belfiore *et al.* 2019), tomando como base la estimación del Ψ hoja, toda vez que este es considerado como un indicador del estado hídrico debido a que el Ψ se afecta en la medida que la disponibilidad de agua fluctúa (Ferreira *et al.* 2002; Ferreira *et al.* 2006). Por otro lado, se halló una correlación lineal negativa moderada entre la temperatura y el Ψ en hoja, anotándose que, resultados similares fueron reportados por García (2010) y dejando de manifiesto que la estimación del potencial hídrico no podría ser sustituir por la metodología térmica, teniendo en cuenta que no es lo suficientemente precisa por sí sola y se evidencia la necesidad de continuar acumulando mediciones que faciliten la zonificación del viñedo de acuerdo a las limitaciones hídricas que se puedan presentar.

4.3. RENDIMIENTO DE MATERIA SECA EN MATERIAL DE PODA

Los resultados obtenidos muestran los valores de rendimiento de materia seca sobre el material de poda medidos antes y después del establecimiento de los tratamientos.

4.3.1. Resultados de rendimiento de materia seca obtenidos para ‘Sweet Celebration’

En la Figura 25 se muestran los resultados de rendimiento de materia seca medida en poda para ‘Sweet Celebration’. La unidad de medida esta expresada en kg/planta

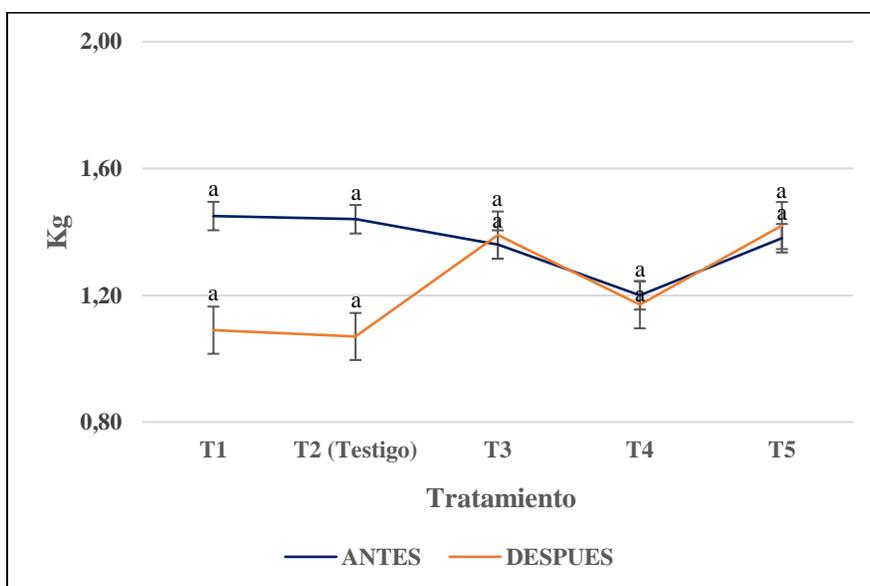


Figura 25. Materia seca medido antes y después del establecimiento de los tratamientos para ‘Sweet Celebration’. Donde: T1 (60 por ciento - ETc), T2 (80 por ciento - ETc), T3 (100 por ciento - ETc), T4 (120 por ciento - ETc), y T5 (140 por ciento - ETc)

El ANOVA realizado indicó que no existe significancia estadística entre los datos registrados durante los dos momentos de evaluación (nivel de significancia del 0.01). En consecuencia, las diferencias observadas son numéricas, notándose una reducción en los valores para los tratamientos T1 (60 por ciento - ETc), T2 (80 por ciento - ETc) y T4 (120 por ciento - ETc) entre la primera y la segunda fecha de evaluación.

4.3.2. Resultados rendimiento de materia seca obtenidos para ‘Sweet Surprise’

En la Figura 26 se muestran los resultados de rendimiento materia seca medida en poda para ‘Sweet Surprise’. La unidad de medida esta expresada en kg/planta.

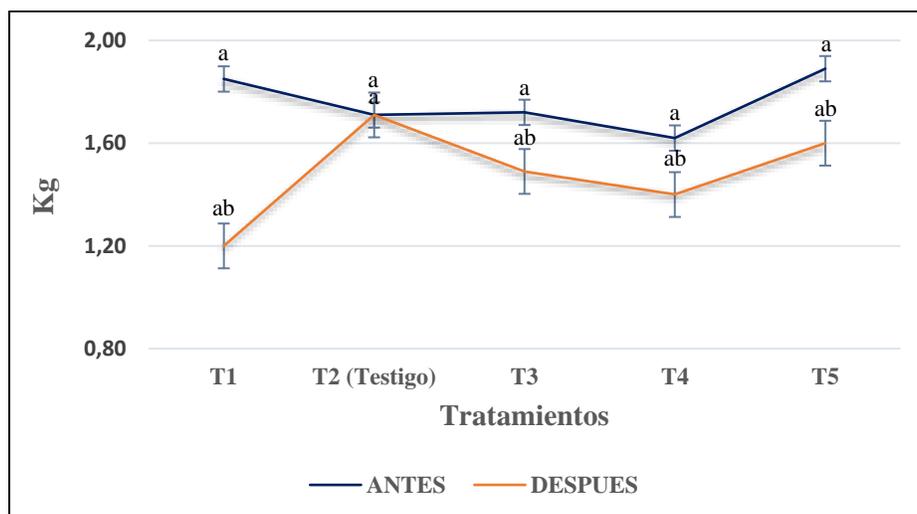


Figura 26. Porcentaje de Materia seca medido antes y después del establecimiento de los tratamientos para ‘Sweet Surprise’ Donde: T1 (60 por ciento - ETc), T2 (80 por ciento - ETc), T3 (100 por ciento - ETc), T4 (120 por ciento - ETc), y T5 (140 por ciento - ETc)

El ANOVA realizado indico que no existe significancia estadística entre los datos registrados para los tratamientos antes del establecimiento de los mismo; por otro lado, para el segundo momento de evaluación, el ANOVA indicó diferencias significativas entre tratamientos (nivel de significancia del 0.01). En consecuencia, las diferencias observadas son principalmente numéricas, notándose una reducción en los valores de materia seca en los tratamientos T1 (60 por ciento - ETc), T3 (100 por ciento - ETc), T4 (120 por ciento - ETc) y T5 (140 por ciento - ETc) entre la primera y segunda fecha evaluada, mientras que el T2 (80 por ciento - ETc) mantuvo los mismos valores para las dos fechas.

4.3.3. Resultados de rendimiento materia seca obtenidos para ‘Sweet Sapphire’

En la Figura 27 se muestran los resultados de rendimiento de materia seca medida en poda para ‘Sweet Sapphire’. La unidad de medida esta expresada en kg/planta.

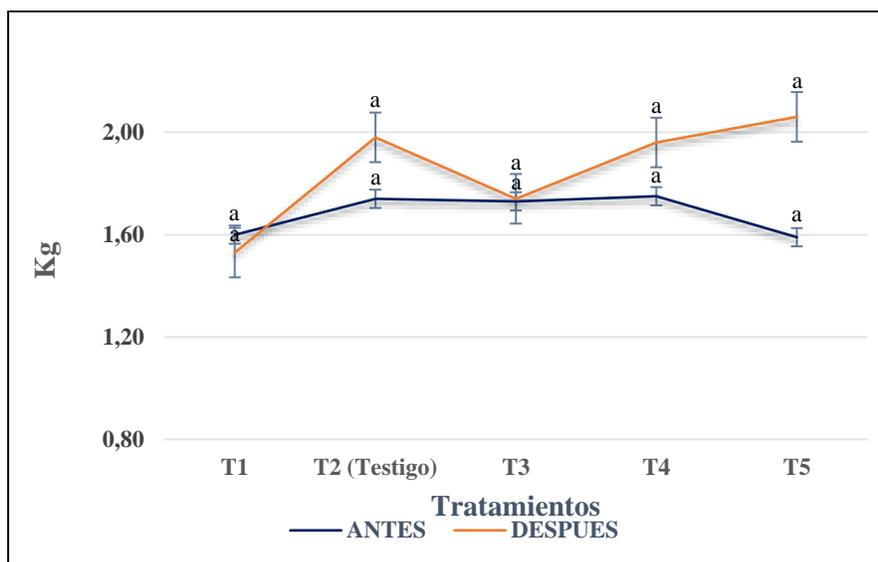


Figura 27. Porcentaje de materia seca medido antes y después del establecimiento de los tratamientos para ‘Sweet Sapphire’. Donde: T1 (60 por ciento - ETc), T2 (80 por ciento - ETc), T3 (100 por ciento - ETc), T4 (120 por ciento - ETc), y T5 (140 por ciento - ETc)

El ANOVA realizado indicó que no existe significancia estadística entre los datos registrados para los tratamientos durante los dos momentos de evaluación (nivel de significancia del 0.01). En consecuencia, las diferencias observadas son numéricas, notándose una reducción en los valores de materia seca en los tratamientos T1 (60 por ciento - ETc), entre la primera y segunda fecha evaluada, mientras que el T2 (80 por ciento - ETc), T3 (100 por ciento - ETc), T4 (120 por ciento - ETc) Y T5 (140 por ciento - ETc). aumentaron los valores para la segunda fecha.

En la presente investigación se encontraron diferencias numéricas para el rendimiento de materia seca en los tratamientos bajo déficit hídrico T1 (60 por ciento - Etc) para los tres cultivares (Sweet celebration, Sweet surprise y Sweet sapphire) de acuerdo con Gómez del

Campo *et al.* (2005), Pérez (2002); Di Vaio *et al.* (2013) el estatus hídrico en las plantas de vid llega a ser determinante en la producción de materia seca y la asignación de carbohidratos, en este sentido León *et al.* (2021) mencionan que el estrés hídrico afecta la movilización de los fotoasimilados así mismo la acumulación materia seca llega a verse favorecida en la medida que las condiciones de hídricas son óptimas para las plantas (Bartolomé 1993) de igual manera la distribución de materia seca se ve influenciada por las diferentes prácticas de manejo dentro de las que se puede mencionar los aportes hídricos (Petrie *et al.* 2000).

4.4. EFECTO DE LOS REGIMENES DE RIEGO SOBRE LA PRODUCCIÓN

Los resultados obtenidos muestran la producción promedio expresada en kilogramos/planta para ‘Sweet Celebration’, ‘Sweet Surprise’ y ‘Sweet Sapphire’.

4.4.1. Producción obtenida para ‘Sweet Celebration’

En la Figura 28 se muestran los resultados de producción (kg/planta) para ‘Sweet Celebration’

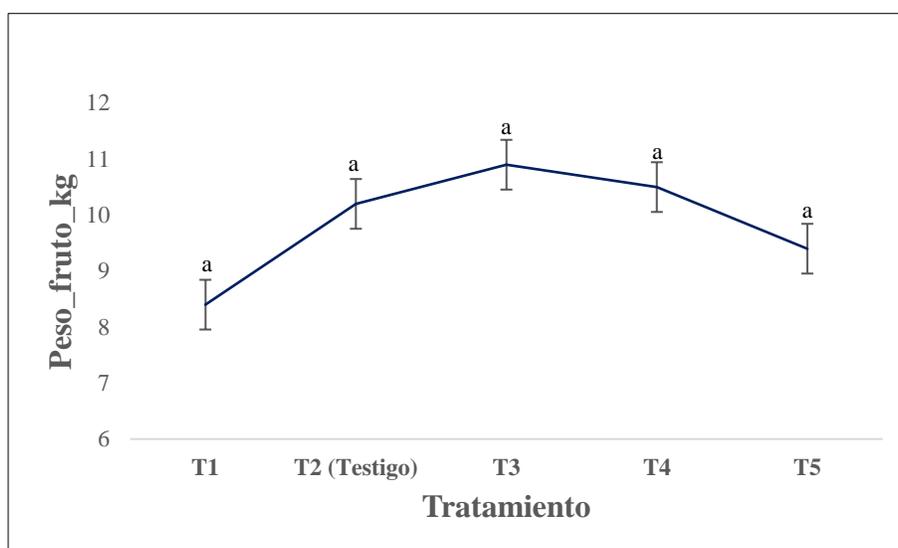


Figura 28. Producción promedio (kg/planta) para ‘Sweet Celebration’. Donde: T1 (60 por ciento - ETc), T2 (80 por ciento - ETc), T3 (100 por ciento - ETc), T4 (120 por ciento - ETc), y T5 (140 por ciento - ETc)

El ANOVA realizado para determinar si la producción de las plantas varía de acuerdo con los regímenes de riego evaluados, indicó que no existe significancia estadística entre los valores promedio de la producción calculados para los tratamientos y durante el ciclo productivo evaluado (nivel de significancia del 0.01). En consecuencia, las diferencias encontradas son numéricas. Se observó que el T3 (100 por ciento - ETc) con 10.9 kg, seguido del T4 (100 por ciento - ETc) con 10.5 kg, mostraron una ganancia de peso levemente

superior frente a los otros tratamientos, siendo el T1 (60 por ciento - ETc) con 8.4 kg el que mostró la producción más baja respecto a los demás tratamientos.

4.4.2. Producción obtenida para ‘Sweet Surprise’

En la Figura 29 se muestran los resultados de producción (kg/ planta) para ‘Sweet Surprise’

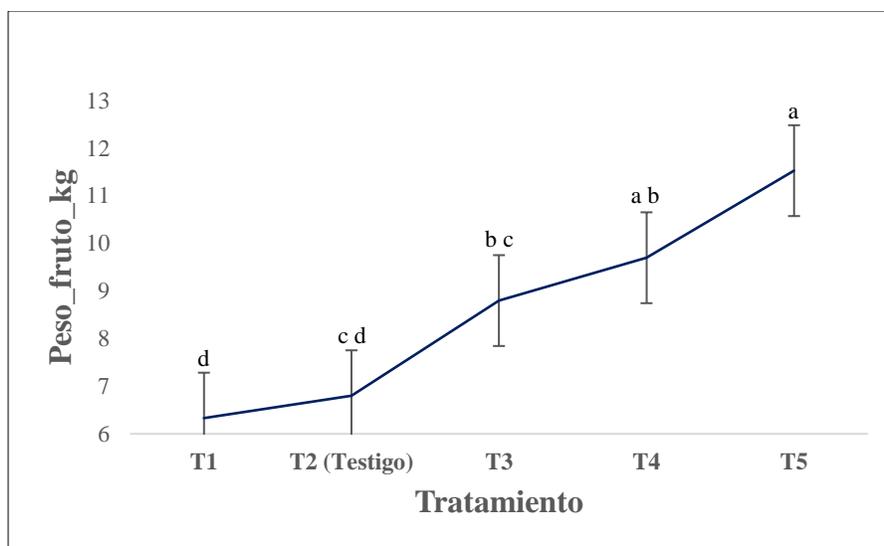


Figura 29. Producción promedio (kg/planta) para ‘Sweet Surprise’. Donde: T1 (60 por ciento - ETc), T2 (80 por ciento - ETc), T3 (100 por ciento - ETc), T4 (120 por ciento - ETc), y T5 (140 por ciento - ETc)

El ANOVA realizado para determinar si la producción de las plantas varía de acuerdo con los regímenes de riego evaluados, indicó que existe significancia estadística entre los valores promedio de producción calculados para los tratamientos y durante el ciclo productivo evaluado (nivel de significancia del 0.01). Se observó que el tratamiento T5 (140 por ciento - ETc) con 11.5 kg mostró la mayor producción frente a los demás tratamientos, seguida del T4 (120 por ciento - ETc) con 9.7 kg/, siendo el T1 (60 por ciento - ETc) con 6.3 kg/planta, el que mostró la menor producción entre tratamientos.

4.4.3. Producción obtenida para ‘Sweet Sapphire’

En la Figura 30 se muestran los resultados de producción (kg/ planta) para ‘Sweet Sapphire’

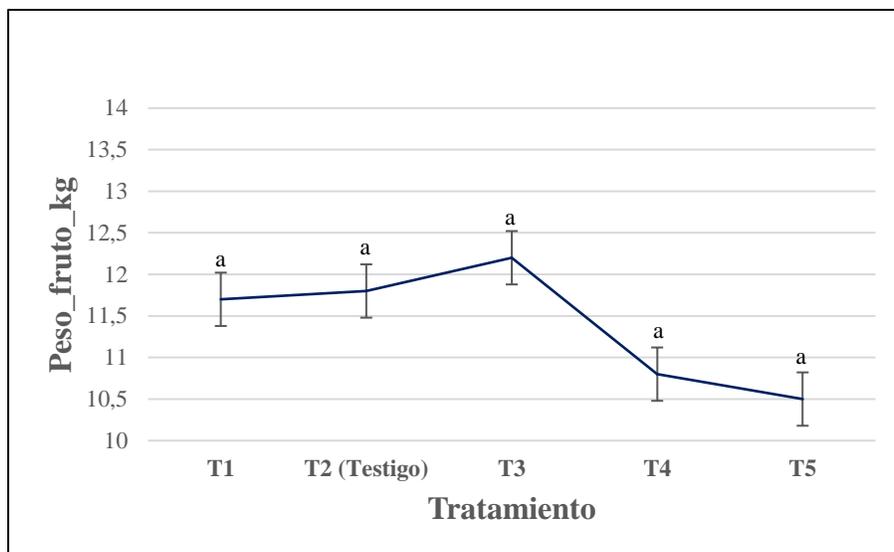


Figura 30. Producción promedio (kg/planta) para ‘Sweet Sapphire’. Donde: T1 (60 por ciento - ETc), T2 (80 por ciento - ETc), T3 (100 por ciento - ETc), T4 (120 por ciento - ETc), y T5 (140 por ciento - ETc)

El ANOVA realizado para determinar si la producción de las plantas varía de acuerdo con los regímenes de riego evaluados, indicó que no existe significancia estadística (nivel de significancia del 0.01). En consecuencia, las diferencias encontradas son numéricas. Se observó que el T3 (100 por ciento - ETc) con 12.2 kg/planta, alcanzó una ganancia de peso superior respecto a los otros tratamientos, siendo el T1 (60 por ciento - ETc) con 11.7 kg/planta, y T5 (140 por ciento - ETc) con 10.5 kg/planta, los que mostraron la menor ganancia de peso.

A través de la presente investigación se encontró que los valores de producción más bajos los registraron los tratamientos bajo déficit hídrico en los tres cultivares; de acuerdo con Ferreyra *et al.* (2006); Faci *et al.* (2009); y, Martínez (2015) el inadecuado abastecimiento de agua en la vid afecta la productividad, aunque no necesariamente los efectos se ven reflejados estadísticamente para un primer año de estudio, sin embargo, si la condición hídrica limitante

continúa a través del tiempo la productividad se afectará al punto de ser perceptibles así pues, el efecto del estrés hídrico sobre la producción en plantas de vid puede variar, al respecto algunos estudios han demostrado que las plantas de vid presentan una gran capacidad de adaptación a las variaciones hídricas (Bavestrello 2012) y esto se da según sea la tolerancia de las plantas frente a las condiciones de estrés hídrico, los requerimientos hídricos de cada variedad, la intensidad del estrés hídrico, la duración, y el momento (Martínez 2015; Ibáñez 2017).

4.5. EFECTO DE LOS REGÍMENES DE RIEGO SOBRE EL COLOR DE LAS BAYAS

Los resultados obtenidos muestran el parámetro de calidad referente al color de las bayas para las tres cultivares Sweet Celebration, Sweet Surprise y Sweet Sapphire.

4.5.1. Color de las bayas para ‘Sweet Celebration’

Se observan en la Figura 31 los resultados expresados en porcentaje de la intensidad de color en las bayas según los tratamientos hídricos para ‘Sweet Celebration’

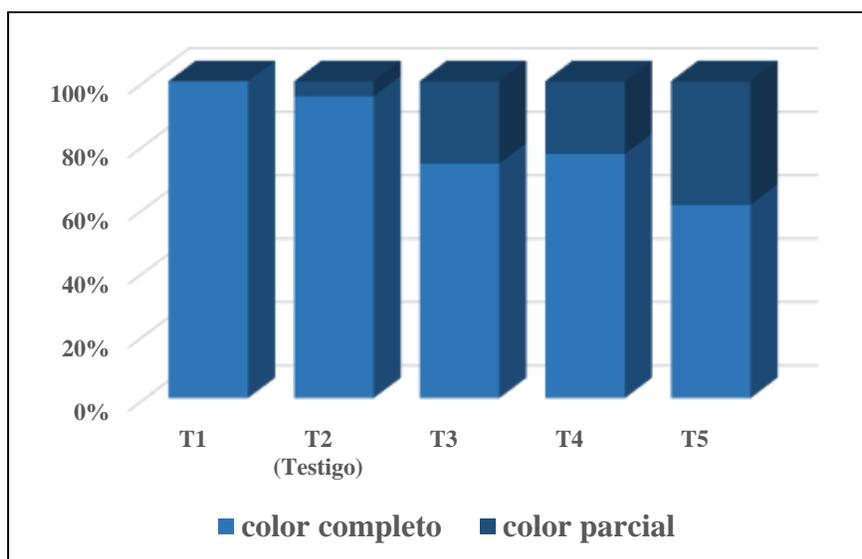


Figura 31. Porcentaje coloración del fruto para ‘Sweet Celebration’ Donde: T1 (60 por ciento - ETc), T2 (80 por ciento - ETc), T3 (100 por ciento - ETc), T4 (120 por ciento - ETc), y T5 (140 por ciento - ETc)

Para ‘Sweet Celebration’ el porcentaje de coloración adquirido por las bayas fluctuó según los tratamientos, obteniéndose una mejor respuesta en aquellos bajo déficit hídrico, en correspondencia con lo anterior se encontró que el T1 (60 por ciento - Etc) mostró una alta uniformidad, con una coloración completa en las bayas del 100 por ciento, seguido del T2 (80 por ciento - Etc) con 95 por ciento, T3 (100 por ciento - Etc) con 74 por ciento, T4 (120 por ciento - Etc) con 77 por ciento y T5 (140 por ciento - Etc) con 61 por ciento de coloración.

4.5.2. Color de las bayas para ‘Sweet Surprise’

Se observan en la Figura 32 los resultados expresados en porcentaje de la intensidad de color en las bayas según los tratamientos hídricos para ‘Sweet Surprise’.

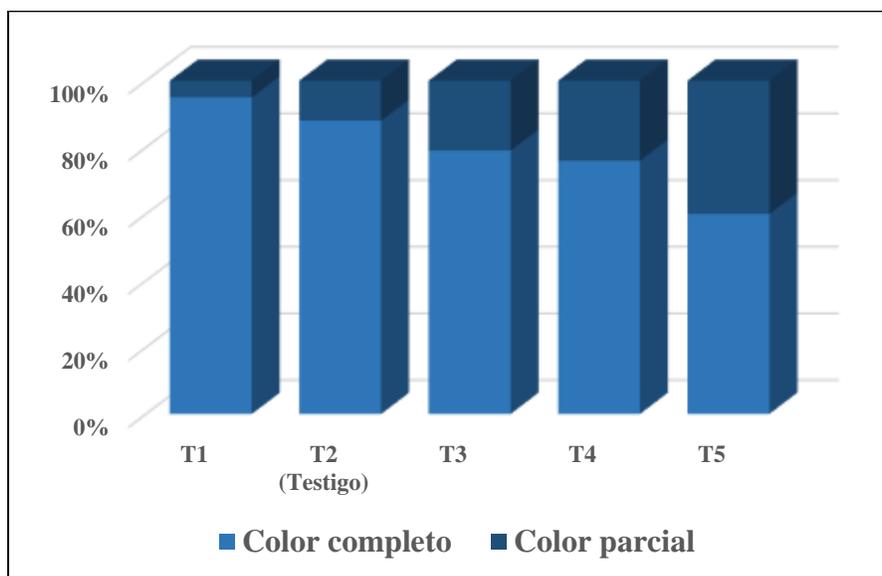


Figura 32. Porcentaje coloración del fruto para ‘Sweet Surprise’ Donde: T1 (60 por ciento - ETc), T2 (80 por ciento - ETc), T3 (100 por ciento - ETc), T4 (120 por ciento - ETc), y T5 (140 por ciento - ETc)

Para ‘Sweet Surprise’ el porcentaje de coloración adquirido por las bayas fluctuó según los tratamientos, obteniéndose una mejor respuesta en aquellos bajo déficit hídrico, en

correspondencia con lo anterior se encontró que el T1 (60 por ciento -ETc) mostró una alta uniformidad con una coloración de las bayas del 95 por ciento, seguido del T2 (80 por ciento - ETc) con 88 por ciento, T3 (100 por ciento - ETc) con 79 por ciento, T4 (120 por ciento - ETc) con 76 por ciento y T5 (140 por ciento - ETc) con 60 por ciento de coloración, resaltándose que a mayor suministro de agua menor uniformidad en el color de las bayas.

4.5.3. Color de las bayas para ‘Sweet Sapphire’

Se observan en la Figura 33 los resultados expresados en porcentaje de la intensidad de color en las bayas según los tratamientos hídricos para ‘Sweet Sapphire’.

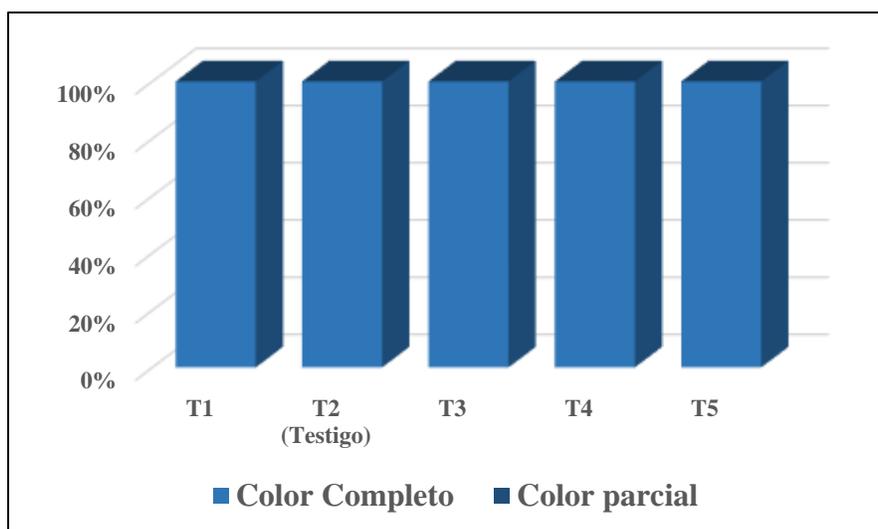


Figura 33. Porcentaje coloración del fruto para ‘Sweet Sapphire’ Donde: T1 (60 por ciento - ETc), T2 (80 por ciento - ETc), T3 (100 por ciento - ETc), T4 (120 por ciento - ETc), y T5 (140 por ciento - ETc)

Para ‘Sweet Sapphire’ el porcentaje de coloración adquirido por las bayas no fluctuó entre tratamientos, por lo que se resalta la uniformidad y coloración completa en un 100 por ciento para cada uno de los tratamientos evaluados.

Respecto al parámetro cualitativo relacionado con el color (tono) de las bayas evaluado en la presente investigación se observó que el tono llega a verse afectado de acuerdo con la

condición hídrica y el cultivar. Para el caso de ‘Sweet Sapphire’ no se encontraron cambios en el tono de las bayas frente a los tratamientos de riego, mientras que ‘Sweet Celebration’ y ‘Sweet Surprise’ mostraron variaciones en el color (tono) de las bayas frente a los tratamientos hídricos aplicados, notándose una mejor coloración en aquellos bajo déficit hídrico, conforme a lo anterior Berhe (2022) manifiesta que los componentes de calidad y rendimiento en la vid se ven afectados positiva y negativamente frente a restricciones hídricas. De manera que el déficit hídrico favorece la coloración de las bayas (Martínez 2015) al intensificar el color (Ferreyra *et al.* 2002), ya que esta condición beneficia la acumulación de antocianinas (Martínez 2015) que están definidas como los pigmentos responsables del color en las variedades rojas y negras de la vid (Ramos *et al.* 2020).

La concentración de las antocianinas es sensible a diversos factores, principalmente riego, temperatura, prácticas culturales, reguladores del crecimiento (ABA), sanidad vegetal, nutrición, luminosidad, y variabilidad en el vigor de las plantas (Martínez 2015; Peppi 2017; Cortel *et al.* 2007). Por lo tanto, cuando el crecimiento vegetativo es afectado por la condición hídrica (Chacón *et al.* 2020; Gómez-del-Campo *et al.* 2002) la fruta está sujeta a condiciones de mayor o menor luminosidad, por lo cual, mientras más sombreado se presente los tonos de las bayas son más claros debido a la reducción de antocianinas (Munitz *et al.* 2013).

4.6. EFECTO DE LOS REGÍMENES DE RIEGO SOBRE EL TAMAÑOS DE LAS BAYAS

Los resultados obtenidos muestran el parámetro de calidad referente al tamaño de las bayas para las tres cultivares Sweet Celebration, Sweet Surprise y Sweet Sapphire.

4.6.1. Tamaño de las bayas para ‘Sweet Celebration’

Se muestran a continuación los resultados obtenidos sobre al tamaño de las bayas para ‘Sweet Celebration’.

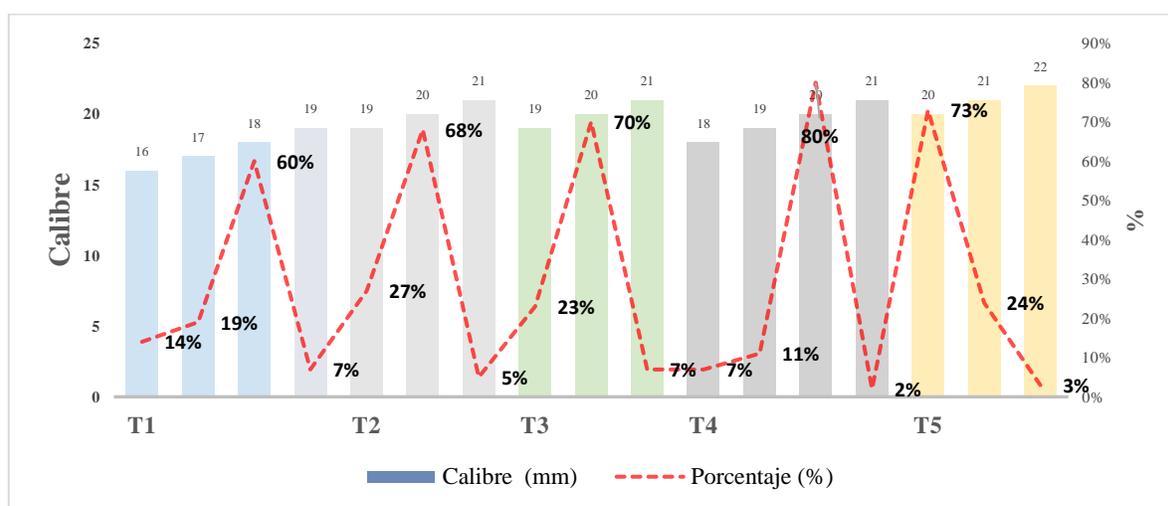


Figura 34. Tamaño de las bayas para el cultivar ‘Sweet Celebration’ (Barras: calibre en mm; línea: proporción de la fruta según los calibres) Donde: T1 (60 por ciento - ETc), T2 (80 por ciento - ETc), T3 (100 por ciento - ETc), T4 (120 por ciento - ETc), y T5 (140 por ciento - ETc).

Se observa en la Figura 34, que el calibre alcanzado por las bayas para ‘Sweet Celebration’ varió según el tratamiento hídrico; notándose que el T1 (60 por ciento - ETc), presentó la fruta de menor tamaño respecto a los demás tratamientos con un 60 por ciento de la fruta cosechada en un calibre de 18 mm; por otro lado, los tratamientos T2 (80 por ciento - ETc), T3 (100 por ciento - ETc), T4 (120 por ciento - ETc), y T5 (140 por ciento - ETc) mostraron

calibres que oscilaron de 19 a 22 mm siendo el calibre 20 el que mostró mayor participación dentro de la fruta colectada. Dentro del marco anterior se observó que el tratamiento T2 (80 por ciento - ETc), presentó un 68 por ciento de fruta en calibre 20 mm, el T3 (100 por ciento - ETc) obtuvo un 70 por ciento de fruta en calibre 20 mm, el T4 (120 por ciento - ETc), tuvo un 80 por ciento de fruta en calibre 20 mm y el T5 (140 por ciento - ETc) fue de 73 por ciento de la fruta cosechada en calibre 20 mm.

4.6.2. Tamaño de las bayas para ‘Sweet Surprise’

Se muestran a continuación los resultados obtenidos sobre al tamaño de las bayas ‘Sweet Surprise’

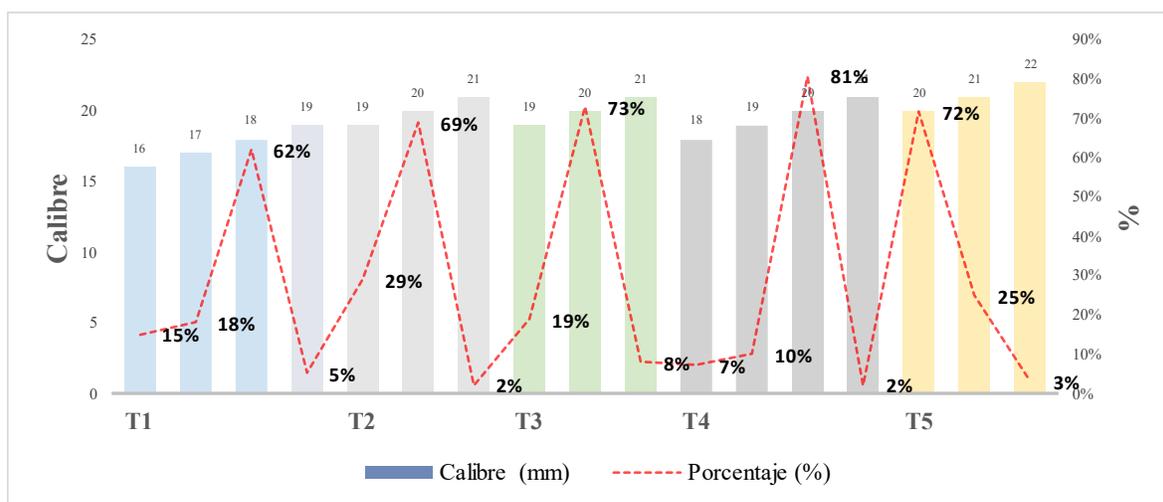


Figura 35. Tamaño de las bayas para el cultivar ‘Sweet Surprise’ (Barras: calibre en mm; línea: proporción de la fruta según los calibres) Donde: T1 (60 por ciento - ETc), T2 (80 por ciento - ETc), T3 (100 por ciento - ETc), T4 (120 por ciento - ETc), y T5 (140 por ciento - ETc)

Se observa en la Figura 35, que el calibre alcanzado por las bayas para ‘Sweet Surprise’ varió según el tratamiento hídrico; notándose que el T1 (60 por ciento - ETc) presentó la fruta de menor tamaño respecto a los demás tratamientos con un 62 por ciento de la fruta cosechada en un calibre de 18 mm. Por otro lado, los tratamientos T2 (80 por ciento - ETc), T3 (100 por ciento - ETc), T4 (120 por ciento - ETc), y T5 (140 por ciento - ETc) mostraron calibres que

oscilaron de 19 a 22 mm siendo el calibre 20 el que mostró mayor participación dentro de la fruta colectada. Dentro de este marco se obtuvo que el tratamiento T2 (80 por ciento - ETc) presentó un 69 por ciento de fruta en calibre 20 mm, el T3 (100 por ciento - ETc) fue de 73 por ciento de fruta en calibre 20 mm, el T4 (120 por ciento - ETc) obtuvo un 81 por ciento de fruta en calibre 20 mm y el T5 (140 por ciento - ETc) fue de 72 de la fruta cosechada en calibre 20 mm.

4.6.3. Tamaño de las bayas para ‘Sweet Sapphire’

Se muestran a continuación los resultados obtenidos para el tamaño de las bayas ‘Sweet Sapphire’.

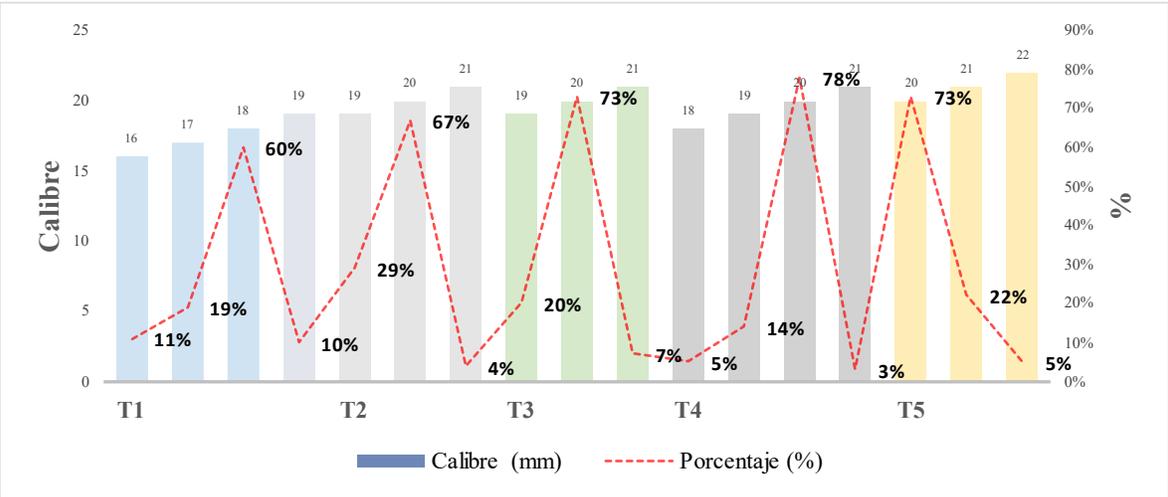


Figura 36. Tamaño de las bayas para el cultivar ‘Sweet Sapphire’ (Barras: calibre en mm; línea: proporción de la fruta según los calibres) Donde: T1 (60 por ciento - ETc), T2 (80 por ciento - ETc), T3 (100 por ciento - ETc), T4 (120 por ciento - ETc), y T5 (140 por ciento - ETc)

Se observa en la Figura 36, que el calibre alcanzado por las bayas para ‘Sweet Sapphiro’ varió según el tratamiento hídrico; notándose que el T1 (60 por ciento -ETc), presentó la fruta de menor tamaño respecto a los demás tratamientos con un 60 por ciento de la fruta cosechada en un calibre de 18 mm; por otro lado, los tratamientos T2 (80 por ciento - ETc), T3 (100 por ciento - ETc), T4 (120 por ciento - ETc), y T5 (140 por ciento - ETc) mostraron calibres que

oscilaron de 19 a 22 mm siendo el calibre 20 el que mostró mayor participación dentro de la fruta colectada. Dentro de este marco se obtuvo que el tratamiento T2 (80 por ciento - ETc) presentó un 67 por ciento de fruta en calibre 20 mm, el T3 (100 por ciento - ETc) fue de 73 por ciento de fruta en calibre 20 mm, el T4 (120 por ciento - ETc) fue de 78 por ciento de fruta en calibre 20 mm y el T5 (140 por ciento - ETc) fue de 73 por ciento de la fruta cosechada en calibre 20 mm.

Respecto al tamaño de las bayas se encontró que para los tres cultivares objeto de estudio la baja disponibilidad hídrica generó un efecto negativo en el crecimiento de los frutos, notándose una disminución del tamaño de las bayas, lo que coincide con los resultados de Gurovich y Alberto 2004; Ibáñez 2017; Montaña 2008; Shellie, 2006. Al respecto Ferreyra y Selles (2017), manifestaron que la deficiencia hídrica en determinados periodos de crecimiento reduce el número de células en las bayas, considerándose altamente sensible al estrés hídrico los periodos de cuaja a pinta. Lo anterior sugiere que al aumentar o disminuir la disponibilidad hídrica, el crecimiento y desarrollo de las bayas se ve afectado (Santesteban y Royo 2006). Por lo tanto, al mejorar la disponibilidad de riego especialmente entre el periodo de floración y madurez aumenta el tamaño de la fruta (Ramos *et al.* 2020).

V. CONCLUSIONES

- El cálculo del índice de vegetación NDVI permitió determinar valores cuantitativos que pueden ser asociados a una condición hídrica particular ya que se pudo establecer que los tratamientos bajo estrés hídrico presentan los valores NDVI más bajos respecto a los demás tratamientos.
- Al presentarse un mayor déficit hídrico en las plantas se evidenció a través de las imágenes térmicas un incremento de la temperatura con hasta de 4.4 °C por encima de los tratamientos con riego óptimo.
- Para los tres cultivares evaluados se encontró que frente a una condición de estrés hídrico del 60 por ciento ETc el color se ve favorecido y el tamaño de las bayas se reduce significativamente. En la medida que mejora la condición hídrica el tamaño de las bayas incrementa y el color tiende a ser desuniforme principalmente en ‘S. Celebration’ y ‘S. Surprise’; así mismo la producción es menor en el tratamiento 60 por ciento -ETc frente a los demás tratamientos, mientras que el cultivar Sweet Sapphire presentó la menor producción en el tratamiento 140 por ciento ETc, siendo así los tratamientos 80 por ciento - ETc y 100 por ciento - ETc los que mostraron producción, color y tamaños de las bayas dentro del mejor rango. Este estudio muestra la posible idoneidad de utilizar riego deficitario al 80 por ciento ETc ya que el color es adecuado, la producción es óptima y se ahorra agua.
- Bajo el marco de la presente investigación se evidencia el hecho que el aplicar riego por encima de las necesidades hídricas de las plantas no ofrece beneficios en la calidad y productividad, adicionalmente esta práctica si conlleva a un desaprovechamiento y desperdicio del recurso hídrico.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar mediciones en otros ciclos productivos con el fin de generar una base de datos que permita validar los resultados obtenidos en la presente investigación.
- Se debe contar con un equipo interdisciplinario para aplicar las técnicas de teledetección relacionadas con agricultura y así lograr obtener los resultados de manera asertiva.
- Se sugiere para la captura de información a través del uso de drones verificar la ruta de vuelo, la condición de los equipos (drones) y la experiencia del piloto; de esta manera se evitará costo adicionales o pérdidas de los equipos.
- Con base en las necesidades del proyecto es indispensable definir el software a usar para procesar las imágenes, y de esta manera obtener los mejores resultados posibles.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, C; Ortega, S; Fuentes, S. 2010. Effects of grapevine (*Vitis vinifera* L.) water status on water consumption, vegetative growth and grape quality: An irrigation scheduling application to achieve regulated deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, 97 (7): 956–964.
- Acevedo, C; Tisseyre, B; Guillaume, S, Ojeda, H. 2008. The potential of high spatial resolution information to define within vineyard zones related to vine water status. *Precision Agriculture*, Springer Verlag, 9 (5): 285-302.
- Aguilar, N. 2015. Percepción remota como herramienta de competitividad de la agricultura. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6 (2): 399-405.
- Anconelli, S; Battilani, A. 2000. Use of leaf temperature to evaluate grapevine (*Vitis vinifera*) yield and quality response to irrigation. *Acta Horticulturae*, (537): 124-138.
- Azcón-Bieto, J; Talón, M. 2000. *Fundamentos de fisiología vegetal*. 2 ed. España. 669 p. McGraw-Hill Interamericana.
- Baluja, J; Diago, M; Balda, P; Zorer, R; Meggio, F; Morales, F; Tardaguila, J. 2012. Assessment of vineyard water status variability by thermal and multispectral imagery using an unmanned aerial vehicle (UAV). *Irrigation Science*, 30 (6):511–522
- Bannari, A; Morin, D; Bonn, F; Huete, A. 1996. A review of vegetation indices. *Remote Sensing Reviews*, 13 (1-2): 95-120.

- Bartolomé, C. 1993. Respuestas de la vid (*Vitis vinifera* L.) a condiciones de estrés hídrico: efectos sobre las relaciones agua-planta, el crecimiento, la producción y la calidad (cv. Tempranillo). Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid.
- Bavestrello C; Cavieres, L; Gallardo, J; Ibacache, A; Frank, N; Zurita, A. 2012. Evaluación de la tolerancia a estrés por sequía en cuatro genotipos naturalizados de vid (*Vitis vinifera*) provenientes del norte de Chile. *Idesia (Arica)*, 30 (3): 83-92.
- Belfiore, N; Vinti, R; Lovat, L; Chitarra, W; Tomasi, D; de Bei, R; Gaiotti, F. 2019. Infrared Thermography to Estimate Vine Water Status: Optimizing Canopy Measurements and Thermal Indices for the Varieties Merlot and Moscato in Northern Italy. *Agronomía*, 9 (12): 821.
- Bellvert, J; Zarco, P; Girona, J; Fereres, E. 2014. Riego de precisión en viñedos: manejo de la variabilidad mediante la teledetección térmica. *Revista de Enología*, (143), 6.
- Berhe, D. T. (2022). Post-Veraison Water Stress and Pruning Level on Merlot Grapevine (*Vitis vinifera* L.): Effects on Berry Development and Composition. *International Journal of Agronomy*, 2022.
- Berni, J; Zarco-Tejada, P; González, V; Fereres, E. 2012. Remote sensing of thermal water stress indicators in peach. En VII International Peach Symposium 962: pp. 325-331.
- Blackmer, T; Schepers, J; Varvel, G. 1994. Light reflectance compared with other nitrogen stress measurements in corn leaves. *Agronomy Journal*, 86 (6): 934-938.
- Chacón. J; Martínez, J; García, F; Jiménez, R. 2020. Efectos del estrés hídrico sobre el crecimiento vegetativo y el rendimiento de la vid 'merlot' en un clima mediterráneo semiárido. *Horticulturae*, 6 (4): 95.

- Chone, X; Van Leeuwen, C; Dubourdieu, D; Gaudillère, J. 2001. Stem water potential is a sensitive indicator of grapevine water status. *Annals of Botany*, 87(4): 477-483.
- Chuvieco, E. 1996. *Fundamentos de teledetección espacial*. Rialp. Madrid, España.
- Cortell, J; Halbleib, M; Gallagher, A; Righetti, T; Kennedy, J. 2007. Influence of vine vigor on grape (*Vitis Vinifera* L. cv. Pinot Noir) anthocyanins. 1. Anthocyanin concentration and composition in fruit. *Journal of agricultural and Food Chemistry*, 50 (16): 6575-6584.
- Curran, P; Dungan, J; Peterson, D. 2001. Estimating the foliar biochemical concentration of leaves with reflectance spectrometry: Testing the Kokaly and Clark methodologies. *Remote Sens. Environ*, 76: 349-359.
- De Lara, A. 2011. *Estimación de rendimiento de soja a través de imágenes modis (en línea)*. Tesis Doctorado. Buenos Aires, Argentina, UBA. Consultado 12 dic 2021. Disponible en:
<http://ri.agro.uba.ar/files/download/tesis/especializacion/2017delaraalfonso.pdf>.
- Díaz, J; Cervigón, J. 2015. *Estudio de índices de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión modis (en línea)*. Tesis Magister. Madrid, España, Universidad Complutense de Madrid. Consultado 10 Nov 2021. Disponible en: https://eprints.ucm.es/31423/1/TFM_Juan_Diaz_Cervignon.pdf.
- Di Vaio, C; Marallo, N; Marino, G; Caruso, T. 2013. Effect of water stress on dry matter accumulation and partitioning in pot-grown olive trees (cv Leccino and Racioppella). *Scientia Horticulturae*, 164: 155-159.

- Escobar, O. 2015. Respuestas espectrales a la fertilización con nitrógeno y potasio en el cultivo del banano (*Musa aaa*), caso Municipio Zona Bananera (en línea). Tesis Magister. Bogotá, Colombia, UNAL. Consultado 18 dic 2021. Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/51758/1/oscarfradiqueescobarparado.2015.pdf>
- Esteban, M; Villanueva, M; Lissarrague, J. 2001. Effect of irrigation on changes in the anthocyanin composition of the skin of cv Tempranillo (*Vitis vinifera L*) grape berries during ripening. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81(4): 409-420.
- Faci, J; Blanco, O; Medina, E; Martínez-Cob, A. 2014. Effect of post veraison regulated deficit irrigation in production and berry quality of Autumn Royal and Crimson table grape cultivars. *Agricultural Water Management*, 134: 73–83.
- Faci, J; Blanco, O; Negueroles, J. 2009. Efecto del riego deficitario controlado aplicado desde el envero a recolección en la producción y calidad de uva de mesa ‘Autumn royal’. *Acta Hort*, 54: 192-197.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2017. Escasez de agua: Uno de los grandes retos de nuestro tiempo. Consultado 20 Nov 2022. Disponible en: <http://www.fao.org/zhc/detail-events/es/c/880888/>.
- Fernández, J; Gutiérrez, G. 2016. Aplicaciones geológicas de los drones. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 29 (1): 89-105.
- Ferreira, R; Selles, G. 2017. Consideraciones para manejar el riego en vides para vino. *Red Agrícola*. Consultado 6 Jun 2022. Disponible en: <https://www.redagricola.com/cl/consideraciones-para-manejar-el-riego-en-vides-para-vino/>

- Ferreira, R; Selles, G; Peralta, J; Burgos, L; Valenzuela, J. 2002. Effects of restricted irrigation at different stages of development of Cabernet Sauvignon grapes on production and wine quality. *Agricultura Técnica*, 62 (3): 406-417.
- Ferreira, R; Selles, G; Silva, H; Ahumada, R; Muñoz, I; Muñoz, V. 2006. Efecto del agua aplicada en las relaciones hídricas y productividad de la vid 'Crimson Seedless'. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 41 (7): 439.
- Ferreira, R; Sellés, G; Ruiz, R; Sellés, I. 2003. Effect of water stress applied at different development periods of grapevines cv. Chardonnay on production and wine quality. *Agricultura Técnica*, 63(3): 277-286.
- Ferreira, R; Sellés Van, G; Sellés, I. 2001. Riego deficitario controlado en uva de mesa. *Boletín INIA. Chile. N° 60. Consultado 14 Agosto 2022. Disponible en:*http://bibliotecadigital.fia.cl/bitstream/handle/20.500.11944/146306/riego_deficitario_controlado_en_uvademesa_BolINIA60.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Fimbres, A; Martínez, G; Valenzuela, M. 2000. Alta y baja humedad con riego por goteo en vid para mesa y su efecto en las yemas florales. *Terra Latinoamericana*, 18(3): 219-224.
- Fuchs, M. 1990. Infrared measurement of canopy temperature and detection of plant water stress. *Theoretical and Applied Climatology*, 42(4): 253–261.
- Galvez Valencia, A. M. (2020). Determinación del estrés hídrico en la palma africana mediante la integración de parámetros de suelo, planta y su respuesta espectral. Tesis Magister. Colombia. Universidad Católica de Manizales. Consultado 22 abril 2022. Disponible:

<https://repositorio.ucm.edu.co/bitstream/10839/2923/1/MarcelaGalvez%20Maestr%20Teledede%20%281%29.pdf>

García, J. 2010. Comparación de métodos para la determinación del estado hídrico en viñedos de la variedad "tempranillo". Tesis pregrado. España. UPNA. Consultado 28 di 2021. Disponible en: <https://academica-e.unavarra.es>

García, A; Seingier, G. 2018. Comportamiento de los índices de vegetación del cultivo de vid para producción de vino de mesa y los periodos de sequía en el Valle de Guadalupe, B. C. Editado: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. pp.405 - 422. Consultado 30 Ene 2021. Disponible en: <https://www.researchgate.net/>

Gómez-del-Campo, M; Baeza, P; Ruiz, C; Lissarrague, J. 2005. Effects of water stress on dry matter content and partitioning in four grapevine cultivars (*Vitis vinifera* L). OENO One, 39 (1): 1-10.

Gómez-del-Campo, M; Ruiz, C; Lissarrague, J. 2002. Effect of Water Stress on Leaf Area Development, Photosynthesis, and Productivity in Chardonnay and Airén Grapevines. Journal Enology and Viticulture, 53: 138-143.

Gonzales, M; Moran, M; Mateos, L. 2006. Canopy temperature variability as an indicator of crop water stress severity. Irrigation Science, 24: 233–240.

González, X; Fandiño, M; Rey, B; Cancela, J. 2016. Valoración del estrés hídrico empleando índices de vegetación en *Vitis vinifera* cv. Treixadura en la DO Ribeiro (España). II Simposio Nacional de Ingeniería Hortícola. Automatización y TICs en agricultura, pp. 10-12.

- Gonzaga A. .2015. Aplicación de índices de vegetación derivados de imágenes satelitales para análisis de coberturas vegetales en la provincia de Loja, Ecuador. *Revista CEDAMAZ Centro de Estudio y Desarrollo de la Amazonia*, 5 (1): 30-41.
- Gurovich, R y Alberto, L. 2004. Influencia del riego deficitario controlado sobre el desarrollo de las bayas y la composición química de los mostos y vinos. Chile. *Dialnet*, 31(3): 175- 186.
- Hall, A; Louis, J; Lamb, D. 2003. Characterising and mapping vineyard canopy using high-spatial-resolution aerial multispectral images. *Computers & Geosciences*, 29 (7): 813–822.
- Hanson, A; Hitz, W. 1982. Metabolic responses of mesophytes to plant water deficits. *Annual Review of Plant Physiology*, 33 (1): 163-203.
- Hassler M. 2020. World Plants: Synonymic Checklists of the Vascular Plants of the World. (en línea). In: *Species 2000 & ITIS Catalogue of Life*, 2020-02-24. Consultado 20 de marzo 2022. Disponible en: <https://www.catalogueoflife.org/data/taxon/5BM7B>.
- Hendriks, J; Boelens, R. 2016 Acumulación de derechos de agua en el Perú. *Anthropologica*, 34 (37): 13-32.
- Hsiao, T. 1990. Measurements of plant water status. *Agronomy*, (30): 243-279.
- Huertas, L. 2004. Historia de la producción de vinos y piscos en el Perú. *Universum*, 19 (2): 44 – 61.
- Huber, S. 2008. Estimating foliar biochemistry from hyperspectral data in mixed forest canopy. *Forest Ecol. Manag.*, (256): 491-501.

- Ibáñez, S. 2017. Efecto del riego deficitario controlado y el cultivo en invernadero sobre la producción y calidad de la uva de mesa ‘flame seedless’. *Scientia Horticulture*, (219): 238-244.
- INEI, Instituto Nacional de Estadística e informática. 2021. Producción nacional de uva creció 11,0% en el mes de febrero de 2021. Consultado 30 Ene 2022. Disponible en:

<https://www.inei.gob.pe/prensa/noticias/produccion-nacional-de-uva-crecio-110-en-el-mes-de-febrero-de-2021-12843/>
- Jackson, R. 1982. Canopy temperature and crop water stress. *Advances in Irrigation*, 1:43-85.
- Jackson, R; Idso, S; Reginato, R; Pinter, P. 1981. Canopy temperature as a crop water stress indicator. *Water Resources Research*, 17(4): 1133-1138.
- Jones, H. 2004. Application of thermal imaging and infrared sensing in plant physiology and ecophysiology. *Incorporating Advances in Plant Pathology*, 41:107–163.
- Johnson, R; Ayars, J; Trout, T; Mead, R; Phene, C. (2000). Crop coefficients for mature peach trees are well correlated with midday canopy light interception. *Acta Horticulturae*, (537): 455–460.
- Jones, H; Stoll, M; Santos, T; Sousa, C; Chaves, M; Grant, O. 2002. Use of infrared thermography for monitoring stomatal closure in the field: application to grapevine. *Journal of Experimental Botany*, 53 (378): 2249-2260.
- Jiménez, A. 2009. Determinación del estado hídrico de la vegetación mediante teledetección basada en vehículos aéreos no tripulados modis (en línea). Tesis Doctoral. Córdoba, España, UCO. Consultado 30 Ene 2022. Disponible en:

https://quantalab.ias.csic.es/pdf/Tesis_J_A_J_Berni.pdf

- Kharuf, S; Hernández, L; Orozco, R; Díaz, A; Delgado, I. 2018. Análisis de imágenes multiespectrales adquiridas con vehículos aéreos no tripulados. *Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*, 39 (2): 79-91.
- Kozlowski, T. 1997. Responses of woody plants to flooding and salinity. *Tree Physiology*, 17 (7): 490.
- León, A; Beltran, G; Barragán, A; Balaguera, H. 2021. Distribución de fotoasimilados en los órganos vertederos de plantas Solanáceas, caso tomate y papa. Una revisión. *Ciencia y Agricultura*, 18 (3): 79-97.
- López, L; Arteaga, R; Vázquez, P; López, C; Sánchez, C. 2009. Water stress index as an indicator of irrigation timing in agricultural crops. *Agricultura Técnica en México*, 35 (1): 97-111.
- López, P; Intrigliolo, D; Moreno, M; Ortega, J; Perez, E; Ballesteros, R. 2021. Assessment of Vineyard Water Status by Multispectral and RGB Imagery Obtained from an Unmanned Aerial Vehicle. *Journal. Enology and Viticulture*, 72: 285-297.
- López, V. 2005. Respuestas fisiológicas en uva de mesa cultivar Crimson Seedless sometidas a déficit hídrico. Tesis para optar al Título de Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile. Consultado 28 Jul 2022. Disponible en:
http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2005/lopez_v/sources/lopez_v.pdf
- Lozano, F; Gómez, J; Benites, O; De Mendiburu, F. Yupana: herramienta web interactiva para el análisis de los datos en la investigación agropecuario e industrial. Perú: Quipo.org; 2018. Consultado 30 octubre 2022. Disponible en: www.quipo.org.

- Ljubetic, D. 2017. Un vistazo a las nuevas variedades de uva de mesa más prometedoras en Chile. Red Agrícola. Consultado 30 Sep 2022. Disponible en:
<http://www.redagricola.com/cl/vistazo-las-nuevas-variedades-uva-mesa-mas-prometedoras-chile/>
- Luna, W; Estrada, H; Jiménez, J; Pinzón, L. 2012. Efecto del estrés hídrico sobre el crecimiento y eficiencia del uso del agua en plántulas de tres especies arbóreas Caducifolias. *Terra Latinoamericana*, 30 (4): 343–353.
- Martínez, C. 2015. Estudio comparativo de las relaciones hídricas y producción en uva de mesa bajo riego deficitario (RD) y desecación parcial de raíces (DPR). Efecto del déficit continuo y controlado. (en línea). Tesis Magister. España, Universidad Politécnica de Cartagena. Consultado: 19 febrero 2022. Disponible en:
<https://repositorio.upct.es/handle/10317/5022>
- Meneses, V; Téllez, J; Velasquez, D. 2015. Uso de drones para el análisis de imágenes multispectrales en agricultura de precisión. @ limentech, *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 13(1): 28-40.
- Montaña, Á. (2008). Respuesta de la vid al régimen hídrico sobre el rendimiento, la expresión vegetativa y la composición de la uva en el CV Tannat. *Revista australiana de investigación sobre la uva y el vino*, 14 (2): 121-130.
- Moreno, L. 2009. Respuesta de las plantas a estrés por déficit hídrico. Una revisión. *Rev Agron colombiana*, 27 (2): 179-191.
- Munitz, S; Soto, B; Iriarte, J; Poblete, R. 2013. Efecto del sombreado sobre el contenido de antocianinas y el color de las uvas de mesa. *Revista Chilena de investigación agropecuarias*, 73(3): 291-298.

- Muñoz, G. 2011. Desigualdades en la distribución del agua de riego. El caso del valle de Ica. Chapters of PUCP books pp 267-290. Consultado 23 Feb 2022. Disponible en: <http://files.pucp.edu.pe/departamento/economia/LDE-2011-02-08.pdf>
- Ojeda, H; Deloire, A; Carbonneau, A. 2001. Influence of water deficits on grape berry growth. *Journal of Grapevine Research*, 40(3): 141-146.
- Onder, S; Caliskan, M; Onder, D; Caliskan, S. 2005. Different irrigation methods and water stress effects on potato yield and yield components. *Agricultural Water Management*, 73(1): 73–86.
- Paiva, E; Rodas, J; Kali, Y; Lesme, F; Lesme, J; Rodríguez, J. 2021. A review of uavs topologies and control techniques. In 2021 IEEE International Conference on Automation/XXIV Congress of the Chilean Association of Automatic Control (ICA-ACCA) (pp. 1-6). IEEE
- Poblete, C; Sepulveda, D; Ortega, S; Zuñiga, M; Fuentes, S. 2016. Plant water stress detection based on aerial and terrestrial infrared thermography: a study case from vineyard and olive orchard. *Acta Horticulturae*, (1112): 141–146.
- Peñuelas, J; Filella, I; Biel, C; Serrano, L; Save, R. 1993. The reflectance at the 950–970 nm region as an indicator of plant water status. *International Journal of Remote Sensing*, 14 (10):1887–1905.
- Peppi, C. 2017. Desarrollo y manejo de color en uva de mesa. *Red Agrícola*. Consultado 18 mayo 2021. Disponible en: <https://www.redagricola.com/cl/desarrollo-manejo-color-uva-mesa/>

- Pire, R; De Pire, M; Tortolero, E; De Fréitez, Y. 1988. El riego de la vid (*Vitis vinifera L.*) en el tocuyo, estado Lara. II Relaciones hídricas. *Agronomía Tropical*, 38 (1-3): 155-171.
- Petrie, P; Trought, M; Howell, G. (2000). Growth and dry matter partitioning of Pinot Noir (*Vitis vinifera L.*) in relation to leaf area and crop load. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 6 (1), 40-45.
- Potters, G; Pasternak, T; Guisez, Y; Palme, K; Janse, M. 2007. Stress-induced morphogenic responses: growing out of trouble. *Trends Plant Sci*, 12 (3): 98-105.
- PROVID - Asociación de productores de uva de mesa del Perú. Principales variedades de uva de mesa. 2020. Lima, PE. Consultado 10 de Julio de 2022. Disponible en: <http://www.provid.org.pe/variedades/>
- Ramos, M; Pérez, E; Peregrina, F; Martínez de Toda, F. 2020. Relationships between grape composition of Tempranillo variety and available soil water and water stress under different weather conditions. *Scientia Horticulturae*. 262: 109063.
- Reynier, A. 2002. *Manuel de viticultura 6º Edicion*. Ed Mundi – Prensa. Barcelona. 497 pp
- Rodríguez, M. 2009. *Viticultura de precisión y Teledetección: relación entre índices de reflectancia espectral y parámetros de vigor en parcelas de viñedo de la variedad Chardonnay*.
(en línea). Tesis para optar al título de Ingeniería Agrícola, Especialidad en Horticultura y Jardinería. España, Universidad politécnica de Cataluña. Consultado: 24 Agost 2022. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/10234>
- Rodríguez, E. 2012. *Uso de lisímetros de drenaje artesanales para determinar el Kc de los principales estados fenológicos de la uva de mesa cv. Thompson Seedless en el valle*

de Aconcagua. Tesis Ing. Agrónomo, Aconcagua, Chile. Corporación Universidad de Aconcagua.

Roelfsema, M; Hedrich, R. 2002. Studying guard cell in the intact plant: modulation of stomatal movement by apoplastic factors. *New Phytologist*, 153: 425-431.

Rouse, J; Haas, R; Schell, J; Deering, D; Harían, J. 1974. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (Greenwave effect) of natural vegetation. Greenbelt, MD. USA, NASA/GSFCT.

Rullán, C. 2015. Aplicación de la teledetección satelital en el seguimiento de la defoliación por insectos forestales. Universidad de Valladolid. Palencia.

Santesteban, L; Miranda, C; Jiménez, C; Fuentemilla, M; Urretavizcaya, I; Tisseyre, B; Royo, J. 2010. Evaluación del interés del índice NDVI para la delimitación de unidades de manejo diferenciado en una explotación vitícola. *Revista de Teledetección*, 33, 11-16.

Santesteban, L; Royo, J. 2006. Water status, leaf area and fruit load influence on berry weight and sugar accumulation of cv. “Tempranillo” under semiarid conditions. *Scientia Horticulturae*, 109 (1), 60–65.

Shammout, M; Qtaishat, T; Rawabdeh, H; Shatanawi, M. 2018. Improving water use efficiency under deficit irrigation in the Jordan valley. *Sustainability*, 10 (11): 4317.

Shao, H; Chu, L; Jaleel, C; Zhao, C. 2008. Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *Comptes Rendus Biologies*, 331(3): 215–225.

- Shellie, K. 2006. Vine and Berry Response of Merlot (*Vitis vinifera* L.) to Differential Water Stress. *J. Enol Vitic*, 57: 514-518.
- Tarqui, M; Chipana, R; Mena, F; Quino, J; Tallacagua, R; Gutiérrez, S. 2017. Índice de estrés hídrico del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*), mediante termometría infrarroja a diferentes láminas de riego. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 4 (1): 7-18.
- Torres, A. 2017. Manual del cultivo de uva de mesa. Convenio INIA-INDAP. Boletín INIA, N° 18. Chile. Consultado 17 Mar 2022. Disponible en: <http://www.inia.cl/wp-content/uploads/ManualesdeProduccion/18%20Manual%20Uva%20de%20Mesa.pdf>.
- Trueba, S. 2017. Análisis de imágenes multiespectrales aéreas de vegetación. (en línea). Tesis para optar al título de ingeniería de tecnologías de telecomunicación. España, UNICAN. Consultado 24 Ene 2022.
Disponible en: <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/11979>
- Wiegand, C; Richardson, A; Escobar, D; Gerbermann, A. 1991 Vegetation indices in crop assessments. *Remote Sensing of Environment*, 35(2-3): 105-119.
- Watzlawick, L; Kirchner, F; Sanquetta, C. 2009. Estimativa de biomassa e carbono em floresta com araucária utilizando imagens do satélite IKONOS II. *Ciência florestal*, 19: 169-181.
- Williams, L; Dokoozlian, N; Neja, R. 1995. Response of Flame Seedless and Perlette grapevines grown in the Coachella Valley to soil water deficits at various stages of berry growth. Kearney Agricultura Center, Internal Report.

Williams, L; Phene, C; Grimes, D; Trout, T. 2003. Water use of mature Thompson Seedless grapevines in California. *Irrigation Science*, 22 (1): 11-18.

Zea, R. 2015. Determinación experimental de las necesidades hídricas del bofedal en puna seca y húmeda en el departamento de Puno. (en línea). Tesis optar a título Ingeniero Agrícola. UNAP. Puno, Perú. Consultado 18 oct 2022. Disponible en: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4594>

Zarafshar, M; Akbarinia, M; Askari, H; Hosseini, S; Rahaie, M; Struve, D; Striker, G. 2014. Morphological, physiological and biochemical responses to soil water deficit in seedlings of three populations of wild pear (*Pyrus boissieriana*). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*, 18 (3):353-366.

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Análisis de varianza para NDVI (primer sobrevuelo de ‘Sweet Celebration’)

ANALISIS DE VARIANZA					
FUENTE	GL	SC	MC	Valor F	Valor p
BLOQUE	2	0.003213	0.001607	0.96	0.425
TRATAMIENTO	4	0.010427	0.002607	1.55	0.277
ERROR	8	0.013453	0.001682		
TOTAL	14	0.027093			

Anexo 2. Análisis de varianza para NDVI (segundo sobrevuelo de ‘Sweet Celebration’)

ANALISIS DE VARIANZA					
FUENTE	GL	SC	MC	Valor F	Valor p
BLOQUE	2	0.00112	0.00056	1.37	0.309
TRATAMIENTO	4	0.00436	0.00109	2.66	0.112
ERROR	8	0.00328	0.00041		
TOTAL	14	0.00876			

Anexo 3. Análisis de varianza para NDVI (primer sobrevuelo de ‘Sweet Surprise’)

ANALISIS DE VARIANZA					
FUENTE	GL	SC	MC	Valor F	Valor p
BLOQUE	2	0.00089	0.000447	0.44	0.66
TRATAMIENTO	4	0.00891	0.002227	2.18	0.162
ERROR	8	0.00817	0.001022		
TOTAL	14	0.01797			

Anexo 4. Análisis de varianza para NDVI (segundo sobrevuelo de ‘Sweet Surprise’)

ANALISIS DE VARIANZA					
FUENTE	GL	SC	MC	Valor F	Valor p
BLOQUE	2	0.0044	0.002207	3.45	0.083
TRATAMIENTO	4	0.0048	0.00121	1.89	0.206
ERROR	8	0.0051	0.00064		
TOTAL	14	0.0144			

Anexo 5. Análisis de varianza para NDVI (primer sobrevuelo de ‘Sweet Sapphire’)

ANALISIS DE VARIANZA					
FUENTE	GL	SC	MC	Valor F	Valor p
BLOQUE	2	0.0025	0.0013	2.36	0.157
TRATAMIENTO	4	0.0044	0.0011	2.07	0.176
ERROR	8	0.0043	0.0005		
TOTAL	14	0.0112			

Anexo 6. Análisis de varianza para NDVI (segundo sobrevuelo de ‘Sweet Sapphire’)

ANALISIS DE VARIANZA					
FUENTE	GL	SC	MC	Valor F	Valor p
BLOQUE	2	0.0004	0.00019	0.4	0.68
TRATAMIENTO	4	0.0015	0.00037	0.79	0.561
ERROR	8	0.0037	0.00046		
TOTAL	14	0.0055			

Anexo 7. Análisis de varianza del potencial hídrico medido en ‘Sweet Celebration’

ANALISIS DE VARIANZA					
FUENTE	GL	SC	MC	Valor F	Valor p
BLOQUE	2	0.0012	0.0006	0.81	0.478
TRATAMIENTO	4	0.0495	0.0124	16.53	0.001
ERROR	8	0.0060	0.0007		
TOTAL	14	0.0567			

Anexo 8. Análisis de varianza del potencial hídrico medido en ‘Sweet Surprise’

ANALISIS DE VARIANZA					
FUENTE	GL	SC	MC	Valor F	Valor p
BLOQUE	2	0.0112	0.0056	3.89	0.066
TRATAMIENTO	4	0.1146	0.0286	19.89	0
ERROR	8	0.0115	0.0014		
TOTAL	14	0.1373			

Anexo 9. Análisis de varianza del potencial hídrico medido en ‘Sweet Sapphire’

ANALISIS DE VARIANZA					
FUENTE	GL	SC	MC	Valor F	Valor p
BLOQUE	2	0.0051	0.0025	2.75	0.123
TRATAMIENTO	4	0.1060	0.0265	28.85	0
ERROR	8	0.0073	0.0009		
TOTAL	14	0.1184			

**Anexo 10. Análisis de varianza de la temperatura registrada por la cámara Flir
(primer sobrevuelo en ‘Sweet Celebration’)**

ANALISIS DE VARIANZA					
FUENTE	GL	SC	MC	VALOR F	VALOR P
BLOQUE	2	1.092	0.546	1.36	0.309
TRATAMIENTO	4	6.647	1.6617	4.15	0.041
ERROR	8	3.201	0.4002		
TOTAL	14	10.94			

**Anexo 11. Análisis de varianza de la temperatura registrada por la cámara Flir
(segundo sobrevuelo en ‘Sweet Celebration’)**

ANALISIS DE VARIANZA					
FUENTE	GL	SC	MC	VALOR F	VALOR P
BLOQUE	2	0.577	0.2887	0.35	0.716
TRATAMIENTO	4	16.56	4.14	4.99	0.023
ERROR	8	6.636	0.8295		
TOTAL	14	23.77			

**Anexo 12. Análisis de varianza de la temperatura registrada por la cámara Flir
(primer sobrevuelo en ‘Sweet Surprise’)**

ANALISIS DE VARIANZA					
FUENTE	GL	SC	MC	VALOR F	VALOR P
BLOQUE	2	1.852	0.926	1.13	0.369
TRATAMIENTO	4	23.73	5.933	7.26	0.009
ERROR	8	6.541	0.818		
TOTAL	14	32.12			

**Anexo 13. Análisis de varianza de la temperatura registrada por la cámara Flir
(segundo sobrevuelo en ‘Sweet Surprise’)**

ANALISIS DE VARIANZA					
FUENTE	GL	SC	MC	VALOR F	VALOR P
BLOQUE	2	24.49	12.25	6.76	0.019
TRATAMIENTO	4	39.84	9.961	5.5	0.02
ERROR	8	14.48	1.81		
TOTAL	14	78.82			

**Anexo 14. Análisis de varianza de la temperatura registrada por la cámara Flir
(primer sobrevuelo en ‘Sweet Sapphire’)**

ANALISIS DE VARIANZA					
FUENTE	GL	SC	MC	VALOR F	VALOR P
BLOQUE	2	31.06	15.53	5.14	0.037
TRATAMIENTO	4	13.72	3.431	1.13	0.406
ERROR	8	24.19	3.023		
TOTAL	14	68.97			

**Anexo 15. Análisis de varianza de la temperatura registrada por la cámara Flir
(segundo sobrevuelo en ‘Sweet Sapphire’)**

ANALISIS DE VARIANZA					
FUENTE	GL	SC	MC	VALOR F	VALOR P
BLOQUE	2	15.37	7.683	4.59	0.047
TRATAMIENTO	4	32.8	8.199	4.9	0.027
ERROR	8	13.39	1.673		
TOTAL	14	61.55			

Anexo 16. Análisis de varianza peso del producto cosechado (kg) ‘Sweet Celebration’

ANALISIS DE VARIANZA					
FUENTE	GL	SC	MC	VALOR F	VALOR P
BLOQUE	2	3.589	1.795	1.34	0.315
TRATAMIENTO	4	12.069	3.017	2.25	0.153
ERROR	8	10.731	1.341		
TOTAL	14	26.389			

Anexo 17. Análisis de varianza peso del producto cosechado (kg) ‘Sweet Surprise’

ANALISIS DE VARIANZA					
FUENTE	GL	SC	MC	VALOR F	VALOR P
BLOQUE	2	8.332	4.166	5.32	0.034
TRATAMIENTO	4	54.603	13.6507	17.44	0.001
ERROR	8	6.261	0.7827		
TOTAL	14	69.196			

Anexo 18. Análisis de varianza peso del producto cosechado (kg) ‘Sweet Sapphire’

ANALISIS DE VARIANZA					
FUENTE	GL	SC	MC	VALOR F	VALOR P
BLOQUE	2	1.865	0.9327	0.27	0.768
TRATAMIENTO	4	6.713	1.6783	0.49	0.742
ERROR	8	27.275	3.4093		
TOTAL	14	35.853			

Anexo 19. Análisis de varianza de la producción de materia seca en poda, antes del establecimiento de los tratamientos, ‘Sweet Celebration.’

ANALISIS DE VARIANZA					
FUENTE	GL	SC	MC	VALOR F	VALOR P
BLOQUE	2	3.043	1.5217	1.75	0.234
TRATAMIENTO	4	4.293	1.0734	1.24	0.369
ERROR	8	6.952	0.869		
TOTAL	14	14.289			

Anexo 20. Análisis de varianza de la producción de materia seca, posterior al establecimiento de los tratamientos, ‘Sweet Celebration’

ANALISIS DE VARIANZA					
FUENTE	GL	SC	MC	VALOR F	VALOR P
BLOQUE	2	8.928	4.464	3.36	0.087
TRATAMIENTO	4	11.795	2.949	2.22	0.157
ERROR	8	10.632	1.329		
TOTAL	14	31.355			

Anexo 21. Análisis de varianza de la producción de materia seca, antes del establecimiento de los tratamientos, ‘Sweet Surprise’

ANALISIS DE VARIANZA					
FUENTE	GL	SC	MC	VALOR F	VALOR P
BLOQUE	2	0.6398	0.3199	1.27	0.331
TRATAMIENTO	4	5.1535	1.2884	5.12	0.024
ERROR	8	2.0113	0.2514		
TOTAL	14	7.8046			

Anexo 22. Análisis de varianza de la producción de materia seca, posterior al establecimiento de los tratamientos, ‘Sweet Surprise’

ANALISIS DE VARIANZA					
FUENTE	GL	SC	MC	VALOR F	VALOR P
BLOQUE	2	8.915	4.4574	8.11	0.012
TRATAMIENTO	4	16.35	4.0875	7.44	0.008
ERROR	8	4.395	0.5493		
TOTAL	14	29.659			

Anexo 23. Análisis de varianza de la producción de materia seca, antes del establecimiento de los tratamientos, ‘Sweet Sapphire’

ANALISIS DE VARIANZA					
FUENTE	GL	SC	MC	VALOR F	VALOR P
BLOQUE	2	0.8759	0.4379	0.35	0.718
TRATAMIENTO	4	2.8024	0.7006	0.55	0.703
ERROR	8	10.132	1.2665		
TOTAL	14	13.81			

Anexo 24. Análisis de varianza de la producción de materia seca, posterior al establecimiento de los tratamientos, ‘Sweet Sapphire’

ANALISIS DE VARIANZA					
FUENTE	GL	SC	MC	VALOR F	VALOR P
BLOQUE	2	53.19	26.596	9.2	0.008
TRATAMIENTO	4	20.3	5.074	1.76	0.231
ERROR	8	23.12	2.891		
TOTAL	14	96.61			

Anexo 25. Índice de vegetación NDVI del primer sobrevuelo ‘Sweet Celebration’

BLOQUE	Tratamientos				
	T1(60)	T2(80)	T3(100)	T4(120)	T5 (140)
I	0.39	0.42	0.41	0.53	0.44
II	0.48	0.48	0.44	0.53	0.41
III	0.4	0.48	0.43	0.42	0.5
Promedio	0.42	0.46	0.43	0.49	0.45

Anexo 26. Índice de vegetación NDVI del segundo sobrevuelo ‘Sweet Celebration’

BLOQUE	Tratamientos				
	T1(60)	T2(80)	T3(100)	T4(120)	T5 (140)
I	0.37	0.43	0.4	0.45	0.42
II	0.42	0.40	0.44	0.45	0.46
III	0.41	0.41	0.45	0.43	0.45
Promedio	0.40	0.41	0.43	0.44	0.44

Anexo 27. Índice de vegetación NDVI del primer sobrevuelo ‘Sweet Surprise’

BLOQUE	Tratamientos				
	T1(60)	T2(80)	T3(100)	T4(120)	T5 (140)
I	0.37	0.46	0.39	0.4	0.39
II	0.31	0.41	0.4	0.44	0.36
III	0.37	0.38	0.4	0.41	0.43
Promedio	0.35	0.42	0.40	0.42	0.39

Anexo 28. Índice de vegetación NDVI del segundo sobrevuelo ‘Sweet surprise’

BLOQUE	Tratamientos				
	T1(60)	T2(80)	T3(100)	T4(120)	T5 (140)
I	0.35	0.41	0.34	0.33	0.41
II	0.39	0.39	0.40	0.37	0.40
III	0.30	0.37	0.37	0.35	0.35
Promedio	0.35	0.39	0.37	0.35	0.39

Anexo 29. Índice de vegetación NDVI del primer sobrevuelo ‘Sweet Sapphire’

BLOQUE	Tratamientos				
	T1(60)	T2(80)	T3(100)	T4(120)	T5 (140)
I	0.40	0.41	0.43	0.42	0.44
II	0.37	0.47	0.43	0.40	0.40
III	0.36	0.38	0.42	0.38	0.39
Promedio	0.38	0.42	0.43	0.40	0.41

Anexo 30. Índice de vegetación NDVI del segundo sobrevuelo ‘Sweet Sapphire’

BLOQUE	Tratamientos				
	T1(60)	T2(80)	T3(100)	T4(120)	T5 (140)
I	0.35	0.33	0.37	0.34	0.40
II	0.35	0.38	0.36	0.35	0.37
III	0.36	0.35	0.37	0.40	0.37
Promedio	0.35	0.35	0.37	0.36	0.38

Anexo 31. Peso del producto cosechado ‘Sweet Celebration’ (kg)

BLOQUE	Tratamientos					Suma Total
	T1(60)	T2(80)	T3(100)	T4(120)	T5 (140)	
I	9.2	9.9	11.7	11.1	10.8	52.7
II	8.2	9.6	12.2	9.5	9.0	48.5
III	7.7	11.1	8.7	11.0	8.4	46.9
Total, Tratam	25.0	30.5	32.6	31.6	28.2	148.0
Promedio	8.3	10.2	10.9	10.5	9.4	49.3

Anexo 32. Peso del producto cosechado ‘Sweet Surprise’ (kg)

BLOQUE	Tratamientos					Suma Total
	T1(60)	T2(80)	T3(100)	T4(120)	T5 (140)	
I	8.0	7.4	8.9	10.5	12.2	46.9
II	3.9	5.7	8.9	8.4	11.3	38.1
III	7.1	7.4	8.8	10.3	11.1	44.8
Total, Tratam	19.0	20.4	26.5	29.2	34.7	129.8
Promedio	6.3	6.8	8.8	9.7	11.6	43.3

Anexo 33. Peso del producto cosechado ‘Sweet Sapphire’ (kg)

BLOQUE	Tratamientos					Suma Total
	T1(60)	T2(80)	T3(100)	T4(120)	T5 (140)	
I	11.8	10.6	13.7	10.3	11.0	57.4
II	13.0	10.3	11.1	9.1	11.4	54.9
III	10.5	14.6	12.0	13.0	9.1	59.3
Total, Tratam	35.3	35.5	36.9	32.4	31.5	171.5
Promedio	11.8	11.8	12.3	10.8	10.5	57.2

Anexo 34. Rendimiento de materia seca en material de poda (MS (A)) y después (MS(D)) del establecimiento de los tratamientos para ‘Sweet Celebration’

BLOQUE	Tratamientos									
	T1(Kg)		T2(Kg)		T3(Kg)		T4(Kg)		T5(Kg)	
	Ms (A)	Ms (D)	Ms (A)	Ms (D)	Ms (A)	Ms (D)	Ms (A)	Ms (D)	Ms (A)	Ms (D)
I	1.3	0.9	1.2	1.0	1.6	1.3	1.2	1.3	1.2	1.7
II	1.4	1.0	1.5	1.0	1.2	1.3	1.2	0.9	1.3	1.1
III	1.6	1.4	1.6	1.2	1.3	1.6	1.2	1.3	1.6	1.4
Promedio	1.5	1.1	1.4	1.1	1.4	1.4	1.2	1.2	1.4	1.4

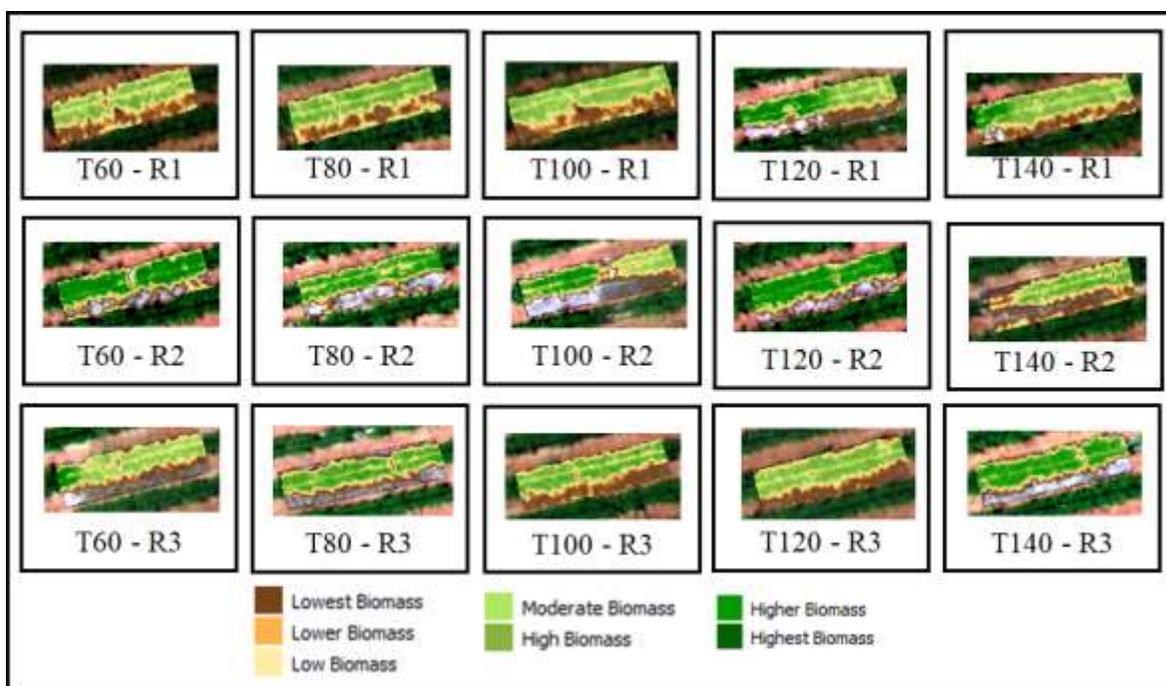
Anexo 35. Rendimiento de materia seca en material de poda (MS (A)) y después (MS(D)) del establecimiento de los tratamientos para ‘Sweet Surprise’

BLOQUE	Tratamientos									
	T1(Kg)		T2(Kg)		T3(Kg)		T4(Kg)		T5 (Kg)	
	Ms (A)	Ms (D)	Ms (A)	Ms (D)	Ms (A)	Ms (D)	Ms (A)	Ms (D)	Ms (A)	Ms (D)
I	1.9	1.1	1.8	1.7	1.8	1.3	1.7	1.1	1.9	1.5
II	1.9	1.4	1.7	1.8	1.6	1.6	1.7	1.7	2.0	1.8
III	1.8	1.2	1.7	1.6	1.8	1.6	1.6	1.5	1.8	1.5
Promedio	1.9	1.2	1.7	1.7	1.7	1.5	1.6	1.4	1.9	1.6

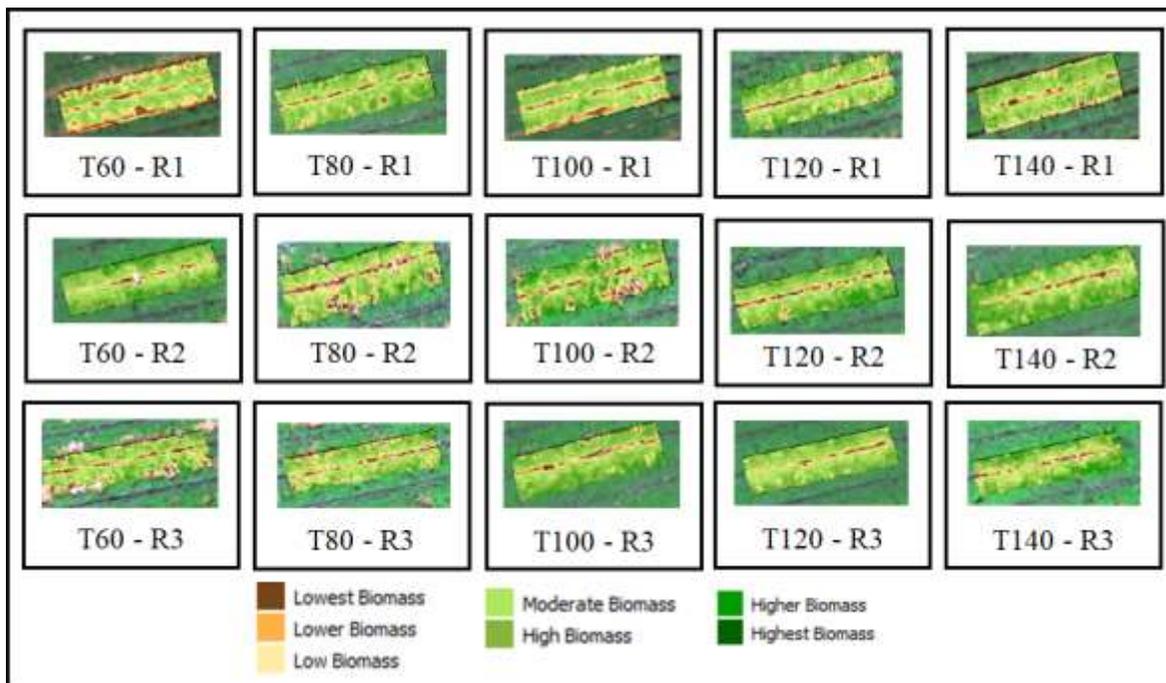
Anexo 36. Rendimiento de materia seca en material de poda (MS (A)) y después (MS(D)) del establecimiento de los tratamientos para ‘Sweet Sapphire’

BLOQUE	Tratamientos									
	T1(Kg)		T2(Kg)		T3(Kg)		T4(Kg)		T5 (Kg)	
	Ms (A)	Ms (D)	Ms (A)	Ms (D)	Ms (A)	Ms (D)	Ms (A)	Ms (D)	Ms (A)	Ms (D)
I	1.6	1.1	1.5	1.8	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	2.5
II	1.5	2.1	2.0	2.5	1.9	2.1	1.6	2.4	1.5	2.2
III	1.7	1.4	1.7	1.6	1.5	1.4	1.9	1.7	1.6	1.5
Promedio	1.6	1.5	1.7	2.0	1.7	1.7	1.8	2.0	1.6	2.1

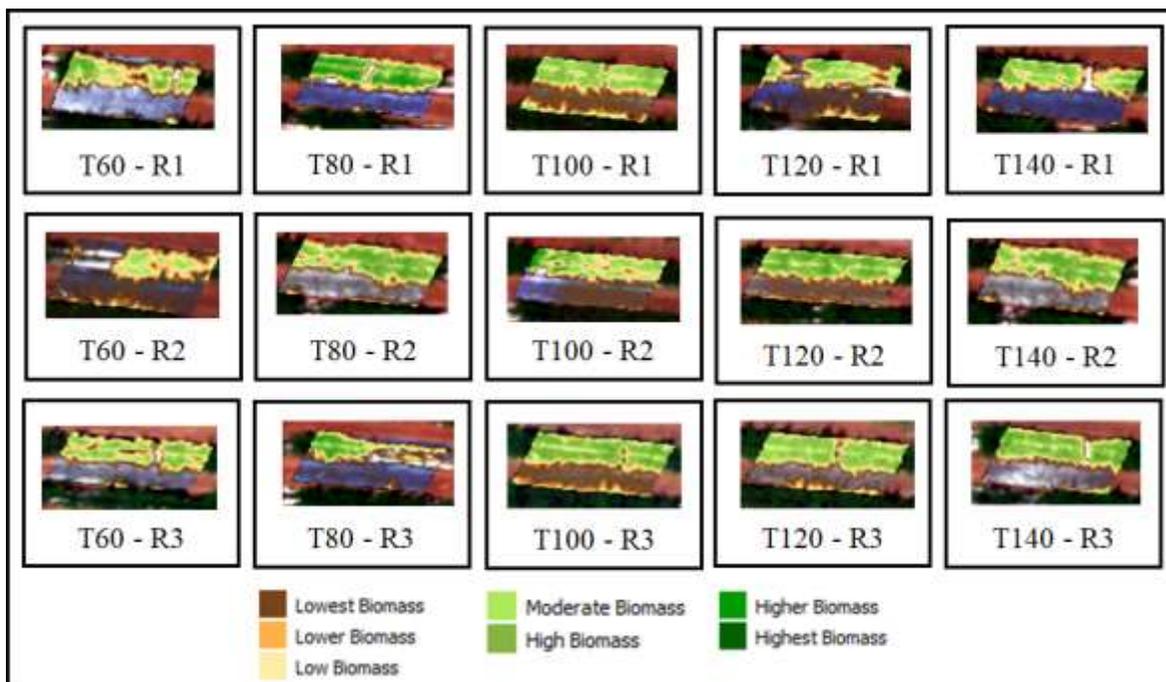
Anexo 37. Imágenes del NDVI (primer sobrevuelo para el ‘Sweet Celebration’)



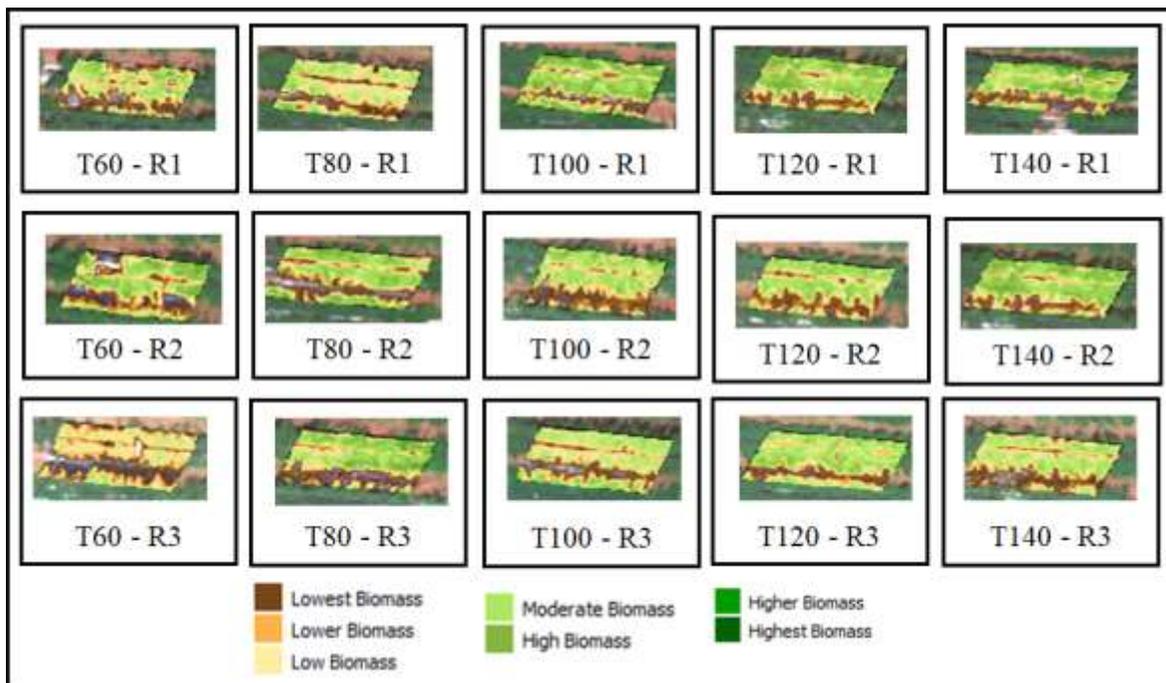
Anexo 38. Imágenes del NDVI (segundo sobrevuelo para el ‘Sweet Celebration’)



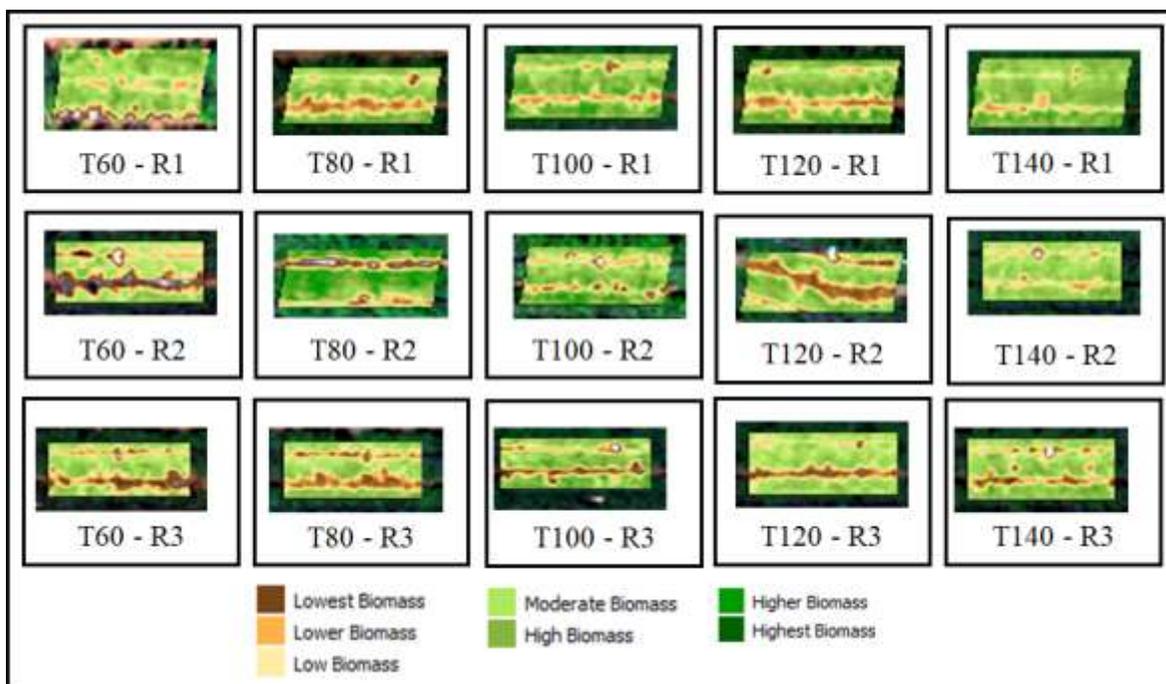
Anexo 39. Imágenes del NDVI (primer sobrevuelo para ‘Sweet Surprise’)



Anexo 40. Imágenes del NDVI (segundo sobrevuelo para ‘Sweet Surprise’)



Anexo 41. Imágenes del NDVI (primer sobrevuelo para ‘Sweet Sapphire’)



Anexo 42. Imágenes del NDVI (segundo sobrevuelo para 'Sweet Sapphire')

