

TESIS DOCTORAL

**Mapas para mejorar la producción de vino
combinando tecnologías de la información
y vehículos convencionales**



AUTORA: Verónica Sáiz Rubio

DIRECTOR: Francisco Rovira Más

TUTOR: Pedro Albertos Pérez

Julio, 2013

ÍNDICE

RESUMEN EN ESPAÑOL	1
RESUMEN EN INGLÉS.....	3
RESUMEN EN VALENCIANO	5
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	7
1.1 INTRODUCCIÓN A LA VITICULTURA DE PRECISIÓN	7
1.1.1 LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN (AP). VARIABILIDAD Y EFICIENCIA	7
1.1.2 LA VITICULTURA DE PRECISIÓN (VP)	12
1.1.3 FINALIDAD DE ESTA INVESTIGACIÓN: ESTUDIO Y APLICACIÓN DE NUEVOS MÉTODOS DE VP	13
1.2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y ESTADO DEL ARTE.....	18
1.3 OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS	32
1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN PROPUESTA.....	34
1.5 TERMINOLOGÍA	37
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y ENSAYOS.....	43
2.1 SISTEMAS DE PERCEPCIÓN Y LOCALIZACIÓN	43
2.1.1 CIRCUITO AUXILIAR DE ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA	44
2.1.2 SISTEMA DE PERCEPCIÓN POR IMAGEN	45
2.1.3 SISTEMA DE LOCALIZACIÓN GLOBAL	49
2.2 MAPAS DE COMPACTACIÓN DE SUELOS	51
2.2.1 PENETRÓMETRO PENETROLOGGER EIJKELKAMP	51
2.2.2 RECEPTOR GPS LEICA GS20	52
2.3 PARCELAS DE ENSAYO.....	53
2.4 MUESTREO DE LA UVA Y ANÁLISIS QUÍMICOS DEL MOSTO	56
2.4.1 DINAMÓMETRO	57
2.4.2 CÁMARA FRIGORÍFICA	57
2.4.3 MEDIDOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA.....	58
2.4.4 PRENSA MANUAL	59
2.4.5 BALANZA DE PRECISIÓN.....	59
2.4.6 CALIBRE DIGITAL	60
2.4.7 REFRACTÓMETRO DIGITAL	60
2.4.8 AREÓMETRO BAUMÉ	61
2.4.9 VALORADOR DE ACIDEZ Y MEDIDA DE PH DEL MOSTO	62

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA.....	63
3.1 MOTIVACIÓN Y JUSTIFICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA.....	63
3.2 CONSTRUCCIÓN DE MAPAS DE SUELO.....	65
3.2.1 TOMA DE MUESTRAS DE LA COMPACTACIÓN DEL SUELO.....	65
3.2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE MAPAS.....	67
3.3 CONSTRUCCIÓN DE MAPAS DE VEGETACIÓN.....	76
3.3.1 METODOLOGÍA EN CAMPO: ADQUISICIÓN AUTOMÁTICA DE DATOS.....	76
3.3.2 MAPAS DE PORCENTAJE DE VEGETACIÓN: VIGOR RELATIVO.....	82
3.4 CONSTRUCCIÓN DE MAPAS DE RENDIMIENTO (PRODUCCIÓN).....	92
3.5 CONSTRUCCIÓN DE MAPAS DE ALTITUD.....	96
3.6 ANÁLISIS QUÍMICO DEL MOSTO DE LAS MUESTRAS DE UVA.....	98
3.6.1 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS Y OBTENCIÓN DEL MOSTO.....	98
3.6.2 ANÁLISIS DE ACIDEZ Y pH.....	99
3.6.3 ANÁLISIS DE SÓLIDOS SOLUBLES TOTALES (SST).....	102
3.6.4 MEDIDAS DE PESO Y DIÁMETRO MEDIOS.....	104
3.6.5 OTROS ÍNDICES DE CALIDAD.....	105
3.7 CONSTRUCCIÓN DE MAPAS DE PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS.....	106
3.8 ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y ELABORACIÓN DE MODELOS PREDICTIVOS.....	106
CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	109
4.1 MAPAS DE PARCELA PARA LAS VARIEDADES DE UVA MOSCATEL Y MALVASÍA (Experimentos efectuados en Turís).....	109
4.1.1 MAPAS DE SUELOS.....	110
4.1.2 MAPAS DE ALTITUD.....	112
4.1.3 MAPAS DE VEGETACIÓN.....	113
4.2 MAPAS DE PARCELA PARA LA VARIEDAD CABERNET-SAUVIGNON.....	113
4.2.1 MAPAS DE VEGETACIÓN.....	113
4.2.2 MAPAS DE RENDIMIENTO O PRODUCCIÓN.....	126
4.2.3 MAPAS DE ALTITUD Y DESNIVEL.....	128
4.2.4 MAPAS DE PROPIEDADES FÍSICAS DE LA UVA.....	129
4.2.5 MAPAS DE SUELOS.....	133
4.2.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS MAPAS DE PARCELA.....	135
CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN.....	145
5.1 MAPAS DE CULTIVO PARA LAS PARCELAS DE LAS VARIEDADES MOSCATEL Y MALVASÍA (Turís).....	145
5.2 MAPAS DE CULTIVO PARA LA PARCELA DE LA VARIEDAD CABERNET-SAUVIGNON (Requena).....	149

5.3 VENTAJAS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA FRENTE A OTRAS METODOLOGÍAS EXISTENTES	166
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES	171
6.1 CONCLUSIONES.....	171
6.2 TRABAJO FUTURO.....	173
CAPÍTULO 7. CONTRIBUCIÓN DE ESTA INVESTIGACIÓN: PREMIOS Y ARTÍCULOS DERIVADOS DE LA TESIS DOCTORAL	177
7.1 ARTÍCULOS CIENTÍFICOS PUBLICADOS EN REVISTAS CON REVISIÓN POR PARES	177
7.2 ARTÍCULOS CIENTÍFICOS PRESENTADOS EN CONFERENCIAS.....	178
7.3 PREMIOS NACIONALES	178
7.4 PREMIOS INTERNACIONALES	179
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	181
ANEJOS.....	195

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Ciclo de actuación para la aplicación de técnicas de visión artificial en la producción de cultivos.....	11
Figura 1.2. Disposición lateral de la cámara en técnicas de visión artificial terrestre en viña(a).Dispositivo experimental (Cortesía de Robert Bramley)(b) ..	30
Figura 2.1. Circuito auxiliar de alimentación eléctrica.	44
Figura 2.2. Esquema de funcionamiento del circuito eléctrico secundario.	45
Figura 2.3. Vista frontal y posterior de la cámara JAI CM-140GE-UV.	46
Figura 2.4. Lentes de 6 mm, 8 mm, 12 mm, y 25 mm de distancia focal.	46
Figura 2.5. Filtros ópticos utilizados con la cámara JAI y centros de la banda transmisora de cada filtro.....	48
Figura 2.6. Cobertura del espectro electromagnético de los filtros ópticos empleados en la fase experimental	49
Figura 2.7. Tractor utilizado en las pruebas de campo: detalle de la antena del receptor GPS y pantalla de control e información (GreenStar™)	50
Figura 2.8. Brazo extensible, cámara JAI, y receptores GPS	50
Figura 2.9. Penetrómetro para estimar la compactación del suelo	52
Figura 2.10. Coordenadas globales para mapas de compactación de suelos en viñedos muestreados.....	53

Figura 2.11. Parcela <i>Cabernet Sauvignon</i> de Requena (Visor SIGPAC)	54
Figura 2.12. Parcela <i>Moscatel</i> en Turís (Visor SIGPAC)	55
Figura 2.13. Parcela <i>Malvasía</i> en Turís (Visor SIGPAC)	56
Figura 2.14. Dinamómetro (a) y capazo (b) utilizados para pesar la uva correspondiente a cada celda	57
Figura 2.15. Cámara de almacenamiento refrigerada con muestras de uva	58
Figura 2.16. Medidor digital de temperatura y humedad relativa	58
Figura 2.17. Prensa manual utilizada para la extracción del mosto	59
Figura 2.18. Balanza de precisión KERN 440-33	60
Figura 2.19. Calibre digital midiendo el diámetro de un grano de uva	60
Figura 2.20. Refractómetro digital DR101 Brix	61
Figura 2.21. Areómetro Baumé(a) y su aplicación a una muestra de mosto(b)....	62
Figura 2.22. Valorador de acidez PH-Burette 24 1S	63
Figura 3.1. Definición de coordenadas geodésicas (a) y ECEF (b). (Rovira-Más et al., 2010)	70
Figura 3.2. Sistema de coordenadas LTP (Rovira-Más et al., 2010)	70
Figura 3.3. Gráfica de compactación del suelo (parcela <i>Moscatel</i>)	71
Figura 3.4. Transformación de coordenadas LTP a una malla universal	73
Figura 3.5. Algoritmo de construcción de mapas de suelo	75
Figura 3.6. Trayectorias del tractor en la parcela <i>Cabernet-Sauvignon</i> durante las temporadas 2011 (a) y 2012 (b)	77
Figura 3.7. Interfaz del programa (C++) para capturar información básica de los mapas de vegetación: imagen original (a), imagen segmentada (b), y curva de segmentación (c)	78
Figura 3.8. Panel de calibración para estimar equivalencia píxel-cm	81
Figura 3.9. Ciclo de la vid (Moreno-Vigara y Peinado-Amores, 2010)	83
Figura 3.10. Comparación entre imágenes tomadas lateralmente (a), y desde una posición cenital (b)	85
Figura 3.11. Histogramas superpuestos de imágenes capturadas en cuatro filas	86
Figura 3.12. Imagen típica (a), y su correspondiente <i>perfil de segmentación</i> (b)	87
Figura 3.13. Perfil de segmentación y cálculo automático del umbral μ	90
Figura 3.14. Algoritmo de construcción de mapas de vegetación	93
Figura 3.15. Delimitación de celdas con banderas durante la recogida de uva por tramos	94
Figura 3.16. Algoritmo de construcción de mapas de rendimiento	96
Figura 3.17. Algoritmo de construcción de mapas de altitud	97
Figura 3.18. Caja de corcho con las muestras de uva refrigeradas	98
Figura 3.19. Temperatura y humedad relativa de la cámara frigorífica donde se almacenaron las muestras	99
Figura 3.20. Vaso de precipitados de 250 ml con el mosto recién prensado, vaso de precipitados de 100 ml con 5 ml de mosto y 35 ml de agua destilada, pipeta e imanes	100

Figura 3.21. Obtención del peso de una muestra de 10 bayas	105
Figura 4.1. Puntos de muestreo para las parcelas Moscatel (a) y Malvasía (b) .	110
Figura 4.2. Mapa de suelos para la parcela Moscatel: (a) resistencia media (N/mm ²); y (b) resistencia máxima (N/mm ²)	111
Figura 4.3. Mapa de suelos para la parcela Malvasía: (a) resistencia media (N/mm ²); y (b) resistencia máxima (N/mm ²)	111
Figura 4.4. Mapas de altitud de las parcelas Moscatel (a) y Malvasía (b).....	112
Figura 4.5. Imágenes obtenidas con lentes de 6 mm, 8 mm, 12 mm ó 25 mm de distancia focal.....	116
Figura 4.6. Reflectancia para la vid Cabernet-Sauvignon (Brown et al., 2004) .	117
Figura 4.7. Imagen original con filtro NIR (a) y su correspondiente imagen segmentada por el algoritmo propuesto (b)	119
Figura 4.8. Imágenes con filtro NIR: incorrectamente (a) y correctamente segmentadas (b)	120
Figura 4.9. Imagen original (a) tomada con filtro verde en día soleado y su correspondiente imagen segmentada (b)	121
Figura 4.10. Imagen original (a) tomada con filtro verde en día nublado y su correspondiente imagen segmentada (b)	121
Figura 4.11. Imagen segmentada tomada con el filtro azul (a), e imagen segmentada tomada con el filtro ultravioleta (b)	122
Figura 4.12. Imagen con filtro rojo en día nublado (a) y su correspondiente imagen segmentada (b)	123
Figura 4.13. Imagen original tomada con filtro rojo en día soleado (a), y su correspondiente imagen segmentada (b)	123
Figura 4.14. Imágenes segmentadas con filtro rojo y lente de 8 mm (a) y de 12 mm (b)	124
Figura 4.15. Mapa de vegetación sin corregir el efecto del suelo con lente de 8 mm y filtro NIR.....	125
Figura 4.16. Mapa de vegetación corregido para la lente de 8 mm y filtro NIR .	125
Figura 4.17. Mapa de vegetación con lente de distancia focal 12mm y filtro rojo	126
Figura 4.18. Mapa de rendimiento para las campañas de 2011 (a) y 2012 (b) ..	127
Figura 4.19. Mapa de altitud para la parcela de Cabernet-Sauvignon	128
Figura 4.20. Mapa de azúcares totales (g/l) de la parcela de Cabernet-Sauvignon	130
Figura 4.21. Mapa de azúcares totales (°Be) de la parcela de Cabernet-Sauvignon	130
Figura 4.22. Mapa de alcohol probable (% vol) de la parcela de Cabernet-Sauvignon	130
Figura 4.23. Mapa de pH para la parcela de Cabernet-Sauvignon	131
Figura 4.24. Mapa de acidez total (g/l) para la parcela de Cabernet-Sauvignon	131

Figura 4.25. Mapa de pesos de diez bayas de uva (g) para la parcela de Cabernet-Sauvignon	132
Figura 4.26. Mapa del diámetro medio de baya (mm) en la parcela de Cabernet-Sauvignon	133
Figura 4.27. Mapa de densidad de baya (g/cm ³) en la parcela de Cabernet-Sauvignon	133
Figura 4.28. Medida de resistencia del terreno en la parcela Cabernet-Sauvignon	134
Figura 4.29. Mapas de resistencia media del suelo (a) y de resistencia máxima (b) en parcela Cabernet-Sauvignon	135
Figura 4.30. Mapa de rendimiento futuro calculado a partir de la Ecuación 4.1.	143
Figura 4.31. Mapa de rendimiento futuro calculado a partir de la Ecuación 4.2.	143
Figura 4.32. Mapa de rendimiento futuro a partir de vegetación (8 mm) y celdas de 8 m de lado	144
Figura 5.1. Escaso desarrollo de raíces por compactación que induce un limitado desarrollo de la parte aérea (Infoagro)	147
Figura 5.2. Variación de la calidad frente al rendimiento para diferentes tipos de viñedo (Hidalgo-Togores, 2006)	153
Figura 5.3. Rangos frecuentes de parámetros de calidad del mosto (Basado en Rius, 2005)	157

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Características técnicas de los filtros implementados	48
Tabla 3.1. Caracterización geométrica del modelo WGS84	69
Tabla 3.2. Equivalencias píxel-cm con el panel de calibración de la figura 3.8 ..	82
Tabla 4.1. Condiciones experimentales de los mapas de suelos	109
Tabla 4.2. Pruebas de configuración para realizar los mapas de vigor	113
Tabla 4.3. Campo de visión de las lentes de 6 mm, 8 mm, y 12 mm.....	116
Tabla 4.4. Condiciones experimentales del mapa de rendimiento	127
Tabla 5.1. Valor del coeficiente R ² (%) en modelos de regresión simple según el tamaño de celda	161
Tabla 5.2. Discriminación de resultados por lotes	165

ÍNDICE DE ANEJOS

ANEJO 1: ESPECIFICACIONES DE LA CÁMARA MONOCULAR JAI CM - 140GE-UV...	196
ANEJO 2: ESPECIFICACIONES DE LAS LENTES.....	198
ANEJO 3: ESPECIFICACIONES DE LOS FILTROS	200

ANEJO 4: ALGORITMO DE SITUACIÓN DE PUNTOS EN MUESTREOS MANUALES....	208
ANEJO 5: PRUEBA DE RESISTENCIA DE SUELO. (MATLAB. VERSIÓN R2009B).....	210
ANEJO 6: PROGRAMA PERCEPCIÓN JAI. (VISUAL STUDIO. VERSIÓN 2005)	215
ANEJO 7: MAPAS DE VEGETACIÓN. (MATLAB. VERSIÓN R2009B).....	250
ANEJO 8: PESOS Y COORDENADAS. RECOGIDA MANUAL	254
ANEJO 9: RENDIMIENTO. (MATLAB. VERSIÓN R2009B).....	262
ANEJO 10: ALTITUD. (MATLAB. VERSIÓN R2009B).....	265
ANEJO 11: ACIDEZ (G/L) Y GRADO ALCOHÓLICO (% VOL)	267
ANEJO 12: DATOS DE LABORATORIO. ANÁLISIS QUÍMICOS	275
ANEJO 13: MAPAS_COMPLETO	283
ANEJO 14: DATOS ESTADÍSTICOS (STATGRAPHICS V.XVI)	289

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

AP: Agricultura de Precisión

CCD: Dispositivo de carga acoplada (*Charge-Coupled Device*)

EE: Espectro electromagnético

GB: Gigabyte (10^9 bytes)

GPS: Sistema de posicionamiento global (*Global Positioning System*, operado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos)

HDOP: Horizontal dilution of precision (Dilución horizontal de precisión)

IR: espectro infrarrojo (750 nanómetros hasta los 10.000 nanómetros)

IRT: infrarrojo térmico (8.000 nm a 14.000 nm)

NIR: espectro del infrarrojo cercano (*Near Infrared*, 750 nm a 1.100 nm)

NDVI: Índice normalizado de vegetación o Normalized Difference Vegetation Index. Utilizado para monitorizar el vigor de la planta, la cobertura foliar y la producción de biomasa desde datos por satélite (banda multispectral)

PAR: radiación fotosintéticamente activa (*Photosynthetically active radiation*)

RAM: Random-access Memory. Memoria de acceso aleatorio

RDI: Regulated Deficit Irrigation (Riego deficitario controlado)

SIGPAC: Sistema de información geográfica de parcelas agrícolas (Ministerio del Medio Ambiente y Medio Rural y Marino)

UV: banda ultravioleta del espectro (\approx 200 a 400 nm)

UVA: banda del espectro ultravioleta A (320 nm a 400 nm)

UVB: banda del espectro ultravioleta B (290 nm a 320 nm)

VDOP: Vertical dilution of precision (dilución vertical de precisión)

RESUMEN

En este trabajo de tesis doctoral se ha desarrollado una nueva metodología para monitorizar un viñedo en diferentes fases de cultivo y mejorar su gestión en campo. El núcleo del método propuesto es la confección de *mapas de cultivo* con origen local único, resolución variable, y sistema de coordenadas global pero con geometría plana. El sistema desarrollado, además, permite la integración de información proveniente tanto de sistemas de adquisición totalmente automáticos como manuales, así como la comparación y correlación de medidas efectuadas en diferentes etapas de crecimiento e incluso a lo largo de diferentes años. El objetivo último consiste en la proposición de modelos predictivos sobre la producción de uva y potencial enológico del futuro vino. Para ello se aplican nuevas tecnologías en una arquitectura de coste moderado, dotada de la flexibilidad y versatilidad necesaria para que un productor promedio del área mediterránea pueda adaptar el sistema propuesto a sus necesidades particulares, utilizando para ello un vehículo convencional de uso agrícola.

La arquitectura propuesta, implementada, y validada en campo consiste en un sistema de percepción basado en visión artificial, un sistema de posicionamiento global con corrección diferencial, y un ordenador de abordo que, mediante la metodología propuesta, combina toda la información adquirida y la transforma en mapas de cultivo compatibles entre sí. El sistema de visión ofrece una técnica simple basada en una cámara monocromática sensible en el rango UV-NIR y acondicionada mediante filtros ópticos que optimizan la ejecución del algoritmo de segmentación dinámica. El programa desarrollado e implementado a bordo de un tractor estándar combina imágenes y posicionamiento del vehículo para generar la información para los mapas

en tiempo real de vegetación relativa, que serán posteriormente relacionados con otros mapas de interés, tanto generados de forma automática (desnivel del terreno) como manual (rendimiento, compactación del terreno, acidez, etc.). El control de los sistemas de percepción y posicionamiento también se ha simplificado a través de una única interfaz gráfica, que permite la utilización del sistema por operarios no versados en nuevas tecnologías.

Los resultados obtenidos indican que un planteamiento simplificado de la agricultura de precisión es informativo siempre y cuando se cuente con un sistema de gestión de información óptimo. Los mapas de cultivo propuestos sirvieron para establecer correlaciones estadísticamente significativas entre variables clave, cuantificando de manera objetiva la variabilidad espacial en cuanto a cantidad de vegetación, producción de uva, compactación del terreno, o propiedades químicas del mosto. La posibilidad de enriquecer los modelos presentados con información proveniente de campañas sucesivas resulta atractivo para el viticultor, que puede contar con modelos predictivos específicamente adaptados a su explotación y que cada vez serán más precisos. Esta metodología está al alcance de pequeños y medianos productores, ya que prescinde de la compra de imágenes digitales de origen aéreo o remoto, y además no requiere la adquisición de un vehículo específico, lo que facilita la generación de mapas de cultivo mientras se efectúan otras labores agrícolas gracias al uso de redes con referencias globales.

PALABRAS CLAVE: Viticultura de precisión; Agricultura de precisión; Visión Artificial; Detección terrestre; Mapas de cultivo; Segmentación dinámica; GNSS; GPS; Sistema de referencia LTP; coordenadas NEZ.

ABSTRACT

This dissertation develops a new method to monitor vineyards over the main stages of their productive cycle in order to optimize field management. The core of the methodology is the generation of customized *crop maps* with a user-set local origin, variable resolution, and a global-referenced coordinate system based on Euclidean geometry. In addition, this system allows the fusion of data coming from either manual or automatic sampling, as well as the integration of measurements carried out along the growing season and even over consecutive seasons. The main objective is the enunciation of predictive models on the production of grapes and the assessment of their wine potential. To do so, emergent technologies have been applied through a cost-effective system architecture endowed with the flexibility and versatility required by modest South European growers to make wine production sustainable with conventional farm vehicles.

The system architecture designed, implemented, and field-validated comprises non-invasive perception with machine vision, differential GPS, and an onboard computer that acquires all the information to compose standardized crop maps in real time. The vision system implements a simplified approach based on a grayscale camera sensitive in the range UV-NIR and adapted to different spectral bands by means of optical filters that enhance the performance of dynamic segmentation routines. The main algorithm was implemented onboard a mid-size tractor and synchronizes crop images grabbed from the camera with the instantaneous position of the vehicle to generate real-time maps of the spatial variability of vegetation, with the purpose of their comparison with other crop maps of interest, such as terrain variation maps automatically generated by the vehicle, or manually generated

maps of soil resistance, yield, or alcohol potential of the future wine. A friendly graphic user interface helps operators illiterate in information technology control the perception and localization systems simultaneously from the tractor's cabin.

The results of this investigation indicate that reducing the complexity of precision farming applications is instrumental for its success as long as data are optimally managed after acquisition and processing. The novel crop maps defined in this work allowed the establishment of correlations between key crop parameters with statistical significance, resulting in the objective quantification of spatial variability for vegetation, yield, soil resistance, and several chemical properties of grape's juice. The fact that all the models proposed may be further completed with the addition of new data gathered from upcoming seasons is quite attractive to producers, who are endowed with a tool specifically adapted to their field and gaining in precision with time. This approach is affordable to medium-size vineyards because there is no need for purchasing airborne imagery, neither especially adapted vehicles, what in the end lets operators generate their own crop maps while performing other tasks with the vehicle, as global positioning accounts for the right localization of the field measurements at any time.

KEYWORDS: Precision viticulture; Precision farming; Machine vision; Proximal sensing; Crop maps; Dynamic segmentation; GNSS; GPS; Local Tangent Plane coordinate system; NEZ coordinates.

RESUM

En aquest treball de tesi doctoral s'ha creat una nova metodologia per a monitoritzar una vinya en diferents fases de cultiu i millorar la seua gestió en camp. El cor del mètode proposat és la confecció de innovadors mapes de cultiu amb origen local únic, resolució variable, i sistema de coordenades global però amb geometria plana. El sistema creat, a més, permet la integració d'informació provinent tant de sistemes d'adquisició totalment automàtics com manuals, així com la comparació i correlació de mesures efectuades en diferents etapes de creixement i inclús al llarg de diferents campanyes i anys. L'objectiu últim consisteix en la proposició de models predictius sobre la producció de raïm i potencial enològic del futur vi. Per això s'apliquen noves tecnologies en una arquitectura de cost moderat, dotada de la flexibilitat i versatilitat necessària per a que un productor mitjà de l'àrea mediterrània puga adaptar el sistema proposat a les seues necessitats particulars, utilitzant un vehicle convencional d'ús agrícola com son els tractors o les vendimiadores.

L'arquitectura proposta, implementada, i validada en camp consisteix en un sistema de percepció basat en visió artificial, un sistema de posicionament global amb correcció diferencial, i un ordinador d'abord que, mitjançant la metodologia proposada, combina tota la informació adquirida i la transforma en mapes de cultiu compatibles entre si. El sistema de visió ofereix una tècnica simple basada en una càmera monocromàtica sensible en el rang UV-NIR i condicionada mitjançant filtres òptics que optimitzen l'execució de l'algoritme de segmentació dinàmica. El programa desenvolupat i implementat a bord d'un tractor estàndard combina imatges i posicionament del vehicle per generar mapes en temps real de vegetació, que seran posteriorment relacionats amb altres mapes d'interès, tant generats de forma automàtica (desnivell

del terreny) com manual (rendiment, compactació del terreny, acidesa, etc.). El control dels sistemes de percepció i posicionament també s'ha simplificat a través d'una única pantalla gràfica, que permet la utilització del sistema per operaris no versats en noves tecnologies.

Els resultats obtinguts indiquen que un plantejament simplificat de l'agricultura de precisió és informatiu sempre que es compte amb un sistema de gestió d'informació òptim. Els mapes de cultiu proposats van servir per establir correlacions estadísticament significatives entre variables clau per al llaurador, quantificant de manera objectiva la variabilitat espacial pel que fa a la quantitat de vegetació, producció de raïm, compactació del terreny, o propietats químiques del most. La possibilitat d'enriquir els models presentats amb informació provinent de campanyes successives resulta atractiu per al viticultor, que pot comptar amb models predictius específicament adaptats a la seua finca i que cada vegada seran més precisos. Aquesta metodologia està a l'abast de xicotets i mitjans productors, ja que prescindix de la compra d'imatges digitals d'origen aeri o remot, i a més, no requereix l'adquisició d'un vehicle específic, la qual cosa facilita la generació de mapes de cultiu mentre s'efectuen altres faenes agrícoles gràcies a l'ús de xarxes amb referències globals.

PARAULES CLAU: Viticultura de precisió; Agricultura de precisió, Visió Artificial, Detecció terrestre, Mapes de cultiu, Segmentació dinàmica; GNSS, GPS, Sistema de referència LTP; coordenades NEZ.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN A LA VITICULTURA DE PRECISIÓN (VP)

1.1.1 La Agricultura de Precisión (AP). Variabilidad y eficiencia.

Los productores agrícolas necesitan explotar de forma eficiente sus parcelas con el objetivo de obtener la mayor rentabilidad posible optimizando los insumos. Gracias a la evolución tecnológica, el sector agrario puede beneficiarse de sistemas útiles para aplicarlos en las distintas explotaciones, si bien innumerables técnicas están aún en desarrollo dependiendo de la zona geográfica donde se encuentre la explotación. Estas técnicas que ayudan a los productores en el manejo de su explotación han de adecuarse a las posibilidades de cada parcela, según las características del cultivo, el terreno disponible, y los costes que puedan abordarse. Para implementar estas nuevas tecnologías, es necesario un cambio de mentalidad por parte del productor, ya que, por lo general, los productores se niegan a abandonar las técnicas tradicionales a las que están acostumbrados para adoptar unas nuevas

técnicas más modernas; sin embargo, esta adopción habría de venir justificada por una obtención de mayor rendimiento de la explotación con menores costes de manera muy clara. El factor clave por el que es necesario un tratamiento distinto del tradicional estriba en la existencia de **variabilidad** dentro de la parcela de cultivo. Gracias a las nuevas tecnologías, se ha podido comprobar mediante análisis (de suelo, planta, agua de riego...) que la parcela no es uniforme, no se comporta de la misma forma en todos los puntos de su extensión y muchos han sido los autores que han tratado de controlar esa variabilidad (Tardáguila et al., 2008; Tardáguila y Diago, 2008). El tratamiento de esa variabilidad es de lo que se ocupa la **Agricultura de Precisión (AP)**, desarrollada a finales de los años 80 en Estados Unidos, Australia y Reino Unido debido al auge de los sistemas de posicionamiento global (Hidalgo-Togores, 2006). En su tesis doctoral, Blackmore (2003) recuerda los inicios de la AP como el *esfuerzo de entender y gestionar la variabilidad de los campos*. El propósito de la AP se centra en una mejor gestión de la **variabilidad intraparciliaria** (variabilidad dentro de una misma parcela), ya que los campos de cultivo no son uniformes en sus características (disponibilidad de agua, radiación solar incidente, topografía, pendiente...) ni en sus necesidades, sino que existe una variabilidad, y por tanto no es eficiente tratar toda la parcela por igual. Según la filosofía de la AP se deben tomar medidas para tratar de forma eficaz cada parte del terreno. La clave de la AP es aplicar lo que es necesario, donde se necesite y en el momento oportuno, de forma que exista la mayor eficiencia posible para no malgastar recursos. Esta eficiencia se ve presente en la utilización de antenas GPS en los sistemas de AP, con los que se tienen siempre localizados en el espacio los puntos donde se esté trabajando, además de que implican la obtención de datos en tiempo real, por lo que la disponibilidad de información es mayor. Otros propósitos de esta filosofía

inciden en facilitar la tarea al productor lo máximo posible y ayudarlo a mejorar la gestión de la explotación haciéndola más rentable. En resumen, el uso de la AP implica minimizar los insumos, mejorar la eficiencia y crear una agricultura más sostenible.

En los últimos años, la agricultura está dejando de ser algo tradicional para convertirse en algo moderno con la aplicación de las nuevas tecnologías en este sector. El abandono de la obtención de datos por muestreo manual es cada vez más popular por resultar prohibitivo en coste y tiempo. Por ello, se están desarrollando diferentes tipos de sensores que permiten la aplicación de la AP. En general, los sensores utilizados en AP se pueden agrupar en tres clases: sensores de control, sensores de localización y sensores de percepción. En la presente investigación se utilizan dos de ellos, los sensores de localización (receptores GPS) y sensores de percepción (cámara). Estos últimos tipos de sensores son los principales agentes de la visión artificial. La visión artificial es una técnica que, con la aparición de la AP, se ha incorporado a la agricultura. Esta incorporación supone grandes mejoras, ya que estos sistemas proporcionan información importante relacionada con los cultivos y su entorno; además, permiten indagar en regiones del espectro electromagnético donde el ojo humano no es capaz de operar. Algunas de las ventajas de la visión artificial en el ámbito agrícola son:

- fiabilidad y objetividad, al no verse afectadas las cámaras por factores como fatiga, hábitos adquiridos, etc., que sí afectan a las personas y, por tanto, a la visión humana
- aumento de la productividad (rentabilidad) y posibilidad de automatizar operaciones repetitivas
- eliminación de los métodos invasivos que destruyen los frutos y plantas durante su análisis

- desarrollo de nuevos sensores para espectros visibles que permiten la detección de anomalías o lesiones en los frutos que no son visibles por el ojo humano.

Pero, precisamente por ser una aplicación nueva, también presenta algunos inconvenientes todavía no resueltos hoy en día con los que tiene que lidiar, ya que los cultivos se encuentran al aire libre y, por tanto, en condiciones cambiantes de iluminación debido a la variación de la posición del Sol a lo largo del día (y del año). Además, existe gran variabilidad de los frutos, con diferencias entre especies, variedades e incluso a nivel individual por tamaño, forma o color; la fragilidad del producto también puede ser un inconveniente en procesos post-cosecha donde se tiene que manipular el fruto. También se debe mencionar la naturaleza estacional de la producción, por lo que la recuperación de la inversión en tecnología suele ser lenta. A pesar de estas dificultades, en post-cosecha existe ya un gran beneficio con las técnicas de visión artificial, pues los productores de alimentos frescos y procesados reducen los costes homogeneizando la calidad de los productos y reduciendo la manipulación (Best et al., 2011). En campo, la lenta difusión de las técnicas de visión viene justificada por las dificultades económicas del sector, además de la necesidad de realizar numerosas calibraciones y ensayos debido a las variaciones de iluminación, pero, actualmente, ya existen las herramientas necesarias para el desarrollo de gran variedad de técnicas de visión, ya que la maquinaria, los programas de ordenador, los sensores y el conocimiento, están disponibles (Towers y von Martini, 2002).

La figura 1.1 representa un diagrama conceptual del proceso que se sigue en la mejora de una explotación de cultivo cuando se utilizan técnicas de AP que emplean visión artificial. Se muestra el proceso de

extracción de información en el que el origen primario de datos son las plantas (cultivo) y finalmente se vuelve a actuar sobre ellas. Son el origen y final del proceso. El primer paso consiste en obtener información perceptual de la vegetación utilizando técnicas y materiales de visión artificial, recolectando la mayor cantidad de datos referenciados por coordenadas geodésicas; se analizan los datos recogidos, que incluyen algunas variables clave del cultivo (textura del suelo, humedad, vigor de las plantas...). Después de procesar los datos, las variables se relacionan entre ellas a través de mapas de parcela, lo cual cierra el ciclo interviniendo el productor otra vez sobre la vegetación según la información obtenida en los mapas.

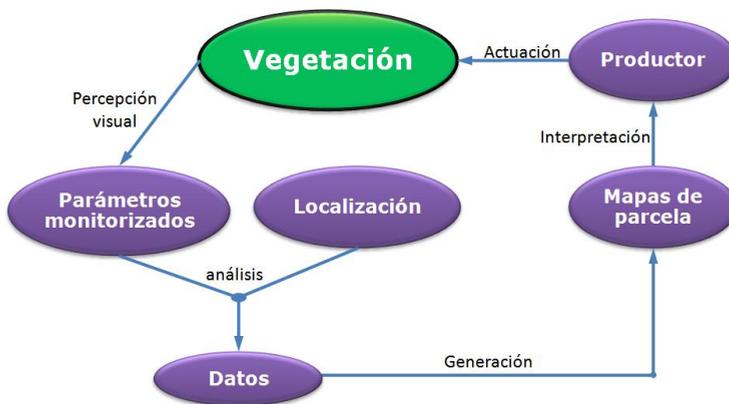


Figura 1.1. Ciclo de actuación para la aplicación de técnicas de visión artificial en la producción de cultivos

La aplicación de la AP presenta ventajas significativas para dos de los agentes participantes en ella: el productor, para el cual, el margen económico de sus beneficios aumenta con las mejoras en el rendimiento y la optimización de insumos; y el medio ambiente, para el que el riesgo de contaminación se ve reducido con la aplicación de esta filosofía. De hecho, uno de los objetivos principales de la AP consiste en minimizar el impacto ambiental de las prácticas agrícolas sobre los terrenos cultivados

mientras que se maximizan los beneficios económicos, el rendimiento, la calidad de los productos y su rentabilidad.

1.1.2 La Viticultura de Precisión (VP)

El potencial de la AP para el cultivo de la vid se desarrolló en Estados Unidos y Australia hace aproximadamente una década (Wample et al., 1999; Bramley y Proffit, 1999; Hall et al., 2002). Además, hay dos razones principales por las que la AP aplicada al viñedo ha creado una vertiente aparte acogiendo solamente a este cultivo. La primera razón es el alto valor añadido del producto final de la vid, el vino; y la segunda razón y más importante para las investigaciones de visión artificial, es la relación que existe entre el vigor de la vegetación, ésto es, cantidad de vegetación (y por tanto, observable a través de sistemas ópticos) y otras variables fundamentales como son la producción o rendimiento, calidad, nivel hídrico de la planta, etc. (Aranzabal et al., 2008). Estos motivos y otras ventajas que se han ido descubriendo a lo largo de los años de aplicación de la AP sobre el cultivo de la vid, justifican el que haya una vertiente de la AP denominada VITICULTURA DE PRECISIÓN (VP). Para los viticultores es una ventaja poder disponer de tecnología que permita predecir el estado del cultivo para dar tratamientos específicos y tomar medidas de mejora a tiempo, así como también supone una ventaja poder contar con información técnica de la cosecha antes de llegar a la bodega. Cualquier adelanto en la disponibilidad de esta información ahorraría costes, ya que, al predecir lo que ocurrirá en el campo, se puede gestionar mejor todo lo necesario para la organización de la temporada de cosecha de la uva (vendimia). Según Hidalgo-Togores (2006), *“la viticultura de precisión es una nueva modalidad de control y diagnóstico de todo lo relacionado con la vegetación del viñedo, buscando una mejora de la productividad y de su calidad, acompañado de un notable*

ahorro de costes y con un mayor respeto por el medio ambiente, basado en la obtención de una gran cantidad de información fiable y procedente de la aplicación de la tecnología más moderna: informática, satélites, fotografía, etc.”.

1.1.3 Finalidad de esta investigación: Estudio y aplicación de nuevos métodos de VP.

De los tres grupos de sensores (control, localización y percepción) mencionados en el apartado 1.1.1, para esta investigación se utilizan dos de ellos: los sistemas de percepción local y los de localización global; la combinación de estos dos tipos de sensores a tiempo real desde un vehículo convencional se van a emplear para la confección de mapas de parcela, que es el objetivo principal perseguido en esta tesis doctoral.

La característica fundamental que posee la vid para aplicaciones de visión artificial es la peculiaridad de que a través de la vegetación se puede obtener mucha información de variables fundamentales para su desarrollo. El vigor vegetativo, o cantidad de vegetación, se puede estimar, y en cierta medida cuantificar, con técnicas de visión artificial, de ahí su gran interés. Tradicionalmente, para calcular el vigor vegetativo de la vid, se ha utilizado el denominado *Índice de Ravaz*, que es el cociente entre la producción en kilos por cepa o hectárea y el peso de la poda, también en kilos por cepa o hectárea (Hidalgo-Togores, 2006). Como se puede deducir, estas dos variables se han de medir después de la cosecha: la producción se mide inmediatamente después de la vendimia, y el peso de la poda, en parada vegetativa. Sin embargo, la metodología propuesta pretende hacer una estimación de la cosecha tan pronto como sea posible. Gracias a los mapas que se generen siguiendo las líneas trazadas por la metodología de esta investigación, se pretende estudiar y profundizar en las relaciones que puedan existir entre las

características fisiológicas internas de la planta y los aspectos físicos vistos a través de imágenes digitales tomadas con las cámaras. Todo ello aplicado en parcelas de tamaño medio. Una vez conocidas estas relaciones se podrán tomar mejores decisiones acerca de las necesidades del cultivo y la gestión de sus recursos. Un aspecto esencial en el cultivo de la viña es la evaluación de la vegetación, así como su producción, buscando un diagnóstico preciso, además de fiable, que ayude al viticultor a tomar decisiones acertadas sobre los diferentes aspectos del cultivo, todas ellas orientadas a incrementar la calidad y/o el rendimiento del viñedo (Hidalgo-Togores, 2006).

Muchas técnicas modernas utilizadas en vid para confeccionar mapas de cultivo han girado en torno a la teledetección o detección mediante satélites (Johnson et al., 2003a; Hall et al., 2002) en la banda espectral del infrarrojo. Por ejemplo, en algunos estudios se ha relacionado la temperatura en la banda del infrarrojo térmico (de 8.000 a 14.000 nm en el espectro electromagnético) con la humedad de la vegetación, para finalmente obtener mapas de estrés hídrico (Best et al., 2011). Los grupos de investigación más precoces en teledetección pertenecen a países que poseen grandes parcelas y extensiones de cultivo y, además, donde la tecnología aeronáutica está más a su alcance, como ocurre con los grupos de investigación en AP de Estados Unidos que colaboran con la NASA (National Aeronautics and Space Administration).

La dificultad de obtener y manejar imágenes capturadas por satélites, obliga a productores de tamaño modesto a buscar técnicas alternativas que involucren tecnologías más fácilmente disponibles para el productor o el gestor de la explotación. De ahí que tenga sentido pensar en utilizar un vehículo convencional como el elemento portátil de los sensores, buscando técnicas alternativas que posicionen los sensores

más próximos a la vegetación, que suele ser el elemento de mayor interés. El sistema de visión empleado en este trabajo capta información visual del cultivo y, conjuntamente con el sistema de información geográfica perteneciente al grupo de sensores de localización (concretamente un receptor GPS), procesa la información adquirida según el algoritmo desarrollado para ello, de forma que al final se obtienen los mapas de parcela referenciados en un sistema de coordenadas global, pero con origen local elegido por el usuario, para saber siempre la posición real exacta a la que pertenece cada punto del mapa. La forma de conseguir estos mapas de parcela se basa en la utilización de un vehículo agrícola común empleado normalmente en las explotaciones agrícolas, un tractor, al que se le acoplan los sensores, el ordenador y demás sistemas electrónicos. El sensor de percepción consiste en una cámara digital preparada con varias lentes a la que se le acoplan diferentes filtros que potencien el elemento de interés: la vegetación. Los mapas de parcela obtenidos después de aplicar las técnicas desarrolladas y los materiales especialmente seleccionados, contienen información básica para, según las características obtenidas de la parcela en estudio, actuar sobre ella y obtener el máximo rendimiento del viñedo. Las variables empleadas para confeccionar los mapas de parcela han de tener un interés particular para cada productor; en general, se pueden crear mapas de producción o rendimiento, de aplicación de productos químicos, de distribución de agua de riego por la parcela, de enfermedades y/o infestaciones, madurez del fruto, o textura del suelo, entre otros. Al final, está en manos de los investigadores perfeccionar las técnicas para obtener unos mapas de parcela fieles a la realidad, siempre al alcance del productor de la explotación, tanto por la complejidad empleada como por los costes incurridos, para que se tengan los máximos beneficios posibles. A través de la información del mapa generado, el

productor puede actuar, y una actuación correcta en un momento clave puede resultar en una mayor calidad del fruto o en una mayor producción, dando lugar a unos mayores beneficios.

Las características generales de cada uno de los sistemas involucrados en la presente investigación son:

❖ Objeto de interés. Parcelas de viñedo en plena producción para vinificación. Se trata de varias parcelas donde se comprobará la validez del sistema.

❖ Parámetros del cultivo: se investiga, principalmente, el vigor de la viña, para posteriormente relacionarlo con otros parámetros de interés. El vigor se trata como factor *predictivo* de cosecha (producción o rendimiento) y calidad, además de factor *consecuencia* de otras propiedades.

❖ Técnica: se adopta la técnica de detección terrestre con el sensor de visión colocado en el tractor, de forma que el objeto de interés (la vegetación) se encuentre a varios decímetros de distancia de la cámara. El sensor GPS (localización) queda acoplado al de visión para tener las imágenes georreferenciadas en todo momento.

❖ Materiales: para la confección de mapas de vigor se estudian varios tipos de lentes y filtros con el objetivo de determinar la mejor combinación para esta aplicación, ajustando así el campo de visión conveniente y el espectro óptimo de trabajo. Además, se prueban dos tipos de sensores GPS para comprobar la fiabilidad de receptores de bajo coste.

❖ Información: Mapas de parcela. Se quiere obtener información visual y numérica a través de los mapas confeccionados, siendo éstos de suelo, vigor, cosecha (producción) y algunos parámetros químicos. De ellos se obtendrán conclusiones prácticas y recomendaciones para poder actuar convenientemente en la parcela.

❖ Usuario: Gestor de la explotación o productor. Todo el sistema tendrá que estar adaptado a productores no especialistas en tecnologías de la información.

1.2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y ESTADO DEL ARTE

La necesidad de saber qué prácticas son más convenientes para que el cultivo llegue a desarrollar el mayor potencial posible lleva a los productores a obtener datos cuantitativos sobre la parcela. En las parcelas tradicionales, el estado de la vegetación se averigua mediante técnicas manuales e invasivas. En vid, por ejemplo, estas técnicas incluyen el estrujado de los granos de uva para saber cuál es su grado alcohólico probable, utilizando un densímetro que proporciona, en términos de grados Baumé, la densidad del mosto muestreado. Este método es invasivo, ya que los granos muestreados son arrancados del racimo de uva y completamente destruidos una vez utilizados para el mosto, empleando en cada análisis un mínimo de 200 ml de zumo. Algunos productores han adquirido espectrómetros, cuya utilización no implica la destrucción de los frutos cuando son muestreados. Sethuramasamyraja et al. (2007) tomaron muestras en un campo de viña con un espectrómetro en la banda del infrarrojo cercano para medir antocianos en uva tinta (compuesto químico de medida de la calidad de uva para vino) y grados Brix (grado de azúcar que determina el momento de la cosecha). Cerovic et al. (2009) utilizaron un espectrómetro basándose en el principio de la fluorescencia para estimar otros compuestos (flavonoides, antocianos y contenidos clorofílicos) y crear un mapa de la parcela de viña con sus cantidades. Mediante la utilización de los espectrómetros, si bien no se destruye el fruto, los costes en mano de obra son muy altos, ya que se han de tomar las muestras una por una, acercando el aparato a los frutos en campo. Con el objetivo de evitar los costes en mano de obra en las grandes extensiones de terreno, como los latifundios de Australia o California, y automatizar el proceso de creación de mapas de parcela, aparecen las técnicas de teledetección (utilización de imágenes de satélites) o las técnicas aéreas (empleo de vehículos

aéreos, ya sean tripulados o no). Además, existen otras técnicas como lo son la detección de rango (range sensing, en el que se utiliza una fuente de luz láser para detectar los límites de la vegetación) para confeccionar mapas de parcela a una resolución espacial alta (McCarthy, 2010) o el empleo de helicópteros manejados por control remoto para elaborar mapas tridimensionales de la vegetación (Rovira-Más et al., 2005), sin embargo, la técnica más desarrollada hasta el momento para la creación de mapas de cultivo, sobre todo en viñedo, es la teledetección (detección remota o *remote sensing*). La teledetección se ha utilizado con éxito en aplicaciones agrícolas latifundistas. Sus grandes ventajas son la gran resolución radiométrica que puede obtenerse con esta técnica (Hall et al., 2002) y, en concreto, para aplicaciones agrícolas, la utilización de la banda espectral infrarroja (Lamb et al., 2001), por ser en esta banda donde la vegetación destaca más sobre el resto de elementos. Johnson et al. (2001a; 2003a) obtuvieron mapas del área foliar de un viñedo con ayuda del satélite IKONOS utilizando la banda del infrarrojo. Son innumerables los artículos publicados sobre teledetección, ya sea utilizando la banda visible del espectro, la del infrarrojo (cercano o térmico) o múltiples bandas estrechas distribuidas por la parte visible o infrarroja del espectro. Las características de cada una de estas técnicas se pueden consultar en Chaerle y Van Der Straeten (2000). Aplicaciones prácticas utilizando técnicas remotas han sido descritas en innumerables publicaciones australianas y americanas por autores como Lamb, Johnson, Best o Bramley, entre muchos otros. Por ejemplo, Lamb et al. (2004) relacionan descriptores físicos de viñedo, detectados mediante técnicas remotas en la banda del infrarrojo (IR), con el contenido en fenoles y el color del fruto. Robert Bramley fue uno de los pioneros especialistas en la técnica de la teledetección. En varios artículos explica, a modo de protocolo, cómo llevar a cabo esta técnica en viñedo utilizando un

programa diseñado por su equipo de investigación (Bramley y Williams, 2001; Bramley, 2005; Bramley et al. 2008). Las técnicas multiespectrales también han sido estudiadas con bastante intensidad. Estas técnicas utilizan cámaras que captan la energía reflejada del sol en distintas longitudes de onda. Möller et al. (2006) o Alchanatis et al. (2006) utilizaron este método para elaborar mapas del contenido de agua de la parcela; Best et al. (2005) relacionaron variables físicas con su respectiva superficie foliar para comparar diferentes rendimientos y calidades, con técnicas multiespectrales, por lo que utilizaron varias bandas estrechas del espectro situadas en la parte visible y la infrarroja cercana (NIR). Sin embargo, este último estudio (Best et al., 2005) introduce una nueva forma de percepción, cuya diferencia estriba en la distancia a la que se sitúa el sensor. Si el método de la teledetección sitúa al sensor más allá de la atmósfera terrestre, las técnicas de fotografía aérea no sobrepasan, generalmente, los 3.000 metros de altitud. De hecho, existen diferentes preferencias a la hora de elegir la altura, yendo desde alguna decena de metros (15 metros en Möller et al., 2006) a algunos millares, como Best et al. (2005) que utilizan fotografía aérea a 2.850 metros. Vila et al. (2007) comparan las dos técnicas, teledetección y fotografía aérea, para estimar cantidad de biomasa en viñedo, extrayendo como conclusión que las imágenes de los satélites tienen más calidad radiométrica, pero las aéreas resultan menos costosas de adquirir y realizar. Kim y Reid (2001) adoptaron un nuevo método de trabajo utilizando las técnicas multiespectrales en tres bandas estrechas del espectro (verde, roja e infrarroja) para crear un algoritmo compensatorio en función de la luz ambiente; lo hicieron desde tierra, con el sensor de percepción muy cercano a la vegetación (escasos decímetros) y con el objetivo de averiguar el contenido en nitrógeno del maíz. Estas nuevas técnicas de recoger información de la vegetación desde tierra están empezando a

desarrollarse hoy en día. Es lo que se ha denominado detección terrestre o, en inglés, *ground-based imagery* o *proximal sensing*. Trought y Bramley (2011a) utilizan esta metodología para poner de manifiesto la variabilidad de los viñedos, no sólo en el sentido espacial de variabilidad (en el que se manifiesta la diferente distribución de la parcela según distintas calidades de vid), sino también en el sentido temporal, con el objetivo de saber cuándo es mejor actuar en esas zonas diferentes de la parcela y, por tanto, llevar a la práctica una recolección escalonada. En estas técnicas de detección terrestre suele utilizarse un vehículo convencional. Rovira-Más (2010) y Bramley et al. (2011b) justifican el empleo de un tractor agrícola debido a la utilización de estos vehículos en las tareas regulares de campo, como son la pulverización, la poda, la siega, etcétera. Si se montan los sensores necesarios sobre el tractor, no es preciso hacer pases extra para tomar datos, sino que mientras se realizan las tareas de campo se puede tomar la información, lo que supone coste cero para el tiempo de toma de datos.

La idea que subyace en la extracción de ciertas características del cultivo mediante visión artificial, es la propiedad de reflectancia de la vegetación. Es bien conocida la gran reflectancia de la vegetación en la banda del infrarrojo, de ahí que numerosísimas investigaciones se efectúen implicando esta banda. Si las plantas están sanas, la reflectancia de la vegetación es más alta a partir del denominado borde rojo (Weekley, 2007), pero esta propiedad (reflectancia) se verá reducida si el cultivo se encuentra afectado por enfermedades o infestaciones, tal y como comprobaron Graeff et al. (2006), que observaron en condiciones controladas en el cultivo del trigo una reducción de la reflectancia en las hojas inoculadas con diferentes enfermedades.

La decisión de cuáles van a ser los parámetros que van a monitorizarse es un factor clave en AP. Existen sensores asociados a

monitores de parámetros productivos que facilitan enormemente esta tarea. A continuación se cita una relación, con una breve descripción, de los monitores actuales en el mercado (Best et al., 2011):

- Monitor de rendimiento. Registra la cantidad de cosecha (kg/ha) obtenida en diferentes sectores de la parcela. Viene representado en forma de mapas de cultivo georreferenciados. Cultivos: cereales, leguminosas y forrajeras.
- Monitor de calidad de grano. Mide el contenido de proteínas y la humedad del grano si está colocado en una cosechadora de cereales. Con la ayuda de un GPS puede crear mapas de distribución espacial del porcentaje proteínico de la parcela. Cultivos: cereales.
- Monitor de calidad de los frutos. Su sensor mide contenido de azúcar, pH, color, etc. Conectado a un GPS da lugar a mapas de calidad de la fruta. Cultivos: frutas; uva para vino y uva de mesa.
- Monitor de contenido de clorofila. Mide el contenido de clorofila de las hojas. Conectado a un GPS crea mapas de actividad fotosintética y contenido de nitrógeno en las plantas. Cultivos: cualquiera.
- Monitor de estado nutricional: N-sensor. Permite conocer la demanda de Nitrógeno de la planta. Conectado a un GPS permite generar mapas de esta variable y realizar aplicaciones de fertilizantes en tiempo real de acuerdo a la demanda. Cultivos: cualquiera.

Una de las preocupaciones más recurrentes de los productores y, por tanto, susceptibles de ser monitorizadas, son las enfermedades e infestaciones que afectan a los cultivos. Al igual que Graeff et al. (2006) observaron para el trigo, Hahn (2009) pone de manifiesto que un cultivo afectado por alguna patología reduce su reflectancia en el infrarrojo, por lo tanto las técnicas que utilizan esta banda del espectro son idóneas para detectar patologías antes de que éstas se manifiesten ante el ojo humano en la región visible del espectro. Un ataque de enfermedades

típicas en vid, como puede ser el Mildiu (*Plasmopara viticola*), el Oidio (*Uncinula necator*), o la Filoxera (*Dactylosphaera vitifoliae*), puede llegar a devaluar toda la cosecha. Ough y Berg (1979), manifestaron que los vinos obtenidos con uvas afectadas de Oidio devalúan altamente su calidad, siendo ésta inferior a la obtenida con uvas sanas. No hay que olvidar que el objetivo del productor de uva para vino es conseguir la calidad más alta posible en sus vinos. Estudios realizados en vid por Gadoury et al. (2000), manifestaron reducciones en parámetros cruciales como crecimiento, rendimiento y calidad, en la variedad de uva Concord, debido a afecciones de Oidio. Las enfermedades o infestaciones pueden tratarse, incluso prevenirse, con tratamientos fitosanitarios. La adopción de la Agricultura de Precisión en casos de tratamientos fitosanitarios implica el empleo de productos químicos solamente donde lo necesita el cultivo. Giles y Downey (2001) evaluaron las necesidades de la parcela objeto de su estudio y diseñaron mapas de aplicación de productos fitosanitarios. No obstante, se ha avanzado muy poco en la detección precoz de enfermedades y plagas mediante nuevas tecnologías.

La llegada de los sensores GPS y la aparición de la Agricultura de Precisión fueron dos hechos sucesivos y relacionados. El uso del GPS en sistemas agrícolas es fundamental para la creación de mapas de parcela. Es necesario georreferenciar cada punto de la parcela para poder generar los mapas de cultivo. Rovira-Más et al. (2010) recomiendan la utilización de coordenadas NED (Norte - Este - Altura) en aplicaciones prácticas de campo. Los receptores GPS normalmente reciben mensajes mediante el formato del código NMEA (National Marine Electronics Association), es decir, latitud, longitud y altitud (coordenadas geodésicas); sin embargo, es más útil manejar coordenadas NED, empleando el sistema LTP (Local Tangent Plane o plano tangente local). En el proceso de elaboración de los mapas de AP, será necesario efectuar una transformación de

coordinadas para poder trabajar según el sistema LTP. Los mapas de parcela que finalmente se obtienen al referenciar el terreno con sus coordenadas GPS son tan variados como el número de parámetros que se pueden monitorizar.

El principal parámetro medido en esta investigación, el vigor de la vegetación, está relacionado con las siguientes variables: rendimiento de parcela (kg de fruto/ha), madurez del fruto (cantidad de azúcares), calidad del fruto (azúcar y acidez), asimilación de CO₂ (tasa fotosintética), evapotranspiración de la vegetación en hojas (cantidad de agua evaporada en tiempo), temperatura de la vegetación (°C), eficiencia de pulverización, contenido de agua de la vegetación, estado nutritivo de la vid, infestaciones o enfermedades (Hall et al., 2002). El vigor es una propiedad que se puede visualizar a través de varios sistemas de visión; si éste se puede relacionar con los parámetros del cultivo mencionados anteriormente, tendremos, en consecuencia, mapas de rendimiento de parcela (Bramley et al., 2001, 2005, 2008), de control de calidad en aplicaciones de productos fitosanitarios (Giles y Downey, 2001), del estado hídrico de las plantas (Alchanatis et al., 2006), de enfermedades, infestaciones y madurez de la uva (Johnson et al., 2003a) o de textura de suelos agrícolas (Barnes y Baker, 2000). El momento idóneo para visualizar el vigor de la vid es cuando el estado de la vegetación es el definitivo, lo que tiene lugar en el envero, que es el periodo fenológico durante el que se ralentiza el crecimiento de raíces, vegetación y tronco para favorecer el desarrollo de los granos de uva o, en términos prácticos, es el periodo durante el cual existe la mayor correlación entre la imagen obtenida y parámetros de producción y color (Lamb et al., 2001). El objetivo final de los mapas de cultivo es que el productor sepa cómo manejar su parcela para obtener el mayor beneficio posible. Ésto daría lugar a la denominada recolección escalonada o diferencial (Best et al.,

2005; Johnson et al., 2001b), cuyo objetivo es obtener vinos de calidad única y una cosecha uniforme (Johnson et al., 2003a). Towers et al. (2009) recuerdan la necesidad de diferenciación de zonas de vigor en viñedo, ya que la calidad del fruto de vid para vinificación determina la rentabilidad del producto final. En esta misma línea, Best et al. (2011) justifican el manejo agronómico sectorizado, ya que, en caso contrario, se incurre en pérdidas. Además, delimitando esas diferentes zonas en las parcelas de viñedo se identifican las causas de esa variabilidad y se gestionan los recursos de forma que se corrijan diferencias de calidad o cantidad; igualmente, se evita que productos de menor calidad y precio se mezclen con los de altas calidades.

Las conclusiones a las que llegaron Trought y Bramley (2011) es que no sólo ha de tenerse en cuenta una variabilidad *espacial* para poder recolectar por zonas, sino también saber cuándo es el momento óptimo de recolección en cada una de esas zonas. Praat et al. (2004) añaden que la recolección por zonas en las parcelas es exitosa siempre y cuando se haya aplicado una poda adecuada, más bien mínima. Wehrhan y Selige (1997) anunciaron que la variabilidad de los cultivos dentro de las parcelas depende de la variabilidad del suelo, ya que se considera éste un elemento clave en los cambios sobre las plantas por estar en contacto directo con las raíces, que son agentes principales de sostén y sustento nutritivo de las plantas. Según varios autores (Hall et al., 2002, Bramley et al., 2011a) las distintas zonas de vigor suelen mantenerse estables en el tiempo debido a las propiedades constantes de los suelos; de hecho, Best et al. (2011) anunciaron que el factor más influyente sobre la expresión del vigor en un frutal es el suelo. Existe un concepto en viticultura que fue expresamente creado para destacar las implicaciones que el microclima, pero sobre todo, el manejo del suelo, conlleva sobre el viñedo; este concepto es el de “*terroir*” (Bodin y Morlat, 2006). Según

Currie (2007), los cambios en la estructura del suelo afectan a las propiedades físicas de éste, que tienen relación directa con las funciones del cultivo. En un viñedo, las relaciones que existen entre este cultivo y las propiedades del suelo se citan a continuación:

- Propiedades hidráulicas del suelo. Tanto la falta de agua en el suelo y, por tanto, en las raíces de la planta de la viña, como el exceso de agua, son negativos. La falta de agua se traduce en una reducción del crecimiento de la planta, del rendimiento productivo y de la calidad; por otra parte, el exceso de agua contribuye a un alto vigor de la planta, que en muchas ocasiones es incompatible con un vino de calidad. Y, por supuesto, este exceso hídrico también puede dar lugar al anegamiento de las raíces y su posterior parada de crecimiento radicular, de los brotes o de los frutos (Currie, 2007). Por tanto, es imprescindible un buen control de la cantidad de agua proporcionada a las vides. García-Escudero (2005) denomina *riego deficitario controlado* a la cantidad de agua idónea para lograr un equilibrio entre vigor de la viña y calidad del vino. Apoyando esa teoría de riego deficitario, Johnson et al. (2001b) descubren que la relación entre estrés hídrico (generado por la falta de agua) y el nivel de vigor en viñas es inversamente proporcional. Una de las formas de controlar la cantidad de agua disponible en la planta es a través de la medición de la conductividad eléctrica, ya que registra la infiltración y el drenaje de forma directa (Best et al., 2011).
- Aireación. Problemas en la aireación del suelo ocasionan problemas metabólicos en la planta. Un exceso de aireación del suelo deriva en una falta de fijación de las raíces al suelo, dando lugar a la falta de sustento (Best et al., 2011). Por el contrario, la falta de aireación en el suelo, ésto es, una excesiva compactación, provoca

concentraciones bajas de oxígeno necesario para la planta e imposibilidad de captar nutrientes necesarios para las hojas.

- Propiedades mecánicas. El suelo ha de servir de sustento a la planta; no sólo alimenticio, al captar nutrientes del suelo a través de las raíces y proporcionarlo a la parte aérea, sino también sustento mecánico. La compactación del suelo en este sentido juega un papel clave. Un exceso de compactación ahoga las raíces por un aumento desproporcionado en la presión ejercida sobre ellas, imposibilitando así el crecimiento de la planta; mientras que la falta de compactación provoca falta de apoyo e imposibilita el mantenimiento erguido de la planta. Esta compactación está directamente relacionada con la cantidad de poros del suelo.

Por tanto, las limitaciones físicas del suelo para el desarrollo de un cultivo pueden estar relacionadas con el impedimento mecánico al crecimiento de las raíces (compactación del suelo, aparición de la suela de labor), distribución desfavorable de tamaño de poros, falta de aireación o permeabilidad, escasa retención de agua, falta de consistencia debido a una textura arenosa, un alto volumen de piedras, un bajo contenido de materia orgánica, o incluso con temperaturas del suelo por debajo de los 13°C (Best et al., 2011). Yuste (2005) también considera al suelo como elemento clave, cuya característica de disponibilidad hídrica es la que toma un papel determinante para el desarrollo del viñedo, teniendo en cuenta que un aporte de agua mayor del necesario puede perjudicar la calidad final del vino, al disminuir los parámetros que le otorgan esa *calidad*, como nivel de azúcares, antocianos o acidez (García-Escudero et al., 2006).

Numerosos parámetros de cultivo han sido estudiados dependiendo de los objetivos que se hayan marcado en los diferentes estudios. Cuando el objetivo del trabajo está relacionado con el rendimiento e implica

técnicas propias de la viticultura de precisión, es más que probable que se utilicen parámetros dependientes del vigor, ya que esta variable está relacionada con la producción del cultivo. En Bramley et al. (2011a) se cita la variable circunferencia de tronco en relación con el vigor que, por otra parte, resultó ser poco significativa en relación con la cosecha. Este estudio fue llevado a cabo en Nueva Zelanda, siendo repetido en otras parcelas de Australia y dando resultados diferentes, en los que la cosecha sí estaba relacionada con la circunferencia del tronco. Por lo tanto, más estudios son necesarios para confirmar si, verdaderamente, el factor poda (manual o mecánica) es el que afecta a estas relaciones de vigor y circunferencia de tronco. El factor estrella estudiado ha sido, históricamente, el índice diferencial de vegetación normalizado, NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), tomando su auge con la aparición de las técnicas de teledetección y, más tarde, en técnicas de detección terrestre (Goutouly et al., 2006). Hall et al. (2002) acuñó el NDVI como el máximo representante del vigor en viña. El vigor, a su vez, está relacionado con numerosos parámetros, posibilitando así la obtención de múltiples conclusiones prácticas. El NDVI es un factor predictivo de la cantidad (y calidad) de vegetación. Lamb et al. (2001) muestran el NDVI como la relación entre vigor de vegetación y biomasa total. Para calcularlo se aplica la ecuación 1.1, que relaciona, para cada pixel de la imagen, la reflectancia en las bandas del infrarrojo y rojo del espectro.

$$\text{NDVI} = \frac{|\text{NIR} - \text{R}|}{\text{NIR} + \text{R}} \quad (\%) \quad (1.1)$$

Otro parámetro ampliamente estudiado y relacionado con el NDVI es el índice de área foliar o LAI (Leaf Area Index). El LAI representa la cantidad de material vegetal en los ecosistemas. Gobron (2008) lo define

como el área fotosintética (haz foliar) total por unidad de superficie terrestre donde crece la vegetación (m^2/m^2). Johnson (2003b) tomó datos vía satélite para el NDVI y los comparó con los datos terrestres del LAI durante el mismo periodo de tiempo. Concluyó que el NDVI y el LAI son dos variables íntimamente relacionadas y que, utilizando el LAI se puede llegar a reducir costes (calibraciones terrestres posteriores a la toma de datos del NDVI). Johnson et al. (2003a) también tomaron datos del NDVI y los transformaron a unidades LAI para obtener finalmente lo que ellos denominaron densidad de plantación por viña, LA_v . La correlación que obtuvieron para el LA_v de la imagen y el LA_v del terreno fue de un 72%, pudiendo obtener mapas para parametrizar modelos de crecimiento vegetal o para apoyo en la toma de decisiones de manejo del cultivo y de su riego. El inconveniente a resolver en la obtención de la cantidad de vegetación en las imágenes digitales en métodos no satelitales estriba en la detección de píxeles reales de vegetación. Peñuelas y Filella (1998) estudiaron la utilización de la primera derivada para minimizar las variaciones que producía la reflectancia del suelo en la banda del infrarrojo y poder distinguir mejor la vegetación. Cuando el sensor está a tan sólo unos decímetros de la vegetación y dispuesto de forma que la viña se ve desde un lateral (figura 1.2), el conteo de píxeles pertenecientes al follaje puede facilitarse colocando un panel detrás de la vegetación, para así descontar los píxeles del color fácilmente distinguible del fondo (Praat et al., 2004). Esta disposición de la cámara en campo para la visualización de la vegetación puede resultar adecuada en viña según los marcos de plantación utilizados. Si éstos son amplios, la separación entre filas permite el paso del tractor y la correcta visualización de la vegetación (McCarthy et al., 2010). Taylor et al. (2005) ya manifestaron que el cambio de la visión remota a la visión lateral permite una mejor estimación del vigor de la vegetación en los viñedos.

Bramley et al. (2007) corroboraron esos estudios comprobando que con este sistema se tenía una imagen más fiel y verdadera de la cantidad de vegetación. Además, confirmaron que el envero es el momento adecuado para tomar los datos, ya que la vegetación está completamente desarrollada. Estos sistemas pueden ser útiles a la hora de proporcionar información en campo, pero si se pretende dar un paso más, debe plantearse si realmente esos diseños tan aparatosos son inevitables, pues estas estructuras han de montarlas y desmontarlas con cierta frecuencia los productores en el campo. Eliminar los paneles en este tipo de disposición no es una solución válida, ya que, en estos sistemas laterales, si no existieran dichos paneles, la vegetación de las filas contiguas podría ser captada por la cámara y confundida con la vegetación de la fila monitorizada (Sáiz-Rubio y Rovira-Más, 2012b).

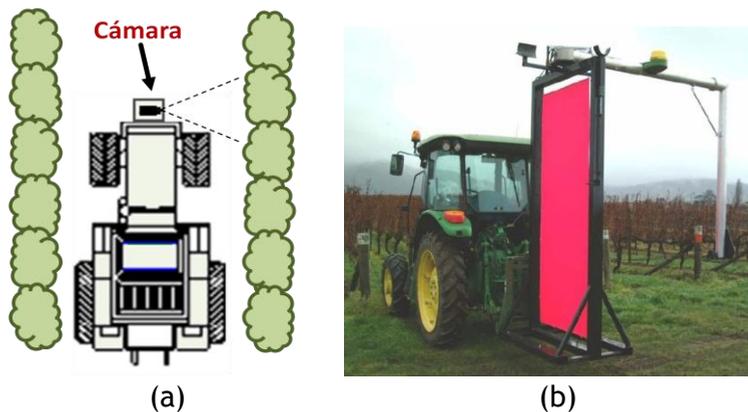


Figura 1.2. Disposición lateral de la cámara en técnicas de visión artificial terrestre en viña (a). Dispositivo experimental (Cortesía de Robert Bramley) (b).

Hahn (2009) estudió la idoneidad del análisis de la vegetación a nivel de parcela en contraposición a las prácticas a nivel individual (por hojas). A nivel global, la vegetación tiene las mismas características que cada una de las hojas que la componen, pero las variables consideradas han de ser diferentes, ya que la superficie de las hojas actúa, con

frecuencia, como filtro polarizador y, por tanto, refleja en distintas direcciones; así pues, las propiedades de la imagen suelen depender de la posición de la cámara. Estas variaciones en la iluminación ambiental han sido motivo de numerosos estudios. Weekley (2007) utilizó técnicas de falso color en el procesado de la imagen por ser insensibles a las variaciones de iluminación, ya que las variaciones lumínicas es uno de los parámetros que han de considerarse en los sistemas ópticos (Kim et al., 2010). Por el contrario, se puede actuar sobre la cámara añadiéndole elementos físicos que incluyan un sistema de iluminación adicional de bajo coste (McCarthy et al., 2010), pero, a su vez, la robustez y fiabilidad han de estar implícitas en esos sistemas (Berchar, 2010). Una solución comercial utiliza sensores de visión a los que se les incorpora luz artificial, como por ejemplo, *CropCircle*[®] (Holland Scientific Inc., Lincoln, Nebraska, USA), para intentar que la iluminación ambiental cambiante no afecte. Estos sistemas compactos presentan ciertos inconvenientes; una desventaja puede ser una baja resolución en el escaneo que efectúan al tomar la muestra. Por ejemplo, *Greenseeker*[®] (NTech Industries Inc., Ukiah, CA, USA), que utiliza filtros para captar las regiones visible e infrarrojo del espectro, hace un escaneo por líneas (líneas de ½ pulgada por 24 pulgadas) y se requieren varias pasadas para completar el muestreo. Las soluciones comerciales también presentan otros inconvenientes tan llamativos como el hecho de no incorporar un sistema GPS para confección de mapas de parcela o la falta de regulaciones, por lo que no relacionan múltiples variables clave para el cultivo. Además, algunos de estos sensores sólo son aplicables a cultivos extensivos o poseen una baja fiabilidad. El precio de estos aparatos comerciales está alrededor de los 2.000 y 3.000 euros por sensor (Price, 2009) pudiendo llegar a los 7.000 euros (*CropCircle*[®]).

1.3. OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS

El objetivo general de esta investigación es iniciar el desarrollo de una metodología nueva, centrada en un bajo coste y alta disponibilidad (de información práctica para el productor) para viticultura de precisión, que sea capaz de monitorizar, registrar, y, en lo posible, predecir los parámetros más interesantes para el productor vinícola. Para ello, se pretende demostrar la viabilidad y los beneficios del uso de mapas de producción en parcela obtenidos mediante técnicas de visión artificial de detección terrestre y sistemas de localización global, desarrollando para tal fin una arquitectura de sistema propia.

Los objetivos específicos para conseguir este propósito se citan a continuación:

- 1) Estudiar las relaciones existentes entre los parámetros observables de la vid (vegetación) mediante técnicas de visión artificial y las variables más importantes del viñedo para producción vinícola, como lo son la producción, acidez probable en el vino, el alcohol probable en el vino, pH o azúcares del mosto, entre otras.
- 2) Valorar los métodos de monitorización no invasivos que existen actualmente en técnicas de detección terrestre y plantear mejoras que reduzcan costes y aumenten la disponibilidad de información.
- 3) Diseñar algoritmos robustos y programas específicos, fáciles de utilizar por usuarios no cualificados en nuevas tecnologías, con interfaz intuitiva e incluyendo toda la información necesaria. La información proporcionada por los programas, ha de ser clara para el productor de la explotación, a la vez que breve para el conductor del vehículo donde se vaya a implementar, además de

incluir otros parámetros (umbral, exposición, ganancia) para tener control sobre ellos sobretodo en esta fase experimental del prototipo.

- 4) Diseñar una arquitectura de sistema óptima para vehículos convencionales y que cumpla los requisitos establecidos en los objetivos de la tesis.
- 5) Desarrollar un sistema para capturar imágenes georreferenciadas de forma automática desde un vehículo en movimiento en el campo, grabando imágenes originales y procesadas, así como las coordenadas GPS de dichas imágenes. El sistema ha de procesar las imágenes originales a tiempo real mediante un algoritmo eficiente y específico para la aplicación.
- 6) Evaluar en campo los programas diseñados y validar la metodología propuesta mediante la medición directa de los parámetros que se pretenden predecir en parcelas reales y en plena producción.
- 7) Confeccionar los mapas finales con referencias globales y adaptarlos, posteriormente, para su uso por productores no especialistas.
- 8) Estudiar la factibilidad de preparar un futuro prototipo comercial en base a capacidad predictiva, comodidad de manejo, facilidad de uso y rapidez de instalación sobre vehículos normalmente utilizados en campo.

1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN PROPUESTA

El objetivo último de esta investigación es facilitar e impulsar la adopción de nuevas tecnologías en el campo mediante la Agricultura de Precisión, modernizando las explotaciones y haciéndolas más competitivas a nivel mundial. La situación del mercado actual crea la necesidad de ser **eficientes** en el manejo de las explotaciones; de esta manera, la calidad del producto aumenta y, con ella, los **beneficios** de los productores. Si se tratan uniformemente todas las zonas de una parcela no se consideran las necesidades particulares en zonas diferenciadas de la parcela, y en consecuencia, las uvas productoras de vinos de calidades superiores se mezclan con las uvas de menor calidad dando lugar a un fenómeno de homogeneización de características que resulta en un vino de calidad media. El tratamiento uniforme de un campo de vid tiene peores consecuencias que en otros cultivos, puesto que el valor añadido del producto final es mayor. Al unificar las características de la uva cosechada en un campo como un solo tipo de vino, se impide que vinos que podrían ser potencialmente competitivos a nivel internacional queden diluidos entre el resto. Por tanto, una de las razones que justifica esta investigación recae precisamente en la necesidad de separación de uvas de mayor **calidad** dada la competencia existente en el mercado del vino.

Otra razón que justifica esta investigación es la respuesta positiva de la cantidad de vegetación de la vid respecto a otras variables importantes. Además, la vegetación produce también una respuesta favorable en términos de reflectancia. Esta respuesta es altamente susceptible de ser captada mediante sistemas de visión artificial terrestres, objeto de la presente metodología.

Por otra parte, los productores de países donde ya ha tenido lugar la implementación de sistemas de AP han manifestado su deseo de que se mejore la **fiabilidad** de los sistemas automáticos; además, el equipamiento empleado en estos nuevos sistemas ha tenido un alto coste que no siempre ha demostrado su utilidad práctica para el usuario final, por lo que no sólo se pretende incrementar la **utilidad** en la presente investigación, sino también una reducción, en la medida de lo posible, del **coste** del equipo necesario para su implementación y uso. Al mismo tiempo, la utilización del sistema propuesto pretende ser **sencilla**, tanto de implementar en el vehículo agrícola como en el manejo del programa resultante.

Esta investigación, llevada a cabo con un vehículo convencional y con tecnologías de detección terrestre, garantiza al productor no tener que depender de otros suministradores de información externos (ajenos) a la explotación, ya que esta investigación supone un cambio significativo en la filosofía de trabajo por capacitar al productor para poder implementar tecnologías de agricultura de precisión de manera autónoma. Además, la investigación está orientada a un sector que viene mostrando mayor interés y predisposición para adoptar nuevas tecnologías, quizá motivado por el alto valor del producto final obtenido.

El factor *vigor vegetativo* ha sido aceptado internacionalmente (y tradicionalmente) como factor fundamental, por ser agente predictivo de numerosas variables cruciales en el cultivo de la vid. A esta razón se le añade que este factor es ventajosamente aplicable por sistemas de visión artificial, por lo que la monitorización de ese parámetro es imprescindible para conseguir un manejo preciso y con riqueza de información. La tecnología propuesta es asequible para el productor promedio. No sólo en el aspecto económico, ya que se utiliza un GPS (algunos vehículos

modernos pueden llevarlos integrados de serie) y una cámara, sino también en el aspecto conceptual, pues se emplea una interfaz asequible al productor promedio. Con la arquitectura dispuesta y los programas adaptados a esta aplicación, se pueden generar mapas en tiempo real que estimen múltiples parámetros predictivos de manejo y explotación; todo ello mediante la confección de un sistema de percepción local no invasiva y utilizando como vehículo un tractor convencional de uso frecuente en explotaciones vinícolas. Tanto el uso de un vehículo convencional como la posesión de los mapas de sus cultivos, facilita al productor la recogida de datos para tomar importantes decisiones sobre sus cultivos. Además, si las parcelas están situadas en el terreno español, serán comúnmente pequeñas extensiones de terreno que, en algunos casos, pueden llegar a no superar la hectárea y que son conocidas como minifundios, lo cual justifica aún más la toma de información de forma autónoma.

Por tanto, la metodología propuesta recoge múltiples ventajas sobre las técnicas aplicadas tradicionalmente, lo que resultará favorable para actualizarlas y adaptarlas al productor medio minifundista.

1.5 TERMINOLOGÍA

En esta sección se describen, por orden alfabético, algunos términos, o expresiones, fundamentales empleados a lo largo del presente documento. En ocasiones la descripción se refiere a expresiones estándar dentro de la Agricultura (o Viticultura) de Precisión y en otras ocasiones el término es de especial relevancia para esta investigación en particular.

- ◆ **Adhesión del suelo.** Fuerzas de atracción que se dan entre las partículas del suelo y las moléculas de agua.

- ◆ **Arquitectura de sistema.** Especial disposición y relación que existe entre sensores y otros dispositivos electrónicos para formar un sistema robótico determinado. Puede incluir la relación existente entre los programas informáticos asociados al sistema robótico.

- ◆ **Bulbo húmedo.** Parte del suelo que hay alrededor del tronco de cada planta que se mantiene húmedo gracias a un sistema de riego localizado. Esta parte del suelo se mantiene húmeda tanto superficialmente alrededor del tronco como en profundidad, proporcionando agua a las raíces de la planta.

- ◆ **Cohesión del suelo.** Fuerzas de atracción que se dan entre moléculas (agentes químicos) del suelo.

- ◆ **Coordenadas GPS o coordenadas geodésicas.** Las coordenadas geodésicas son: latitud (λ), longitud (Φ) y altitud (h). En este trabajo también están referidas como coordenadas GPS, ya que son directamente proporcionadas por un receptor GPS. Se encuentra información más detallada en la sección de Metodología *Descripción del proceso de obtención de mapas*.

- ◆ **Coordenadas del plano tangente local o LTP (Local Tangent Plane).** Las coordenadas LTP son: Este, Norte y Altura. Estas

son las coordenadas utilizadas en los mapas de parcela del presente documento, donde la tercera componente se suele desestimar por tratarse de mapas en dos dimensiones. Las transformaciones matemáticas entre coordenadas geodésicas y LTP se describen más detalladamente en la sección de Metodología *Descripción del proceso de obtención de mapas*.

◆ **Cultivo extensivo.** Cultivo que se desarrolla en grandes superficies de terreno. La aplicación de fertilizantes y herbicidas no es alta, así como tampoco los beneficios por hectárea. Ejemplo: cereales. Se contrapone al término **Cultivo intensivo**, cuyo ejemplo puede ser el viñedo o cultivos bajo invernadero.

◆ **Cultivo de regadío.** Cultivo que recibe un aporte extra de agua aparte del proporcionado por la lluvia. El sistema de riego que tienen dos de las parcelas en este estudio es el sistema de **riego por goteo**, donde unos *emisores* se encargan de proporcionar el agua necesaria a las plantas.

◆ **Cultivo de secano.** Cultivo que no recibe ningún aporte de agua extra recibiendo nada más que el proporcionado por la lluvia.

◆ **Detección terrestre.** Es la técnica de visión artificial mediante la cual las imágenes son tomadas desde una cámara montada en un vehículo terrestre.

◆ **Detección remota, detección desde satélite o Teledetección.** Técnica con la que se adquiere información en forma de imágenes digitales desde un satélite.

◆ **Drenaje.** Acción de dar salida a la excesiva agua acumulada en el terreno, por medio de zanjas o cañerías.

◆ **Envero.** Es el periodo durante el cual tiene lugar el cambio de color del grano de uva, desde el color verde (fruto no maduro) hasta el tinto, amarillento y demás variantes. En este espacio de

tiempo se ralentiza el crecimiento de raíces, vegetación y tronco para favorecer el desarrollo de los granos de uva.

- ◆ **Espaldera (plantación en) o Emparrado.** Forma en la que se planta un viñedo para que su desarrollo siga una estructura plana verticalmente a lo largo de la calle de la parcela. Se utiliza un armazón de madera o metal que sostiene la planta mediante hilos metálicos entre esos armazones.

- ◆ **Estrés (del cultivo).** Situación no óptima del cultivo causada por agentes ambientales y que tiene influencia sobre el desarrollo de la planta. Como excepción relevante cabe citar el estrés hídrico en vid como factor favorable de calidad de la uva para vinificación.

- ◆ **Ganancia (Gain).** Coeficiente por el que se multiplica un nivel de gris para amplificar el valor final de intensidad de una imagen digital.

- ◆ **Georreferenciación.** Asignación de coordenadas geográficas a una imagen o dato adquirido en campo.

- ◆ **GPS (Global Positioning System).** Sistema de localización por satélite operado por el Departamento de Defensa de Estados Unidos. Está diseñado para que el observador pueda determinar su posición en cualquier punto de la Tierra. Se basa en la constelación de satélites artificiales NAVSTAR (*Navigation Signal Timing and Ranging*), con 24 satélites activos ubicados en seis planos orbitales.

- ◆ **Imágenes terrestres.** Imágenes digitales obtenidas mediante técnicas de detección terrestre.

- ◆ **Imágenes cenitales.** Imágenes obtenidas mediante cámaras que se sitúan verticalmente sobre la vegetación de forma que el plano de la imagen (sensor) queda en posición paralela al suelo.

- ◆ **Infiltración.** Introducción de agua desde la superficie del suelo y en dirección vertical por efecto de la gravedad.
- ◆ **Marco de plantación.** Patrón geométrico en el que están colocados los árboles frutales en una parcela.
- ◆ **Minifundio.** Terreno de cultivo de extensión reducida. Se contrapone al término **Latifundio** (Terreno de cultivo de gran extensión).
- ◆ **Mosto.** Zumo de uva o líquido que resulta de prensar los granos de uva arrancados del raspón de forma que no se presen las pepitas.
- ◆ **Nanómetro (nm):** Medida utilizada para medir la longitud de onda electromagnética. Es la mil millonésima parte de un metro y su símbolo es nm. $1 \text{ nm} = 10^{-9}$ metros.
- ◆ **Perfil de segmentación.** Curva perteneciente a una imagen de 8 bits que define de qué manera se distribuyen los niveles de gris de la imagen. Ver explicación completa en la sección Metodología Construcción de mapas de vigor.
- ◆ **Pixel (*picture element*).** Elemento fundamental de la imagen. Unidad constituyente de una imagen digital, ubicada según fila y columna, y con un valor de nivel de intensidad medido en bits (8 bits equivalen a 256 niveles de intensidad).
- ◆ **Post-cosecha.** Conjunto de operaciones que tienen lugar después de la cosecha de los frutos.
- ◆ **Reflectancia.** Proporción de la luz incidente sobre un objeto que es reflejada al medio.
- ◆ **Resolución espacial.** Superficie que, sobre el terreno, equivale a una celda que forma los mapas de parcela. También número de celdas que forma una parcela expresado como H x V.

◆ **Resolución radiométrica.** Cantidad de valores en los que puede dividirse la cantidad de luz recibida por un sensor. Niveles de gris. La resolución radiométrica utilizada en el presente documento es de 8 bits (256 valores o niveles de gris).

◆ **Segmentación (de una imagen).** Proceso realizado por ordenador por el que una imagen digital se divide en regiones homogéneas en relación a unas características y un nivel de gris umbral.

◆ **Suela de labor.** Capa dura e impermeable que dificulta la penetración de las raíces de las plantas y que se produce por el paso repetido de aperos (cualquier aparejo de labranza) a una misma profundidad.

◆ **Teledetección.** Ver **Detección desde satélite.**

◆ **Terroir.** Suelo y microclima en los que las viñas crecen y que proporcionan unas características únicas de comportamiento, calidad y propiedades sensoriales del vino.

◆ **Variabilidad espacial.** Diferencias de propiedades dentro de una misma parcela. Es la base en la que se sustenta el concepto de AP.

◆ **Variabilidad temporal.** Diferencias de propiedades dentro de una misma parcela en diferentes campañas.

◆ **WGS-84 (*World Geodetic Survey 1984*).** Sistema estándar creado en 1984 para definir un elipsoide terrestre que permite calcular la situación geográfica de un punto de la Tierra sin necesitar otro punto de referencia. Es el sistema de uso común en sistemas GPS (error < 2 cm).

CAPÍTULO 2

MATERIALES Y ENSAYOS

2.1 SISTEMAS DE PERCEPCIÓN Y LOCALIZACIÓN

Para llevar a cabo las pruebas experimentales en campo y validar los mapas de cultivo desarrollados se utilizó como vehículo principal el tractor estándar *John Deere 5820* (66 kW de potencia) representado en la figura 2.7. Además de las funciones propias de un tractor convencional, al vehículo se le han incorporado varios sensores de localización y percepción, tal como se describe en los apartados 2.1.2 y 2.1.3 de este capítulo. Debido a la demanda continua de energía eléctrica para alimentar sensores, ordenadores, y monitores, al tractor se le ha añadido un circuito auxiliar de energía eléctrica que alimenta a todos los dispositivos electrónicos añadidos desde una segunda batería recargable a través del alternador del motor diesel del tractor, pero independiente de la batería principal del motor que siempre debe estar en buen estado de carga para satisfacer las necesidades básicas del vehículo como el arranque del motor o el sistema de iluminación. Este circuito auxiliar de

suministro eléctrico está representado en la figura 2.1. y descrito en detalle en el siguiente apartado.

2.1.1. CIRCUITO AUXILIAR DE ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA

El circuito eléctrico propio del tractor se amplió con una batería secundaria para evitar que la batería principal del vehículo se descargue, sobre todo cuando se realizan labores de comprobación de los sistemas electrónicos (*hardware*) o de mantenimiento y actualización de los programas informáticos (*software*) con el motor parado. La figura 2.1 esquematiza los elementos principales que componen el circuito auxiliar de alimentación.

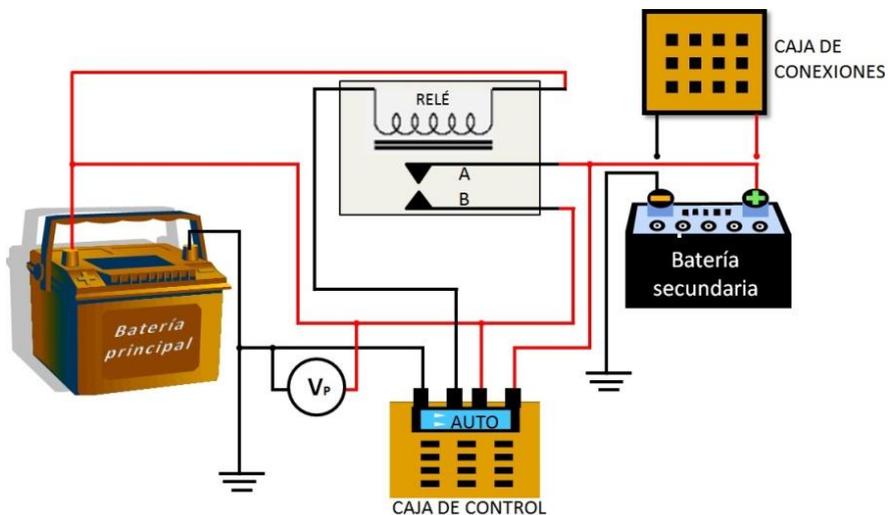


Figura 2.1. Circuito auxiliar de alimentación eléctrica.

El diagrama de bloques de la figura 2.2 ilustra el funcionamiento del circuito secundario de alimentación eléctrica. Cuando el motor diésel del tractor está parado, la conexión A-B se abre de forma que la batería secundaria alimenta exclusivamente a los instrumentos auxiliares enchufados a la caja de conexiones (pantallas, ordenadores, receptor GPS StarFire, sensores para medir ángulos, y cámara monocular), mientras

que la batería principal se encarga de asegurar las funciones eléctricas básicas del tractor. Por el contrario, cuando el motor del tractor se encuentra en funcionamiento y el voltaje V_p es menor a 13 voltios, es decir, la batería principal no está al máximo, la conexión A-B se cierra y las dos baterías alimentan, indistintamente, a todos los elementos del circuito, ya que trabajan en paralelo. Sin embargo, si el motor está en funcionamiento y el voltaje V_p es igual o superior a 13 voltios (la batería principal llega a dar casi los 14 V), la conexión A-B se abre y cada batería alimenta a los elementos que dependen de cada una de ellas con total independencia.

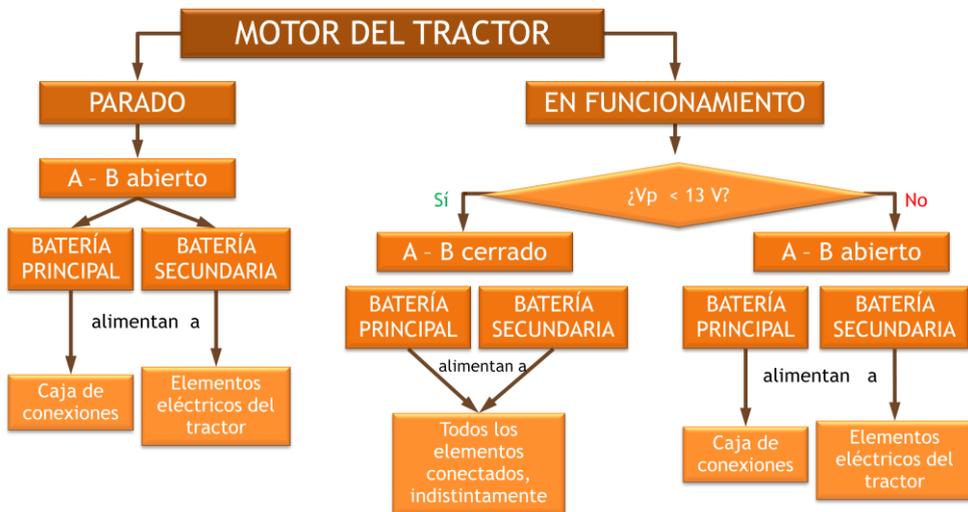


Figura 2.2. Esquema de funcionamiento del circuito eléctrico secundario.

2.1.2 SISTEMA DE PERCEPCIÓN POR IMAGEN

El sensor elegido para tomar imágenes en distintas bandas espectrales es la cámara CCD monocular y monocroma de la figura 2.3 (JAI CM-140GE-UV, Copenhague, Dinamarca). La cámara incorpora un sensor de escaneo progresivo de 1/2 pulgada que es sensible en el rango espectral UV-NIR, y proporciona imágenes digitales con una profundidad

de 8 bits por píxel (*pixel depth*). El Anejo 1 contiene las características técnicas de la cámara JAI CM-140GE-UV utilizada en este proyecto.



Figura 2.3. Vista frontal y posterior de la cámara JAI CM-140GE-UV.

La cámara JAI se alimenta a 12 V de la batería secundaria y se comunica a través de un cable Ethernet conectado a un ordenador portátil (2.20 GHz y 1.5 GB de RAM. Fujitsu Siemens Computers, Tokio, Japón) localizado en el interior de la cabina. El ordenador lleva instalado un programa específicamente diseñado para el registro de imágenes y su localización global. A la cámara se le pueden acoplar varias lentes según el campo de visión requerido. La lente de 25 mm de distancia focal (Goyo Optical Inc., Saitama, Japón) con enfoque y diafragma manual está específicamente recomendada para el espectro UV. A lo largo de los experimentos se probaron, además, otras lentes con distancias focales de 6 mm, 8 mm, 12 mm y 16 mm. El Anejo 2 incluye las características técnicas de las lentes utilizadas en las pruebas de campo (6 mm, 8 mm, 12 mm y 25 mm), también representadas en la figura 2.4.



Figura 2.4. Lentes de 6 mm, 8 mm, 12 mm, y 25 mm de distancia focal.

Los ocho filtros ópticos mostrados en la figura 2.5 (Midwest Optical Systems Inc., Palatine, IL, EEUU; y Edmund Optics Inc., New Jersey, EEUU), cuyas características se disponen en la tabla 2.1, fueron los seleccionados para las pruebas experimentales. Uno de ellos es un filtro pasa-banda para la franja ultravioleta (UVA y UVB), con una longitud de onda de paso centrada en 324 nm y un ancho de banda comprendido entre las longitudes de onda 270 nm hasta 375 nm. A pesar de tratarse de un filtro centrado en el UV, este filtro posee un pequeño pico en la zona infrarroja desde los 690 nm hasta los 750 nm, con centro en 720 nm. Se dispone también de otro filtro para el ultravioleta centrado en la longitud 340 nm, y con un ancho de banda de 10 nm. Los dos filtros específicos para capturar el infrarrojo cercano (NIR) están centrados en las longitudes de onda 800 nm y 880 nm, estando el segundo delimitado por las longitudes 840 nm y 1100 nm, y el primero caracterizado por un ancho de banda de 10 nm. También se utilizó un filtro en el denominado *borde rojo* (*red edge*) centrado en 750 nm y con un ancho de banda de 10 nm. Otro de los filtros empleados en las pruebas de campo es el centrado en la longitud de onda 671 nm (rojo) con un ancho de banda de 10 nm. Asimismo se empleó un filtro centrado en la longitud de onda 550 nm (verde) con un ancho de banda de 80 nm, y otro centrado en la banda azul en la longitud de onda 450 nm con un ancho de banda de 10 nm. Las

características técnicas completas de todos los filtros utilizados en las pruebas de campo se muestran en el Anejo 3.

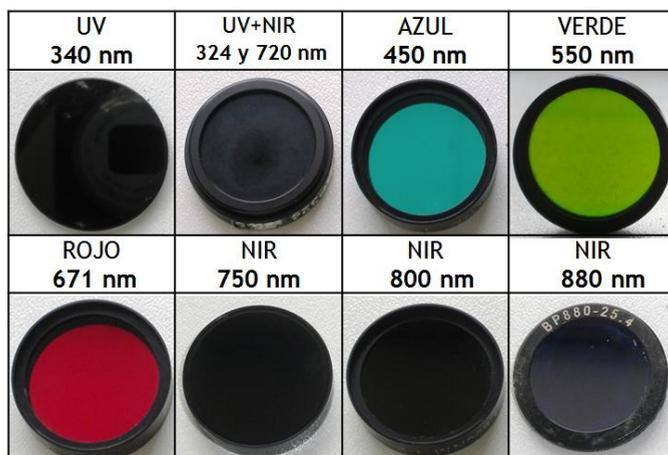


Figura 2.5. Filtros ópticos utilizados con la cámara JAI y centros de la banda transmisora de cada filtro.

Tabla 2.1. Características técnicas de los filtros implementados.

ESPECTRO PRINCIPAL	LONG. DE ONDA DE MÁX. TRANSMISIÓN	ANCHO DE BANDA	RANGO ESPECTRAL (nm)	FABRICANTE
UV	340 nm	85 nm	250 - 400	Edmund Optics
UV + NIR	324 nm 720 nm	85 nm	250 - 400 680 - 850	Midwest Optical Systems
AZUL	450 nm	10 nm	440 - 460	Edmund Optics
VERDE	550 nm	80 nm	490 - 640	Edmund Optics
ROJO	671 nm	10 nm	665 - 680	Edmund Optics
NIR	750 nm	10 nm	745 - 760	Edmund Optics
NIR	800 nm	10 nm	780 - 820	Edmund Optics
NIR	880 nm	50 nm	740 - 1100	Midwest Optical Systems

La figura 2.6 representa gráficamente la amplitud del espectro electromagnético cubierta por cada uno de los filtros empleados en la fase experimental, así como la reflectancia de las hojas de la vid para la variedad Cabernet-Sauvignon.

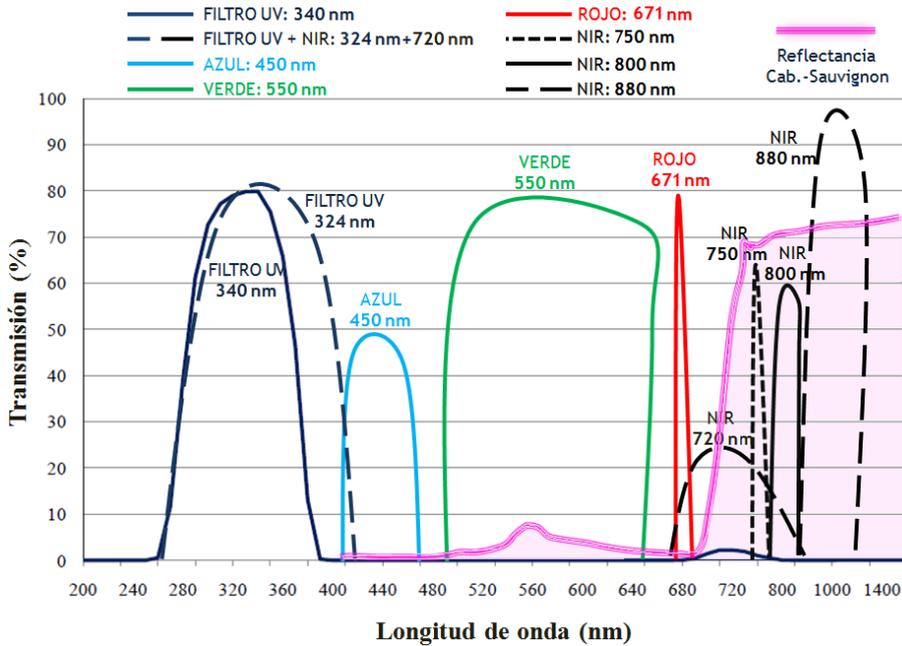


Figura 2.6. Cobertura del espectro electromagnético de los filtros ópticos empleados en la fase experimental.

2.1.3 SISTEMA DE LOCALIZACIÓN GLOBAL

En la parte superior de la cabina del tractor se ha instalado la antena de un sensor GPS StarFire iTC (Deere & Co., Moline, IL, EEUU) de precisión (SF1) ± 25 cm. Este receptor se utilizó como sistema principal de localización global, y fue el encargado de proporcionar mensajes NMEA en gran parte de la confección de mapas automáticos de vegetación y en los mapas manuales de rendimiento y potencial enológico.



Figura 2.7. Tractor utilizado en las pruebas de campo: detalle de la antena del receptor GPS y pantalla de control e información (GreenStar™).

Como sistema de posicionamiento alternativo, también se utilizó un receptor GPS de bajo coste y error inferior a 3 m (Garmin 18x - 5Hz, Olathe, KS, EEUU). La cámara JAI y el receptor Garmin se colocaron sobre un brazo extensible montado sobre la cabina del tractor e ideado específicamente para este proyecto, como muestra la figura 2.8. El pequeño receptor-antena se situó sobre una chapa de metal mediante un imán, de forma que estuviera alineado con la cámara JAI.

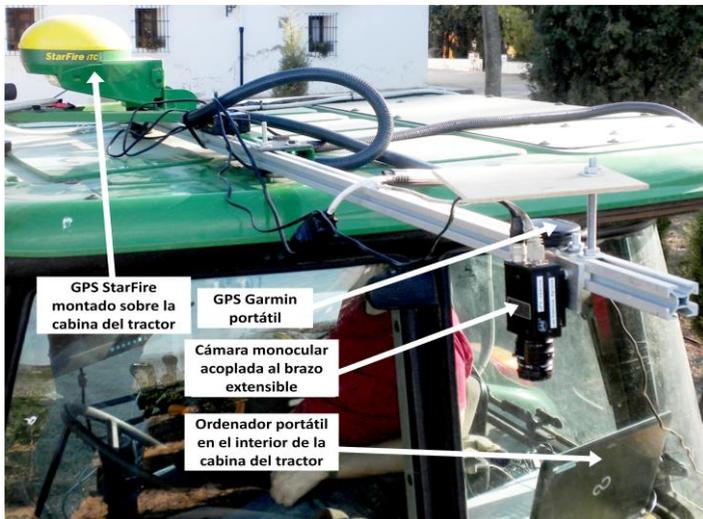


Figura 2.8. Brazo extensible, cámara JAI, y receptores GPS.

Para ejecutar las aplicaciones informáticas desarrolladas durante el proyecto, se utilizó un ordenador portátil de velocidad de procesado 2.20 GHz y 1.5 GB de memoria RAM, alimentado mediante el sistema eléctrico descrito en el apartado 2.1.1. Los diversos programas informáticos implementados para construir los mapas fundamentales sobre viñedos desarrollados en este trabajo se describen en detalle a lo largo del capítulo 3.

2.2 MAPAS DE COMPACTACIÓN DE SUELOS

En la toma de datos para la confección del mapa de suelos (resistencia a la penetración) se utilizaron dos accesorios principales: un penétrometro de accionamiento manual con registro digital, y un receptor GPS compacto y portátil con una antena acoplada a una lanza de fácil transporte.

2.2.1 PENETRÓMETRO PENETROLOGGER EIJKELKAMP

La figura 2.9 muestra el funcionamiento del penetrómetro portátil Penetrologger (Eijkelkamp Agrisearch Equipment, Giesbeek, Países Bajos) con el que se tomaron los datos de resistencia a la penetración en los suelos de las parcelas experimentales situadas en Turís. La placa metálica apoyada sobre el suelo por donde se introduce la varilla del penetrómetro es necesaria para que la varilla calibrada permanezca perpendicular al suelo y el sensor pueda estimar la profundidad a la que se hace el muestreo, registrando valores de resistencia a la penetración cada centímetro. Para efectuar los mapas de compactación de suelo se registraron los valores medios y máximos de cada punto de muestreo, como se explica en detalle en el apartado 3.2.2.



Figura 2.9. Penetrómetro para estimar la compactación del suelo.

2.2.2 RECEPTOR GPS LEICA GS20

La figura 2.10 ilustra el procedimiento para registrar la posición global de los puntos muestreados con el penetrómetro, utilizando para ello un receptor portátil GPS GS20 PDM (Leica Geosystems, Heerbrugg, Suiza). A pesar de que el penetrómetro utilizado lleva incorporado un sensor GPS propio, en pruebas preliminares se comprobó que el receptor Leica es bastante más preciso y la adquisición de datos es más sencilla; por estas razones se utilizó el GPS externo en todos los ensayos de compactación. La desviación típica de las posiciones estimadas con el GPS Leica fue aproximadamente de 50 cm, error considerado aceptable para este tipo de mapas.



Figura 2.10. Adquisición de coordenadas globales para mapas de compactación de suelos en viñedos muestreados.

2.3. PARCELAS DE ENSAYO

La mayor parte de las pruebas de campo destinadas al desarrollo de los mapas de vegetación se llevaron a cabo en la finca vitivinícola El Ardal (Requena, Valencia). Esta finca se utilizó en las temporadas 2010, 2011 y 2012, y todos los ensayos se llevaron a cabo en la parcela marcada en la figura 2.11 entre junio y septiembre. La parcela empleada se encuentra en plena producción con viñedos de la variedad *Cabernet Sauvignon* de veinte años de edad, y plantados en espaldera a 3 hilos. La altitud media de la parcela es de 650 m sobre el nivel del mar, y ésta cuenta con un sistema de riego por goteo a lo largo de las filas orientadas en dirección Este-Oeste. El viñedo se sustenta sobre un suelo de tierra calizo-arcillosa. Las calles tienen una anchura de 3 metros, una longitud de 130 m aproximadamente, y una pendiente calculada del 3,1%. Sus coordenadas geodésicas son: Latitud $39,4658430442^{\circ}$ N y Longitud $1,1455050005^{\circ}$ O.



Figura 2.11. Parcela *Cabernet Sauvignon* de Requena (Visor SIGPAC).

Las pruebas experimentales relativas a los mapas de suelo y parte de los mapas de vegetación se hicieron en dos parcelas situadas en el término municipal de Turís (Valencia). Estas parcelas sirvieron como base para analizar la aplicabilidad de la metodología del proyecto a parcelas con características diferentes a las ensayadas en Requena en cuanto a variedad y disposición de las viñas. La parcela representada en la figura 2.12 tiene plantada uva de variedad *Moscatel* (*Vitis vinifera* cv. *Moscatel*), y la parcela representada en la figura 2.13 produce uva de la variedad *Malvasía* (*Vitis vinifera* cv. *Malvasía*). Las propiedades más relevantes de estas dos parcelas son las siguientes:

- ♦ Según los registros catastrales, el recinto de variedad *Moscatel* está compuesto por las dos sub-parcelas diferenciadas en la figura 2.11, aunque en adelante nos referiremos a ella como una única parcela. Las coordenadas geodésicas de esta parcela son: Latitud $39,3872517463^{\circ}$ N y Longitud $0,6823801538^{\circ}$ O. La uva obtenida de este viñedo se destina a vino producido y comercializado

por la cooperativa agrícola La Baronía de Turís. La viña de esta parcela está plantada en espaldera a tres hilos, con sistema de riego por goteo a lo largo de las filas orientadas en dirección Este - Oeste. Las plantas se sustentan sobre un suelo calizo. El espacio entre filas es de 2,6 m aproximadamente y las filas tienen una longitud variable entre 50 m y 70 m.



Figura 2.12. Parcela *Moscatel* en Turís (Visor SIGPAC).

♦ La parcela de la variedad *Malvasía* tiene como coordenadas geodésicas 39,3867933403° Latitud Norte y 0,724521187° Longitud Oeste. Al igual que la parcela anterior, toda la uva se destina a vino producido por la cooperativa agrícola La Baronía de Turís. Esta viña es antigua (38 años) y está plantada en vaso. A diferencia de la anterior, se trata de una explotación de secano y por tanto no dispone de sistema de riego. Las filas están orientadas en dirección Norte - Sur, y el suelo es de tendencia arcillosa. La longitud de las filas es constante de 100 m, con una distancia entre filas de unos 2,5 m.

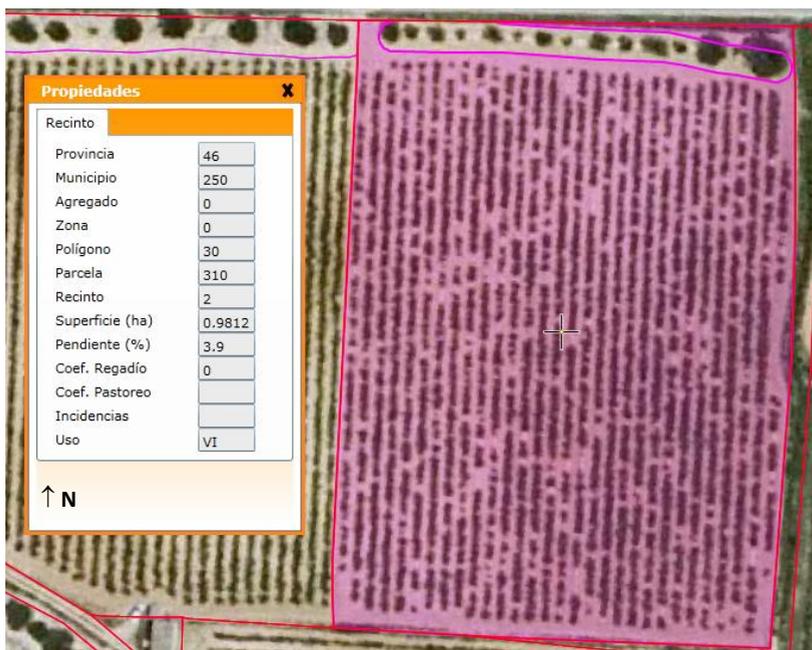


Figura 2.13. Parcela *Malvasía* en Turís (Visor SIGPAC).

2.4 MUESTREO DE LA UVA Y ANÁLISIS QUÍMICOS DEL MOSTO

La validación final de los resultados consiste en generar un mapa de rendimiento de cosecha (kg uva/celda) y varios mapas que estimen el potencial enológico de la uva, para lo cual se fraccionó la superficie correspondiente a diez filas de viñedo de la parcela de Requena en celdas de 5 m de longitud y anchura equivalente a la distancia entre filas (3 m), pesando la cantidad de uva recogida para cada celda y analizando el mosto de una muestra representativa de la uva correspondiente a cada celda. Posteriormente se confeccionaron mapas de vegetación con celdas cuadradas y se procedió al estudio estadístico de correspondencias entre mapas para determinar la capacidad predictiva de los mapas de vegetación (vigor vegetativo). Para llevar a cabo esta última parte de la fase experimental se utilizaron los materiales que a continuación se detallan.

2.4.1 DINAMÓMETRO

Para pesar las muestras de campo y generar el mapa de rendimientos, se utilizaron el dinamómetro digital (Mecmesin, West Sussex, UK) y el capazo de la figura 2.14.

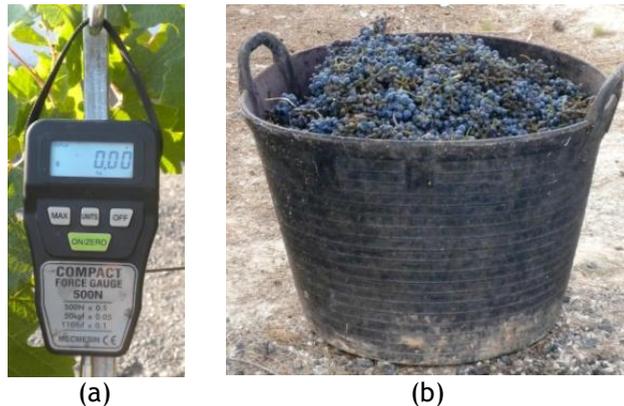


Figura 2.14. Dinamómetro (a) y capazo (b) utilizados para pesar la uva correspondiente a cada celda.

2.4.2. CÁMARA FRIGORÍFICA

La cámara frigorífica (Zanotti, Mantova, Italia) elegida para almacenar las muestras de uva recolectadas en el campo (figura 2.15), utiliza un equipo de condensación por aire con líquido refrigerante R404A, impulsado por un compresor frigorífico hermético y con movimiento alternativo alimentado por la red eléctrica. Sus dimensiones son 2.40 m (altura) x 2.05 m (anchura) x 2.02 m (profundidad).



Figura 2.15. Cámara de almacenamiento refrigerada con muestras de uva.

2.4.3. MEDIDOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA

Para comprobar que la temperatura de las muestras dentro de la cámara se mantenía constante se ha utilizado el termómetro digital EL-USB-2 (Lascar Electronics Ltd., Salisbury, Reino Unido), con salida USB para poder transferir los datos a un ordenador (figura 2.16). El medidor también dispone de un sensor de humedad relativa, cuyo rango de medida va de 0% a 100% HR con precisión de $\pm 3\%$. En cuanto a la temperatura, el intervalo de medida recomendado oscila entre -35°C y $+80^{\circ}\text{C}$, con una precisión de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$.



Figura 2.16. Medidor digital de temperatura y humedad relativa.

2.4.4. PRENSA MANUAL

Para extraer el zumo (mosto) de las uvas muestreadas en campo se utilizó la prensa manual de la figura 2.17 (Simplex-Super, Italia). Con esta prensa se llevó a cabo un prensado primario, de forma que no se aplastaran las pepitas del interior del grano de uva para que sus compuestos químicos no afectaran al zumo extraído de la pulpa.



Figura 2.17. Prensa manual utilizada para la extracción del mosto.

2.4.5. BALANZA DE PRECISIÓN

La balanza de precisión KERN 440-33 de la figura 2.18 (Kern & Sohn GmbH, Balingen-Frommern, Alemania) se utilizó para medir el peso de diez granos de uva. La balanza tiene un rango de medidas de 5 g a 200 g, con una precisión y sensibilidad de 0,01 g.



Figura 2.18. Balanza de precisión KERN 440-33.

2.4.6. CALIBRE DIGITAL

El calibre digital de la figura 2.19 (Harbor Freight Tools, Camarillo, Ca, EEUU), se utilizó para medir el diámetro ecuatorial de los frutos. El calibre tiene un rango de medida de 0 mm a 150 mm, una precisión de 0,04 mm y una sensibilidad de 0,01 mm.



Figura 2.19. Calibre digital midiendo el diámetro de un grano de uva.

2.4.7 REFRACTÓMETRO DIGITAL

Para medir los sólidos solubles totales (SST) del mosto, es decir, su densidad, se utilizó un refractómetro digital. En el caso del mosto, las medidas de densidad están directamente relacionadas con la concentración de azúcares totales en la muestra de zumo. El refractómetro digital DR101 Brix (Comecta S.A., Barcelona, España) de la figura 2.20, fue el utilizado para estimar los SST, con un rango de medida

comprendido entre 0 grados Brix y 35° Brix, una precisión de $\pm 0,1\%$, una sensibilidad de 0,1% y un intervalo de temperaturas de trabajo entre 0 °C y 40 °C.

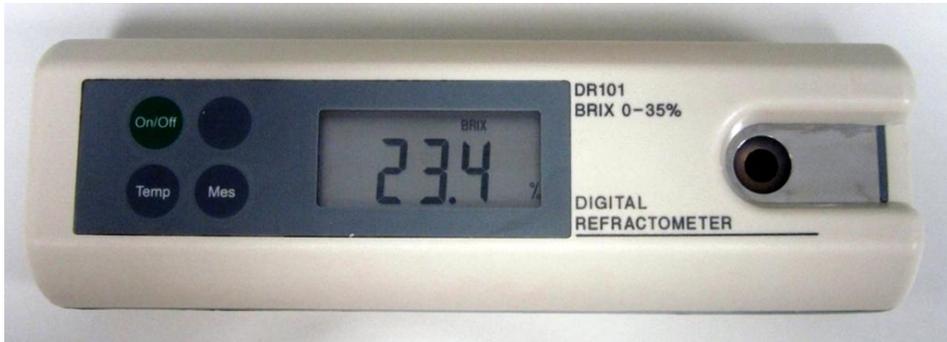


Figura 2.20. Refractómetro digital DR101 Brix.

2.4.8. AREÓMETRO BAUMÉ

El areómetro Baumé (figura 2.21) es un densímetro diseñado para medir la densidad de los líquidos, en este caso la concentración de azúcares contenidos en el mosto de las muestras de uva recogidas en el campo de pruebas. Un grado Baumé (1° Be) corresponde a 25 g de azúcar disueltos en un litro de agua. El areómetro utilizado (Nahita, Berriain, Navarra, España) consiste en un tubo de vidrio con un bulbo pesado en el extremo inferior que le permite flotar de forma libre. La medida de densidad específica se hace directamente sobre la escala de papel dispuesta en el interior del tubo de vidrio y graduada en g/cm^3 . El densímetro utilizado asigna el valor 0° Be al agua pura y un valor de 15° Be a una solución al 10% (masa) de NaCl. Este densímetro se utilizó para validar algunas medidas efectuadas con el refractómetro digital, ya que este es más preciso y rápido que el areómetro, por lo que todos los valores de densidad o azúcares utilizados en la creación de mapas de potencial enológico fueron estimados con el refractómetro.



Figura 2.21. Areómetro Baumé (a) y su aplicación a una muestra de mosto (b).

2.4.9. VALORADOR DE ACIDEZ Y MEDIDA DE PH DEL MOSTO

El valorador de acidez PH-Burette 24 1S (Crison Instruments S.A., Alella, Barcelona, España) utilizado en el laboratorio (figura 2.22) incorpora un medidor de pH, por lo que a la vez que se determinó la acidez total de cada muestra también se midió su pH. El error de medida es inferior a 0,01, la resolución de 0,01, y los rangos de temperatura de trabajo van de -20 °C a 150 °C.



Figura 2.22. Valorador de acidez PH-Burette 24 1S.

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

3.1 MOTIVACIÓN Y JUSTIFICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Con la metodología desarrollada en la presente tesis doctoral se pretende relacionar la cantidad de vegetación de las vides con parámetros esenciales para su producción óptima, como el rendimiento (kg de uva por hectárea), contenido en azúcares del mosto (potencial alcohólico) o pH (acidez probable en el vino). Tradicionalmente, los tres tipos de variables elegidas, *resistencia del suelo a la penetración*, *cantidad de vegetación* y *diferencias de altitud* (potencial hídrico), se han relacionado con la producción de uva, aunque de una manera aproximada y no siempre consensuada (consultar apartado 1.2). Por lo tanto, existe un gran interés -incluso a nivel internacional- por establecer relaciones cuantitativas entre estas variables, que en este trabajo se consigue a través de los mapas de parcela configurados en mallas globales.

La resistencia a la penetración del suelo se ha seleccionado como una de las variables clave porque en el suelo es donde se encuentran las

raíces de la planta, y las raíces son el órgano esencial de ésta, ya que a través de ellas, la planta recibe el agua y los nutrientes necesarios para vivir. Con la resistencia a la penetración se quiere medir el impedimento que les supone a las raíces explorar el suelo para encontrar los nutrientes. A mayor resistencia del suelo, más difícil les será a las raíces crecer, incluso para valores muy altos se puede llegar a la asfixia radicular y muerte de la planta. Por el contrario, si existen valores demasiado bajos, aunque las raíces exploran el suelo con facilidad, la planta no posee sustento físico y puede llegar a caer. Para cuantificar la idoneidad del suelo para un desarrollo radicular óptimo, se pretende obtener mapas con valores de resistencia a la penetración dados en medidas de presión (MPa), con un penetrómetro portátil de registro electrónico y un receptor GPS.

La segunda variable considerada ha sido la cantidad de vegetación o vigor vegetativo. Según varios autores, la cantidad de vegetación en vid se ha relacionado significativamente con la producción de uva y con la calidad final del vino obtenido. Tradicionalmente y a grandes rasgos, a mayor cantidad de vegetación mayor producción y menor calidad del vino. Esta disminución de la calidad viene inducida por un aumento de peso del grano que da lugar a una disminución en la concentración de los elementos indicadores de calidad (azúcares, por ejemplo) dentro del grano. Con esta variable, por tanto, se ha de establecer un compromiso en valores de crecimiento de la vegetación para conseguir el tamaño apropiado del grano en términos de calidad.

Por último, la tercera variable considerada es la diferencia de altitud en la parcela. Esta variable está relacionada con la acumulación de agua en el suelo, elemento esencial para las plantas. Las diferencias intraparcelarias en altura hacen que llegue a acumularse el agua en las

zonas más bajas de la parcela, aumentando así la disponibilidad de agua para las vides ubicadas en zonas bajas, a pesar de que se tenga un control de dispensación de agua mediante riego programado por goteo. A mayor disponibilidad de agua, más desarrollo foliar de la planta y, en consecuencia, mayor cantidad de vegetación. Esto último representa, en términos generales, una mayor producción porque el grano de uva absorbe mayor cantidad de agua y pesa más. Sin embargo, este aumento de peso del grano de uva debido al agua va en detrimento de la calidad, ya que la concentración de elementos dentro del grano disminuye (Hidalgo-Togores, 2006).

Los mapas digitales que albergarán las magnitudes de estas tres variables fundamentales habrán de validarse con información real recogida en viñedos, para así corroborar los datos que se muestren en los mapas y el potencial de las predicciones calculadas. A continuación se describe en detalle el proceso de construcción de mapas, la metodología seguida para ello, y la parte final de validación en campo.

3.2. CONSTRUCCIÓN DE MAPAS DE SUELO

3.2.1 TOMA DE MUESTRAS DE LA COMPACTACIÓN DEL SUELO

Uno de los objetivos del trabajo es la validación de diferentes mapas de parcela. Estos mapas serán compatibles en la medida que permitirán la comparación entre ellos por ser sus dimensiones y morfología idénticos. En particular, se intenta establecer una relación cuantitativa entre el mapa de compactación del suelo y el resto de variables fundamentales también representadas en sus correspondientes mapas de parcela. A continuación se detalla el proceso desarrollado y aplicado para llevar a cabo la confección del mapa de suelos.

Según las recomendaciones para el penetrómetro utilizado (Capítulo 2, norma NEN 5140), para suelos de investigación debe utilizarse un cono de 1 cm² y 60° de ángulo. La terminación de la varilla del penetrómetro que está en contacto con el suelo acaba en un cono de estas características. El diámetro de la sección circular mayor del cono es de 11,28 mm. La varilla puede penetrar hasta una profundidad máxima de 80 cm, suficiente para evaluar el desarrollo radicular de las raíces de la vid. Según Baeza (Grupo de investigación en Viticultura-UPM, Universidad Politécnica de Madrid, 2008), la morfología del sistema radicular de la vid forma una cabellera, es decir, se trata de un sistema radicular adventicio, fasciculado y ramificado, aunque existen variaciones según la especie de la vid, el marco de plantación, el tipo de suelo y las técnicas de cultivo que se apliquen. Según estos autores, el 90% del sistema radicular se desarrolla por encima del primer metro de profundidad del suelo, con una mayor concentración de raíces entre los 40 cm y 60 cm de profundidad, lo que demuestra la validez de la longitud de la varilla del penetrómetro utilizado en la generación de los mapas de suelo.

Las penetraciones se hicieron a diferentes distancias entre muestras según la variedad (Moscatel, Malvasía, o Cabernet-Sauvignon). Las parcelas experimentales de Turís tienen un ancho de calle aproximado de 2,80 metros. En la parcela de variedad Moscatel se tomaron muestras en cada fila con una separación de 4 metros aproximadamente. Ésto se hizo en cada una de las veinticinco filas de la parcela de Moscatel. En la parcela de Malvasía, las muestras se tomaron cada dos filas. De esta manera, se tomaron 520 puntos (penetraciones) en la parcela de Moscatel y 253 puntos en la parcela de Malvasía, con coordenadas representadas en el sistema del plano tangente local (Este-Norte-Altura). Los puntos 521 y 254 se asignaron al origen o inicialización del GPS en las parcelas de Moscatel y Malvasía, respectivamente. Las diez

filas de Cabernet-Sauvignon (Requena) se muestrearon a intervalos de 5 m aproximadamente, manteniendo el origen de coordenadas común a todos los mapas confeccionados para esta parcela.

Para cada medida se siguió el mismo procedimiento, ayudándose de la placa metálica que se aprecia en la figura 2.9. Esta placa tiene un hueco en el centro por donde se introduce la varilla del penetrómetro, siendo su uso necesario porque el sensor mide la profundidad a la que se introduce la varilla por rebote de la señal en la placa. El hueco señalado por la placa se aprovechó para colocar la lanza que alberga la antena del receptor GPS, obteniendo así la localización exacta de cada medición como muestra la figura 2.10.

3.2.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE MAPAS

La información básica para confeccionar los mapas globales de suelos se obtiene de dos archivos generados por fuentes distintas; uno de posicionamiento calculado por el receptor GPS, y el otro proveniente del penetrómetro. Sin embargo, los datos así obtenidos no pueden incorporarse al mapa directamente, sino que requieren un acondicionamiento específico. A continuación se explica el tratamiento que necesita cada uno de estos dos archivos primarios para poder confeccionar un mapa de resistencia de suelos compatible.

◆ ARCHIVOS REGISTRADOS POR EL RECEPTOR GPS

Estos archivos de texto almacenan las coordenadas geodésicas de cada uno de los puntos donde se ha medido la resistencia del suelo con el penetrómetro. Los archivos contienen las coordenadas GPS de los puntos muestreados en formato latitud - longitud - altitud. El programa incluido en el Anejo 4 fue el utilizado para transformar las coordenadas geodésicas

al plano tangente local, implementando las ecuaciones de transformación 3.1 a 3.4 según el protocolo estipulado a continuación.

◆ Transformación de coordenadas

Para aplicaciones agrícolas es mucho más útil emplear las coordenadas planas Este-Norte que las coordenadas geodésicas latitud-longitud, ya que estas últimas emplean geometría esférica y un origen de coordenadas indeterminado. Las coordenadas LTP (Local Tangent Plane), también conocidas como coordenadas NED (North, East, Down), sitúan el origen de coordenadas localmente a criterio de cada usuario, y utilizan coordenadas norte y este, que resultan más intuitivas y prácticas para los viticultores. Esta transformación es posible porque las aplicaciones agrícolas habituales no requieren grandes superficies, por lo que el terreno puede considerarse plano y la esfericidad terrestre imperceptible (Rovira-Más et al., 2010). En el sistema de coordenadas LTP se define un plano tangente a la superficie terrestre en un punto determinado, que coincide con el origen de coordenadas seleccionado por el usuario. Estas coordenadas LTP se miden a lo largo de tres ejes ortogonales en una configuración cartesiana. Los receptores GPS codifican su posición instantánea en coordenadas geodésicas insertadas en un mensaje estandarizado por el código NMEA (National Marine Electronics Association), por tanto el primer paso consiste en la transformación de coordenadas geodésicas al sistema LTP. Para ello deben seguirse los siguientes pasos:

1. Selección de un elipsoide de referencia para modelar la forma de la Tierra. Este modelo proporciona parámetros principales del geoide como el semieje mayor (a), el semieje menor (b), la excentricidad (e), el achatamiento (f), y la longitud de la normal (N_0). La longitud de la normal N_0 es la distancia en línea recta y perpendicular a la

superficie terrestre que existe entre la intersección con el eje Z de rotación de la Tierra y la superficie del elipsoide. En esta investigación se utilizó el modelo WGS84, cuyas propiedades fundamentales vienen recopiladas en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Caracterización geométrica del modelo WGS84.

Parámetro	Valor	Unidades
a	6378137	metros
b	6356752,3	metros
e	0,00335281	--
f	0,0818	--
$N_o(\lambda)$	$\frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \cdot \text{sen}^2 \lambda}}$	metros

- Transformación de las coordenadas geodésicas latitud (λ), longitud (ϕ), y altitud (h) a unas coordenadas intermedias denominadas coordenadas ECEF (Earth-centered Earth-fixed). Se trata de un sistema de coordenadas cartesiano fijo y con origen en el centro de masas de la Tierra (X, Y, Z). Esta transformación viene definida por las ecuaciones 3.1, 3.2 y 3.3. La figura 3.1 representa el sistema de coordenadas geodésico (a) y ECEF (b).

$$X = (N_o + h) \cdot \cos \lambda \cdot \cos \phi \quad (3.1)$$

$$Y = (N_o + h) \cdot \cos \lambda \cdot \text{sen} \phi \quad (3.2)$$

$$Z = [N_o \cdot (1 - e^2) + h] \cdot \text{sen} \lambda \quad (3.3)$$

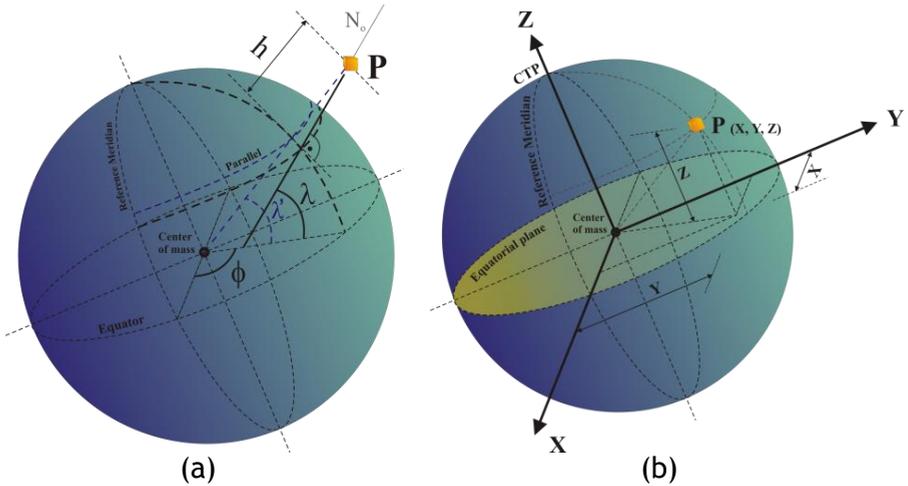


Figura 3.1. Definición de coordenadas geodésicas (a) y ECEF (b). (Rovira-Más et al., 2010).

3. Transformación del sistema de coordenadas ECEF al sistema de coordenadas LTP, representado en la figura 3.2. Para completar este último paso es necesario que el usuario elija una posición de referencia u origen (X_0, Y_0, Z_0) expresada en el sistema ECEF. La ecuación 3.4 facilita la expresión matemática para llevar a cabo esta transformación.

$$\begin{bmatrix} N \\ E \\ D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\text{sen } \lambda \cdot \text{cos } \phi & -\text{sen } \lambda \cdot \text{sen } \phi & \text{cos } \lambda \\ -\text{sen } \phi & \text{cos } \phi & 0 \\ -\text{cos } \lambda \cdot \text{cos } \phi & -\text{cos } \lambda \cdot \text{sen } \phi & -\text{sen } \lambda \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

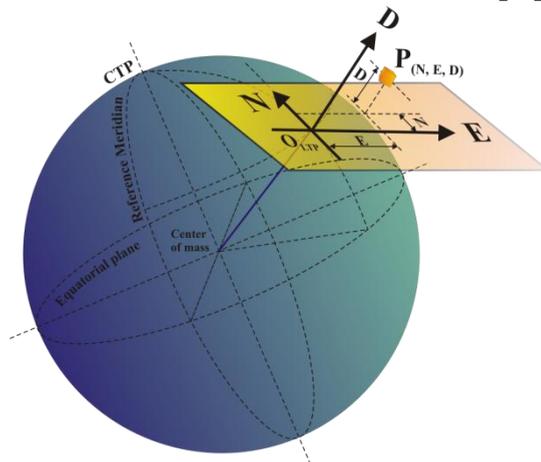


Figura 3.2. Sistema de coordenadas LTP (Rovira-Más et al., 2010).

◆ ARCHIVOS REGISTRADOS POR EL PENETRÓMETRO

Cada muestreo efectuado con el penetrómetro proporciona un conjunto de valores que forman las gráficas de resistencia a la penetración. En el eje de abscisas se muestra la resistencia del suelo en unidades de presión (MPa), medida para cada centímetro de suelo atravesado por el cono. El eje de ordenadas indica la profundidad a la que se registran los diferentes valores de resistencia. La figura 3.3 representa la gráfica obtenida para veinte de las 520 medidas efectuadas en la parcela de Moscatel.

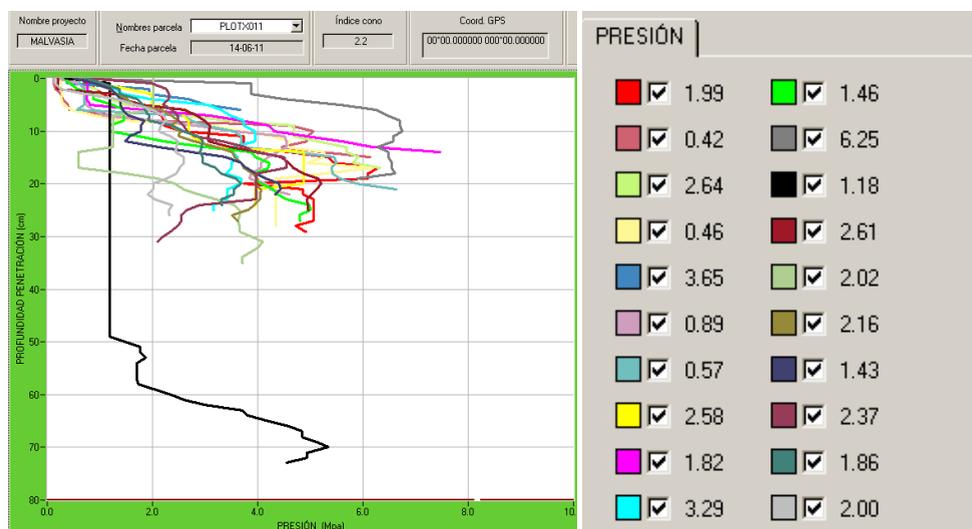


Figura 3.3. Gráfica de compactación del suelo (parcela Moscatel).

Todas las gráficas de resistencia a la penetración frente a profundidad se almacenaron como valores numéricos en archivos de texto, considerando una profundidad desde la superficie (0 cm) hasta los 80 cm.

◆ GENERACIÓN DEL MAPA DE COMPACTACIÓN DE SUELO

El movimiento de la sonda que estima la resistencia del suelo genera multitud de puntos a lo largo de su recorrido. Sin embargo, al

mapa sólo puede llevarse el valor promedio asociado a cada posición de la parcela muestreada. El algoritmo del Anejo 5 se ha programado en Matlab® (The MathWorks Inc., Natick, MA, EEUU) para extraer los valores medios y máximos de resistencia del suelo para cada penetración, introduciendo como información de entrada al algoritmo los archivos numéricos provenientes del penetrómetro. Finalmente, se escribió otro programa Matlab que aúna toda la información en un único archivo de texto. Este archivo se utilizó para crear el mapa final, e incorpora toda la información necesaria: número de punto muestreado, coordenada Norte, coordenada Este, altura, resistencia máxima, y resistencia media.

Para poder disponer los datos numéricos de un conjunto discreto sobre una malla bidimensional representando un espacio real, malla que podemos denominar universal porque mantiene un origen común y referencias globales, las coordenadas este y norte del sistema LTP deben transformarse a celdas de la malla universal identificadas por su posición (x, y) siguiendo el diagrama de la figura 3.4. Las ecuaciones 3.5 y 3.6 proporcionan esta transformación de coordenadas (E, N) a (x,y), donde min E y min N son los valores mínimos para las coordenadas este y norte, y el parámetro c indica el tamaño de la celda cuadrada de la malla según la resolución deseada. El parámetro k irá variando según el número de puntos tomados en el muestreo y cuyas propiedades quedan registradas en el archivo de texto generado por el programa del Anejo 5. E(k) y N(k) son las coordenadas este y norte para cada punto k.

$$x(k) = \frac{\min E + E(k)}{c}; \quad c \in \mathbb{N}; \quad c > 0 \quad (3.5)$$

$$y(k) = \frac{\min N + N(k)}{c}; \quad c \in \mathbb{N}; \quad c > 0 \quad (3.6)$$

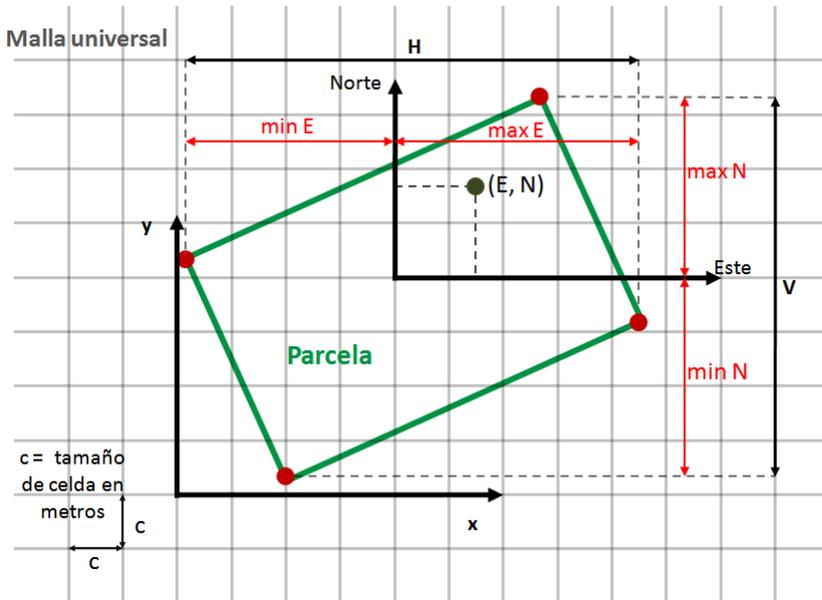


Figura 3.4. Transformación de coordenadas LTP a una malla universal.

La figura 3.4 ilustra gráficamente la ubicación de un punto genérico (E, N) en la celda (x, y) de una malla. Como indica la figura, las coordenadas extremas en el este y norte delimitan el tamaño de la malla, cuya resolución dependerá del tamaño de celda c elegido. En concreto, $\min E$ es el mínimo valor registrado de la coordenada Este, $\max E$ es el máximo valor para la coordenada Este, y las coordenadas $\min N$ y $\max N$ indican los valores mínimo y máximo en la dirección norte. La resolución de la malla global depende del nivel de detalle requerido por cada aplicación, aunque debe tenerse en cuenta que es más fácil comparar mapas con idéntica resolución. A diferencia de las coordenadas este y norte que admiten decimales y valores negativos, las posiciones de las celdas se numeran como elementos de matrices, por tanto, las coordenadas discretas x e y de la malla sólo admiten valores enteros y positivos. Después de que el usuario haya fijado el tamaño de celda que determina la resolución del mapa y sus límites, el algoritmo generador va llenando las celdas según la ubicación original de los puntos de muestreo.

Para rellenar las celdas del mapa de suelos, se tienen dos tipos de resistencia; la máxima y la media. El algoritmo que construye los mapas puede representar tanto valores máximos como medios, llevando a mapas de suelo con la misma morfología pero representando resistencias medias o máximas según convenga. Cuando dos o más valores de resistencia coinciden en una misma celda, el algoritmo calcula el promedio del valor que tenía asignado y el nuevo valor de resistencia. Una vez todos los puntos muestreados han sido transferidos a la malla, el algoritmo representa el mapa de suelos en el formato de la figura 4.2. Además, el algoritmo escribe un fichero de texto con todos los valores calculados y representados en el mapa, incluyendo el número del punto muestreado, las coordenadas LTP (Este, Norte y Altura), y las resistencias del suelo. La figura 3.5 esquematiza el algoritmo generador de mapas de suelo en un diagrama de bloques. La programación del algoritmo puede consultarse en el Anejo 5.

Cada punto de muestreo, caracterizado por su coordenada LTP y la resistencia del suelo, tiene que representarse sobre la malla, cuya compatibilidad con otros mapas queda asegurada por compartir con el resto de las mallas el origen y las dimensiones del mapa. La distribución espacial de resistencia del suelo en la parcela se representa mediante una barra de color personalizada, de forma que el límite inferior, cuando no hay datos o la resistencia es cercana a cero, se representa en color blanco; y el límite superior, es decir, cuando la resistencia es alta o máxima, se representa en color negro. Entre el blanco y el negro se ha definido una escala en tonos marrones según la resistencia de cada punto del suelo muestreado.

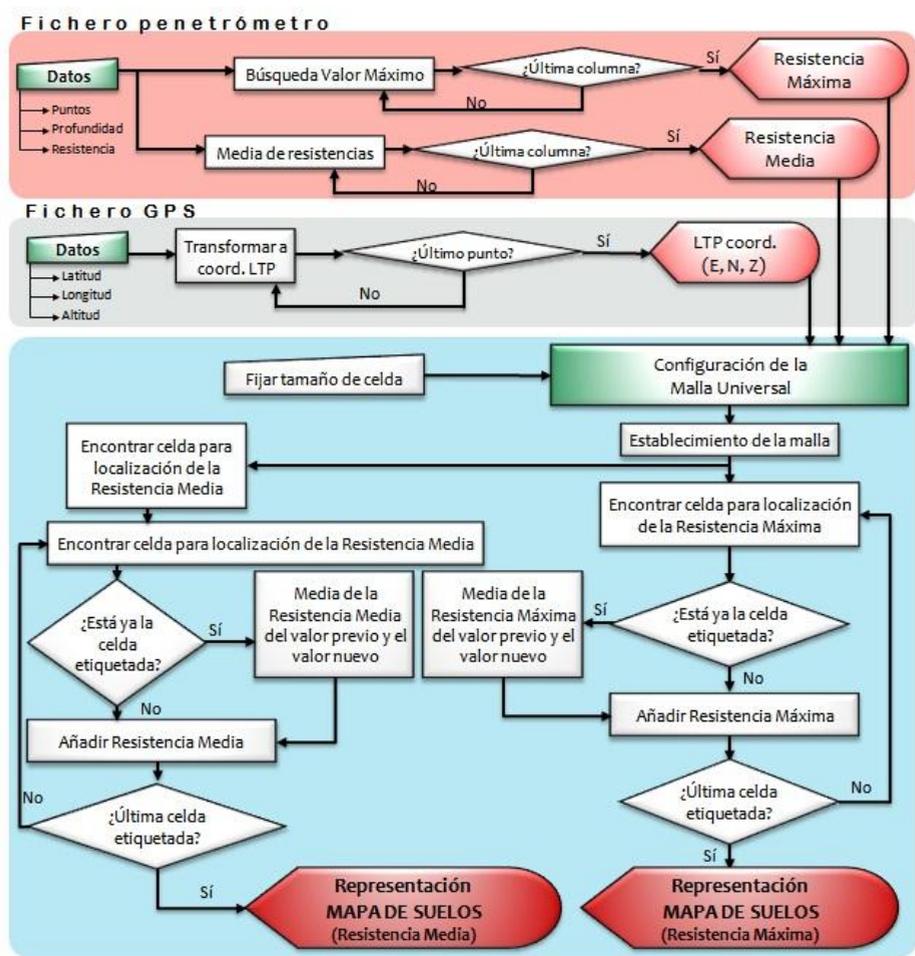


Figura 3.5. Algoritmo de construcción de mapas de suelo.

El tamaño de celda (c) de la malla determina la resolución del mapa, y aunque es una decisión que debe tomar cada usuario, debe razonarse detenidamente por las repercusiones que tiene en la concepción global del sistema de información implementado, ya que todos los mapas generados deben poseer propiedades similares para que su comparación tenga sentido. El tamaño de celda seleccionado para los mapas desarrollados en esta investigación se basa en los siguientes criterios y razonamientos:

- a) En la parcela de la variedad Moscatel (Turís) se recogieron 520 puntos. La parcela tiene una superficie de 0,7488 ha. Si dividimos esta superficie (7.488 m^2) entre el número de puntos muestreados (520) se obtiene una superficie media de $14,4 \text{ m}^2/\text{punto}$. Si se representara cada punto por un cuadrado, su lado sería de $\sqrt{14,4} = 3,8 \text{ m}$. Los 3,8 metros corresponden al mínimo tamaño de celda para que estas se solapen y cubran toda la superficie de trabajo, pero a partir de ese número (el entero mínimo sería 4 metros, es decir $c > 4 \text{ m}$), se puede tomar el valor que se considere adecuado con tal de no dejar celdas en blanco ni solapar en exceso. Finalmente, para tener una compensación entre valores de resistencia repetidos y posibles celdas en blanco, se tomó un valor compromiso para la celda de 5 metros en la parcela de Moscatel.
- b) Si se efectúan los mismos cálculos para la parcela de la variedad Malvasía (Turís), se tiene que para una superficie de 9.812 m^2 y 253 puntos, el lado mínimo del cuadrado sería de 6,2 metros, con lo que un valor $c = 5 \text{ m}$ dejaría algunas celdas en blanco. El valor final elegido es de $c = 7 \text{ m}$.
- c) En el caso de la parcela de Cabernet-Sauvignon, se tomaron muestras espaciadas unos 5 m a lo largo de las filas estudiadas, cuya separación entre espalderas es de 3 m. En este caso, un tamaño de celda finalmente elegido de 4 m funciona bien al no dejar celdas en blanco y al no ser demasiados los valores repetidos (solapados).

3.3 CONSTRUCCIÓN DE MAPAS DE VEGETACIÓN

3.3.1 METODOLOGÍA EN CAMPO: ADQUISICIÓN AUTOMÁTICA DE DATOS

A diferencia de los mapas de resistencia a la penetración que fueron obtenidos a través de un muestreo manual, los mapas de vegetación fueron generados a partir de información obtenida

automáticamente por un sistema de visión artificial acoplado a un sistema de localización GPS. La sincronización de ambos sistemas para obtener información fiable y a tiempo real supuso muchas horas de experimentación y desarrollo, lo que motivó la ausencia de mapas completos de vegetación en las parcelas de Turís. No obstante, el sistema funcionó satisfactoriamente en las diez filas estudiadas en Requena, y por tanto la descripción de la metodología hace referencia, mayoritariamente, a la última versión desarrollada y correspondiente al año 2012 para la variedad Cabernet-Sauvignon. La trayectoria que siguió el tractor en esta última fase se representa en la figura 3.6b. En la temporada 2011 también se muestrearon ocho filas de vid (de la 2 a la 9) en la misma parcela de Requena (figura 3.6a), que se ampliaron a diez el siguiente año.

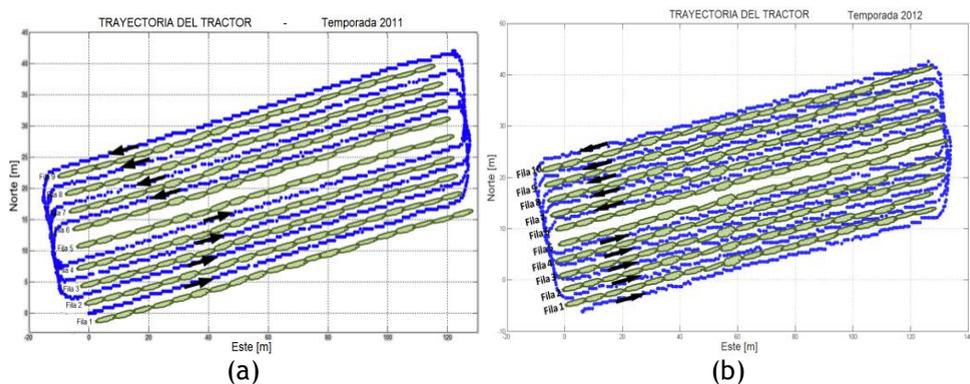
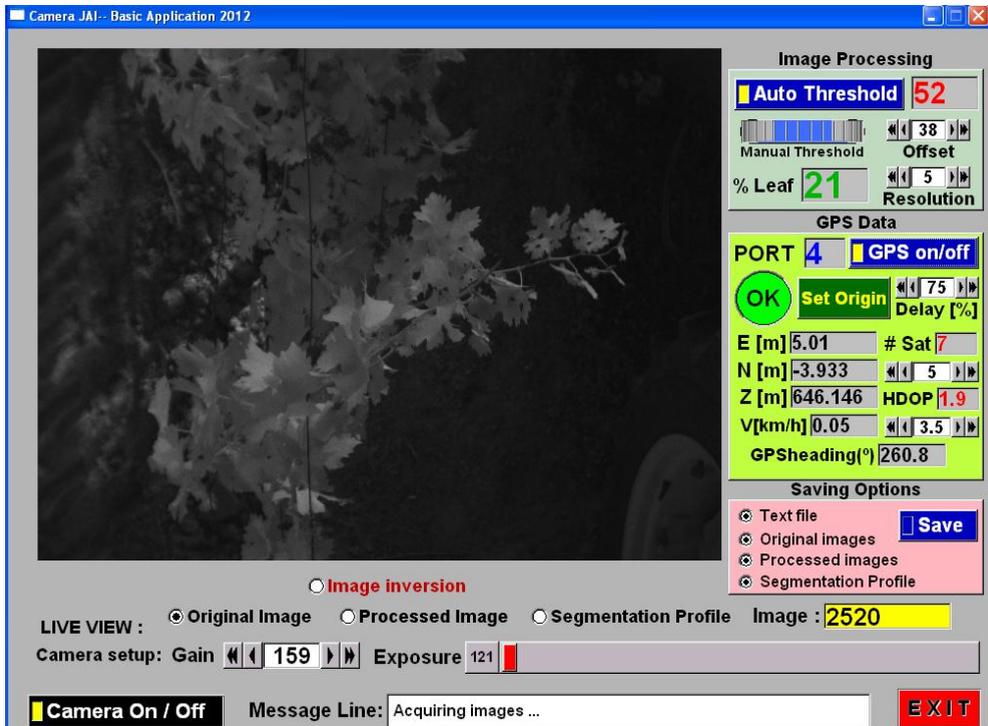


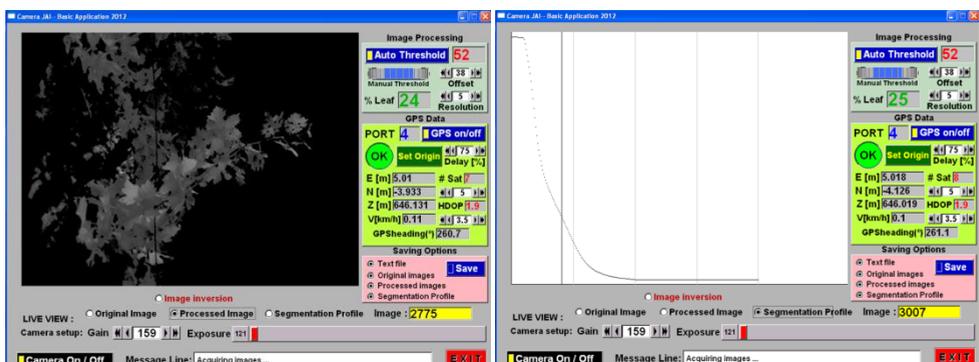
Figura 3.6. Trayectorias del tractor en la parcela Cabernet-Sauvignon durante las temporadas 2011 (a) y 2012 (b).

Antes de poner en marcha el sistema automático de percepción para tomar datos, la cámara monocular debe acoplarse en el brazo telescópico montado sobre la cabina del tractor a la distancia adecuada para captar la mayor cantidad posible de vegetación y la menor superficie de suelo. La lente y el filtro óptico deben ajustarse previamente para que el grado de intensidad media de las imágenes sea el apropiado y el enfoque nítido. Una vez alimentada la cámara por la segunda batería

(apartado 2.1.1) y conectada al ordenador portátil de cabina mediante un cable Ethernet, se pone en funcionamiento el programa especialmente desarrollado para esta aplicación, cuya interfaz se muestra en la figura 3.7 y cuyo programa íntegro en C/C++ se detalla en el Anejo 6.



(a)



(b)

(c)

Figura 3.7. Interfaz del programa (C++) para capturar información básica de los mapas de vegetación: imagen original (a), imagen segmentada (b), y curva de segmentación (c).

La interfaz desarrollada (figura 3.7) ha sido dividida en una zona de visualización que puede mostrar imágenes, y otra zona de control para ajustar los parámetros principales que intervienen en la toma de datos, especialmente el coeficiente de corrección (offset λ), la ganancia (gain), el tiempo de exposición u obturación (exposure), y la resolución (resolution δ). Especial importancia adquiere el ajuste del tiempo de exposición, ya que al desplazarse el tractor a una velocidad comprendida entre 4 km/h y 8 km/h, una exposición prolongada lleva a imágenes borrosas que incapacitan su procesado e incorporación a los mapas de vegetación. Al disminuir el tiempo de exposición para obtener imágenes nítidas, éstas se oscurecen. Es en este momento cuando un ajuste de la ganancia puede compensar la baja iluminación. No obstante, hay que llegar a un compromiso porque altas ganancias generan ruido en las imágenes. El coeficiente de corrección y la resolución son parámetros que intervienen en el algoritmo matemático de segmentación dinámica, y por tanto serán debidamente explicadas cuando se expongan las bases del algoritmo. El programa, además, permite desconectar el algoritmo de segmentación automática para realizar pruebas con control manual, facilita el manejo del sistema de posicionamiento, y permite grabar la información numérica en un fichero de texto y la visual con las imágenes de trabajo en formato tiff: originales, segmentadas, y el perfil de segmentación (curva específicamente definida para calcular el umbral dinámico). Estas imágenes, además de grabarse, pueden visualizarse instantáneamente en la interfaz como muestra la figura 3.7. La primera versión del programa se expandió para permitir el análisis de imágenes invertidas y así poder utilizar un filtro rojo centrado en los 671 nm. Esta modificación está incluida en el Anejo 6 y se puede apreciar en la interfaz de la figura 3.7; hay que seleccionar la opción Image inversion para trabajar con el filtro rojo.

Para adquirir toda la información necesaria en la generación de mapas de vegetación, el tractor comienza por visualizar la fila 1 de vegetación desde el oeste, según el mapa de la figura 3.6.b. El brazo telescópico que transporta el sensor (cámara monocular) se despliega hacia la izquierda según el punto de vista del conductor, por lo que éste debe transitar por la derecha de la fila de vegetación que se quiera observar para poder visualizarla correctamente. Una vez escaneada toda la fila 1, el tractor traza un bucle cerrado para buscar la fila 6 de vegetación. Este salto de filas facilita los giros en las cabeceras de las filas y permite mantener una velocidad promedio más alta durante la fase de adquisición de datos. La trayectoria trazada por el tractor recorre todas las filas de vegetación bajo estudio sin la necesidad de efectuar giros cerrados y, en consecuencia, tener que maniobrar con el vehículo. El orden de las filas visualizadas, basándose en el mapa de trayectorias de la figura 3.6.b, fue: 1-6-2-7-3-8-4-9-5-10. Se llevaron a cabo múltiples sesiones de registro combinando filtros, lentes, y hora del ensayo, ya que la iluminación es un factor decisivo en las aplicaciones con visión artificial. En la tabla 4.2 se verán las combinaciones en cuanto a filtros (banda espectral), lentes y localización de las pruebas. El número de pruebas en cada combinación implica que se hicieron a distintas horas del día aleatoriamente.

◆ EQUIVALENCIA ENTRE IMÁGENES (PÍXELES) Y VEGETACIÓN REAL

En este trabajo se han probado lentes de diferente distancia focal (figura 2.4) para seleccionar aquellas que mejor se adaptan a esta aplicación, ya que la equivalencia entre los píxeles de las imágenes adquiridas en el campo y la distancia real que representan sobre la vegetación depende de la distancia focal (f) de la lente utilizada y de la distancia entre el objeto representado (vegetación) y el plano donde se

forma la imagen (sensor de la cámara), teniendo en cuenta que la resolución de todas las imágenes ha sido fijada a 696 x 520. Para estimar esta equivalencia, es necesario determinar la distancia existente entre la cámara (sensor) y la vegetación. En realidad, esta distancia será variable, pero como las variaciones son pequeñas en general, se fijó un valor promedio de 1,10 metros. La figura 3.8 muestra el panel de calibración utilizado para hallar la equivalencia entre los píxeles que forman las imágenes a 1,10 metros del objetivo y los centímetros reales representados en tales imágenes.



Figura 3.8. Panel de calibración para estimar equivalencia píxel-cm.

La tabla 3.2 muestra la longitud exacta de los lados de los cuadrados del panel de calibración de la figura 3.8, y la longitud en píxeles de los mismos cuadrados representados en imágenes capturadas por lentes de distancia focal 6 mm, 8 mm, y 12 mm. Al dividir los píxeles representados por el lado de un cuadrado entre sus centímetros reales, se obtiene la equivalencia píxel por centímetro para cada lente. Puesto que la resolución de las imágenes es constante y de 696 píxeles (dimensión horizontal) x 520 píxeles (dimensión vertical), con la relación píxel/cm se puede calcular el campo de visión real percibido con cada lente.

Tabla 3.2. Equivalencias píxel-cm con el panel de calibración de la figura 3.8.

LENTE	6 mm	8 mm	12 mm
Longitud del lado del cuadrado del panel de calibración (píxeles)	32	39	60
Longitud del lado del cuadrado del panel de calibración (cm)	5,4	5,4	5,4
Píxeles/cm	5,93	7,22	11,11
Campo de visión (cm (H) x cm (V))	117 x 88	96 x 72	63 x 47

3.3.2 MAPAS DE PORCENTAJE DE VEGETACIÓN: VIGOR RELATIVO

La construcción de mapas de vegetación constituye la parte más ambiciosa y delicada de la tesis doctoral. La adquisición automática de imágenes y su procesado en tiempo real no sólo es un objetivo prioritario para cuantificar variaciones espaciales de vegetación (vigor relativo) que puedan relacionarse con otros parámetros fundamentales, sino que la metodología desarrollada para conseguirlo es ya una innovación en sí misma y un reto. Esta metodología trata de compaginar eficacia, bajo coste del sistema, y fácil disponibilidad del mismo, centrándose, por tanto, en el productor agrícola que en un futuro será capaz de monitorizar y predecir parámetros importantes en vid sin necesidad de tener conocimientos avanzados en nuevas tecnologías, gracias a la arquitectura diseñada durante la fase experimental de la tesis.

En el afán de mejorar la gestión a realizar por el viticultor y ayudarle a predecir la cantidad y calidad de la cosecha con datos verídicos, se ha estudiado la fisiología del cultivo para averiguar qué época es la más adecuada y temprana para empezar con la toma de imágenes dentro de la temporada anual del cultivo. La toma de imágenes puede realizarse varias veces antes de la vendimia, pero cuanto antes se pueda disponer de información clave mejor, dado el valor estratégico que

tiene la predicción de la cosecha en el mundo de la viticultura y enología. El periodo idóneo para iniciar la adquisición de imágenes se establece en el *envero* (apartado 1.5). En el estado fenológico del *envero*, la vegetación ya ha alcanzado su tamaño definitivo y, al estar completamente desarrollada, deja de crecer para favorecer el crecimiento y maduración del grano de uva (Moreno-Vigara y Peinado-Amores, 2010) como puede observarse en la figura 3.9. Desde este momento hasta la recolección o vendimia pueden pasar alrededor de dos meses, de manera que si se obtienen los primeros mapas durante este periodo, el productor puede llegar a anticipar su cosecha hasta dos meses antes de la recolección.

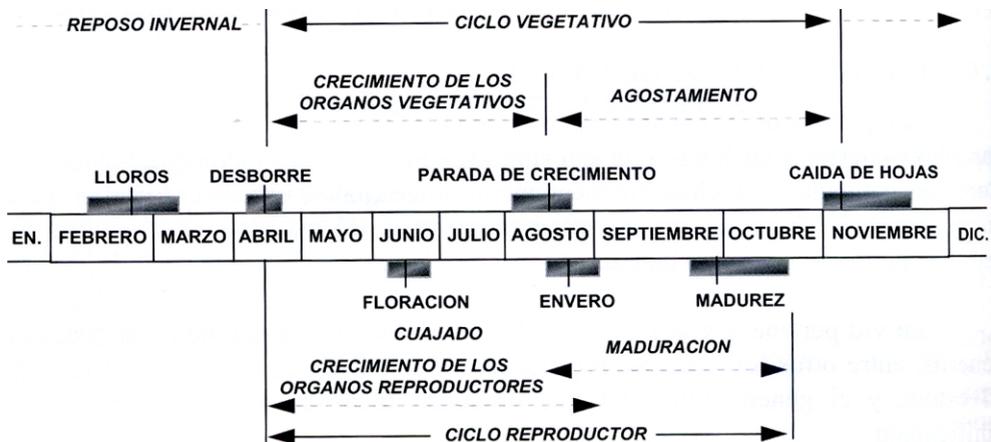


Figura 3.9. Ciclo de la vid (Moreno-Vigara y Peinado-Amores, 2010).

Una vez estipulado el estado del cultivo idóneo para tomar imágenes, se ha de decidir qué posición de la cámara es la más adecuada para cumplir los objetivos propuestos. Como se detalla en el capítulo 1, ha habido numerosos proyectos con imágenes tomadas desde satélites, lo que conlleva graves inconvenientes para productores modestos con explotaciones reducidas, como la falta de disponibilidad de información importante cuando el productor la necesita y los altos costes que estos procedimientos suelen acarrear. Por esta razón tiene muchas más

probabilidades de éxito a nivel práctico y de campo situar la cámara en posiciones más cercanas al cultivo para que los productores puedan decidir cuándo efectuar sus análisis. Algunos investigadores han propuesto sistemas de visión para posiciones laterales de la cámara respecto a la viña (Figura 1.2), pero en todas las ocasiones han tenido que recurrir a la utilización de estructuras aparatosas para eliminar filas contiguas de las imágenes, lo que dificulta el paso del vehículo por la parcela. La necesidad de montar paneles opacos en el vehículo la origina el tipo de imágenes obtenidas al visualizar las viñas lateralmente, ya que además de la viña objeto de interés, también se detectan las viñas de las filas situadas detrás de la fila objetivo, que sólo puede aislarse con paneles que impidan su registro en las imágenes. Esta solución, además de ser poco práctica y eficiente, entra en conflicto con los objetivos de este trabajo ya que un sistema de esas características es muy difícil de adoptar por un productor real que necesita desplazarse por la parcela de manera rápida y efectiva. Por esta razón, el sistema propuesto opta por una posición cenital de la cámara donde solamente se visualiza la viña objetivo y el suelo de la parcela. Para llegar a seleccionar esta arquitectura y descartar otras alternativas se realizaron multitud de pruebas en campo (Sáiz-Rubio y Rovira-Más, 2012b). En particular se tomaron imágenes desde la posición cenital (figura 3.10.b) y también se probó el sistema de percepción con la posición lateral (figura 3.10.a) para corroborar las hipótesis planteadas anteriormente. La figura 3.10 compara ambos tipos de imágenes. La imagen 3.10a fue tomada desde la posición lateral y, a pesar de que no hay vegetación en primer plano (fila objetivo con una falta), la cámara registra la vegetación de filas contiguas que erróneamente llevarán asociada la posición GPS de la fila objetivo, falseando el mapa global de vegetación. Por el contrario, la imagen 3.10.b ha sido tomada con la cámara en posición cenital, de

forma que la imagen a procesar solamente captura vegetación y suelo, cuya diferencia en nivel de intensidad puede realizarse con filtros infrarrojos que potencian la vegetación sobre el fondo.

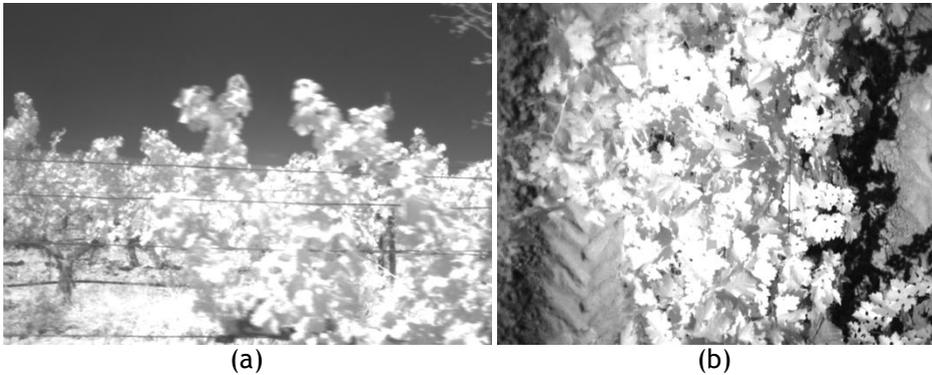


Figura 3.10. Comparación entre imágenes tomadas lateralmente (a), y desde una posición cenital (b).

El análisis preliminar de las imágenes, basado en la morfología de sus histogramas, corroboró la mayor eficacia de las imágenes cenitales y sugirió el uso de filtros ópticos para su mejora sin aumentar el coste computacional. Varios estudios (Weekley, 2007; Sáiz-Rubio y Rovira-Más, 2012) han demostrado que algunos filtros ópticos en el infrarrojo cercano provocan un desequilibrio en la intensidad de gris que representa la vegetación, lo que puede aprovecharse para segmentar plantas en imágenes de cultivos. La figura 3.11 muestra una superposición de histogramas para cuatro filas de viñedo percibidas a través de un filtro infrarrojo. La forma de los histogramas indica la distribución de los niveles de gris en las imágenes, representando cada nivel de intensidad en el eje de abscisas ($i = 0 \dots 255$) y el número de píxeles en la imagen que le corresponden $n(i)$ en el eje de ordenadas. Además, cada gráfica incluye una línea vertical que marca la media aritmética de los valores de intensidad para cada serie de imágenes correspondientes a una misma fila del viñedo.

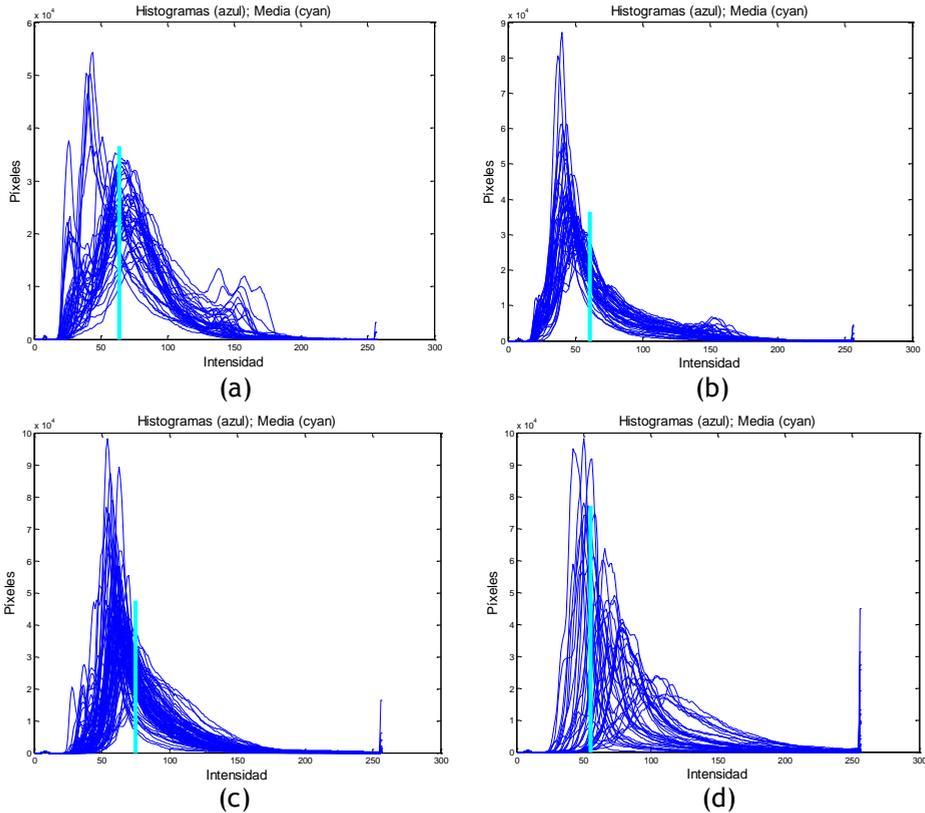


Figura 3.11. Histogramas superpuestos de imágenes capturadas en cuatro filas.

Aunque la superposición de histogramas pertenecientes a cada hilera define una envolvente o zona común de acumulación de píxeles, la diferencia entre imágenes del mismo pase es suficientemente diferenciada para requerir un *umbral* específico y, por tanto, *dinámico*, si no se quiere incurrir en segmentaciones defectuosas. Según los perfiles de los histogramas de la figura 3.11, en la mayoría de las imágenes se puede definir una zona divisoria a partir de la cual se produce una bajada muy significativa del número de píxeles segmentados, provocada fundamentalmente por el filtro óptico utilizado para realzar la vegetación sobre todo lo que le rodea. La figura 3.12 ilustra esta idea: la imagen original (a) ha sido alterada en sus niveles de gris por un filtro infrarrojo,

y como consecuencia, su curva de segmentación (b) decae de manera rápida a partir de un nivel de gris en torno a 100.

Al colocar un filtro infrarrojo (NIR) delante de la lente montada en la cámara monocroma, se puede apreciar un desequilibrio en los niveles de gris, de forma que la vegetación aparece mucho más clara con niveles de gris bastante altos, teniendo en cuenta que el nivel 255 es el blanco absoluto, fenómeno ya observado por Knipling (1970). Este desequilibrio forzado es la base del perfil de segmentación propuesto (Sáiz-Rubio y Rovira-Más, 2012a), cuya forma arquetípica se muestra en la figura 3.12b. El eje de abscisas representa niveles de gris h , habiendo en total 256 niveles que van desde el 0 (negro) hasta el 255 (blanco), ya que siempre se trabaja con imágenes digitales de 8 bits. El eje de ordenadas representa el porcentaje de píxeles que están por encima del nivel de gris considerado en el eje de abscisas h . Este perfil de segmentación es calculado para cada una de las imágenes tomadas. A modo de ejemplo, podemos aplicar este concepto a la figura 3.12; para un nivel de gris 100, es decir $h = 100$, la imagen original (a) tiene un 90% de píxeles con un nivel de gris mayor de 100. La curva (b) proporciona la morfología de la imagen para todos sus niveles de gris.

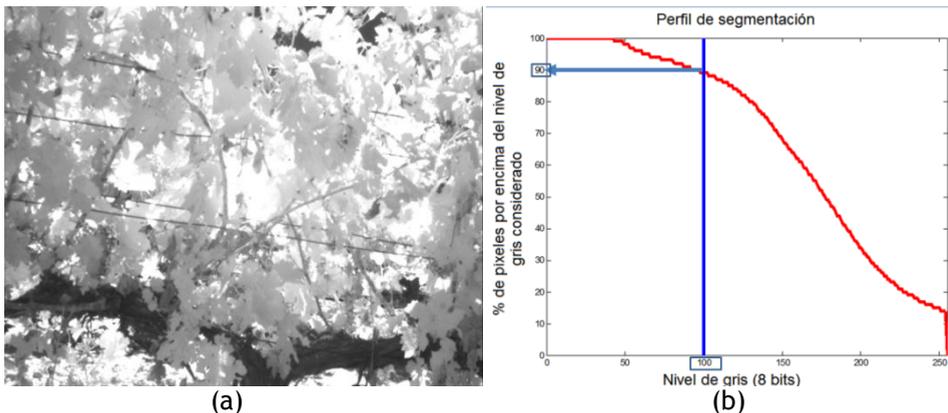


Figura 3.12. Imagen típica (a), y su correspondiente *perfil de segmentación* (b).

El objetivo final de este algoritmo es encontrar un nivel de gris μ , denominado *umbral dinámico*, cuyo valor discrimine los píxeles pertenecientes a vegetación de los píxeles que no corresponden a la vegetación de las vides, como se ilustra gráficamente en la figura 3.13. La búsqueda del valor umbral μ consiste en identificar un cambio drástico, o salto, en la curva del perfil de segmentación, es decir, el punto en que una cantidad significativa de píxeles cambien su estado de píxeles no pertenecientes a vegetación a píxeles pertenecientes a material vegetal sano. Además, se ha definido un factor de corrección λ que ajusta y optimiza esta detección en condiciones adversas de iluminación. Matemáticamente, la búsqueda del umbral dinámico se efectúa utilizando los conceptos de gradiente (ecuación 3.7) y curvatura (ecuación 3.8). En la ecuación 3.7, el intervalo $\Delta(h)$ representa una estimación del gradiente aplicado al perfil de segmentación; $\nabla(h)$ es el gradiente; δ es la resolución de la estimación del gradiente en términos de incrementos de nivel de gris (para este caso se tomó un rango de 1 a 50); h es el nivel de gris considerado, y $P(h)$ es el porcentaje de píxeles en la imagen con un nivel de gris superior a h . Un indicador alternativo para detectar la rapidez de caída en la curva es la curvatura. La ecuación 3.8 representa la estimación de la curvatura $\Delta^2(h)$ en el perfil de segmentación para un nivel de gris h y un intervalo δ , donde $\nabla^2(h)$ es la curvatura. La expresión final para la estimación de la curvatura, $\Delta^2(h)$, se basa en la simplificación tradicional de la definición de curvatura presentada en la ecuación 3.9, donde y representaría el porcentaje de píxeles $P(h)$, x correspondería al nivel de gris h , y κ sería la curvatura.

$$\Delta(h) = \nabla(h) \cdot \delta = |P(h) - P(h + \delta)|; \quad h = 0 \dots 255 - \delta; \quad \delta = 1 \dots 50 \quad (3.7)$$

$$\Delta^2(h) = \nabla^2(h) \cdot \delta = |\Delta(h) - \Delta(h + \delta)|; \quad h = 0 \dots 255 - 2\delta \quad (3.8)$$

$$\kappa = \frac{|y''|}{(1+y'^2)^{3/2}} \approx \left| \frac{d^2y}{dx^2} \right| \quad (3.9)$$

Por último, el umbral μ se define como la media aritmética de los niveles de gris que maximizan $\Delta(h)$ y $\Delta^2(h)$, simbolizados respectivamente por h_{Δ} y h_{Δ^2} , y corregido por un factor λ , como muestra la ecuación 3.10. El rango válido para el factor λ se estimó empíricamente en campo con los casos más desfavorables.

$$\mu = \lambda + \frac{h_{\Delta} + h_{\Delta^2}}{2}; \quad \lambda = 0 \dots 50 \quad (3.10)$$

La figura 3.13 ilustra el perfil de segmentación de una imagen al azar, donde la curva del perfil de segmentación ha sido representada en color negro y cuyo valor umbral —para esa imagen— ha sido calculado aplicando el proceso descrito mediante las ecuaciones 3.7 a 3.10. Una vez determinado el umbral dinámico μ , el algoritmo mantiene los píxeles considerados *vegetación sana* con su nivel de gris original, y cambia el resto de píxeles considerados *no-vegetación* a un nivel de gris igual a cero (negro). Finalmente, el algoritmo calcula el porcentaje de píxeles que se ha obtenido de manera automatizada como *vegetación* respecto al total de píxeles de la imagen. De esta manera, se estima el *porcentaje de vegetación instantánea* para una determinada localización dentro del viñedo, tal como resume el diagrama de bloques de la figura 3.14 correspondiente a la parte de percepción del sistema desarrollado.

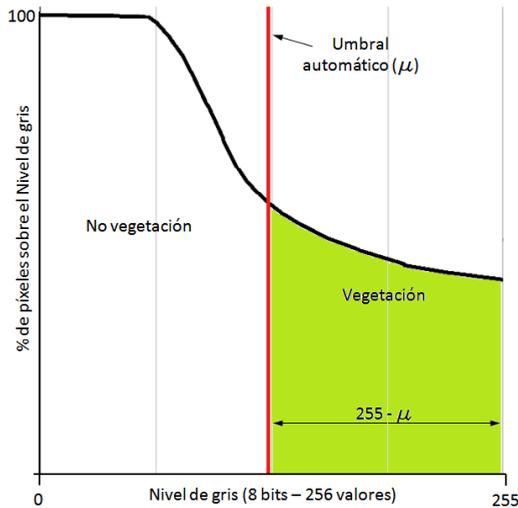


Figura 3.13. Perfil de segmentación y cálculo automático del umbral μ .

Para poder implementar el algoritmo anterior a bordo del vehículo, se utilizaron las bibliotecas disponibles para la cámara JAI (figura 2.3), diseñando un programa propio en lenguaje C++ compilado a través de Ms Visual C++ (Microsoft, Seattle, WA, EEUU). El ordenador principal del tractor, situado en la cabina de mando, se conectó al receptor GPS mediante un puerto USB, y a la cámara mediante Ethernet, sensores que, igual que ocurre con el ordenador, van siempre alimentados desde la batería secundaria del circuito paralelo (apartado 2.1.1). La cámara se dispuso en el tractor de forma que se optimizara la percepción de la vegetación. Una vez colocados y comprobados todos los dispositivos electrónicos, el tractor se puede poner en marcha para que el ordenador pueda tomar y grabar los datos necesarios. Antes de iniciar la fase de toma de datos y con el tractor parado, se fijan la *resolución*, la *exposición*, el *coeficiente* λ y la *ganancia*. La resolución δ , es decir, el aumento constante y fijo del valor de x , se mantuvo siempre en 5 (resolución $\delta = 5$) al comprobar cómo su variación no alteraba significativamente los resultados obtenidos. El tiempo de exposición, así

como la ganancia y el coeficiente corrector λ , se ajustaron manualmente en campo según la cantidad de sol percibida por la cámara. Una vez seleccionados todos los parámetros de trabajo, el tractor puede comenzar su itinerario y estimar el porcentaje de vegetación con el sistema de percepción de abordó, grabando los resultados y, si el operador lo estima oportuno, también las imágenes antes y después de su procesado.

Paralelamente al sistema de percepción, el ordenador principal también ejecuta el sistema de localización global vía satélite. Uno de los receptores GPS instalados –Garmin o StarFire– proporciona mensajes NMEA que contienen las coordenadas geodésicas del vehículo, siendo transformadas a coordenadas LTP en tiempo real según el proceso descrito en el apartado 3.2.2. El algoritmo diseñado e implementado en el ordenador de abordó, comprueba la consistencia y fiabilidad de las coordenadas, y sólo si es favorable continúa con el proceso y asigna unas coordenadas a cada imagen; de lo contrario, salta la imagen hasta que el sistema de localización funcione correctamente. Esta consistencia en posiciones y coordenadas se resiente, por ejemplo, si existe un número bajo de satélites o los que hay no están uniformemente distribuidos en el cielo. Sin embargo, estas dos condiciones de idoneidad en los satélites no son suficientes para garantizar la localización precisa del vehículo, por lo que un filtro más robusto se implementó en la sección de localización dentro del algoritmo implementado (Rovira-Más y Banerjee, 2013). Una vez se dispone de coordenadas e imágenes grabadas simultáneamente y a tiempo real, se procede a construir la *mallá global* (o *universal*) que dará lugar a los deseados **mapas de vegetación**, proceso actualmente realizado en gabinete y a posteriori de la toma de datos. El procedimiento para construir la mallá de vigor es similar al descrito para los mapas de resistencia a la penetración del apartado 3.2.2, pero en lugar de rellenar las celdas con la resistencia a la penetración del suelo,

se rellenan con el porcentaje de vegetación obtenido automáticamente por el sistema de visión. Por tanto, este algoritmo de generación de mapas de vegetación requiere dos datos esenciales: el *porcentaje de vegetación*, obtenido por el sistema de percepción, y las coordenadas LTP correspondientes a las imágenes tomadas. Las coordenadas LTP asignadas a las imágenes deben ubicarse dentro de celdas particulares pertenecientes a las mallas, utilizando para ello las ecuaciones 3.5 y 3.6. Igual que ocurría en la construcción de mapas de suelos, una vez que el usuario fija el tamaño de celda (m) y los límites este-norte de la malla, el algoritmo recorre todas las celdas para rellenarlas con el porcentaje de vegetación estimado. Si varias imágenes son ubicadas por el receptor GPS en una misma celda, el algoritmo calcula el promedio de los valores asignados a esa celda. Cuando todas las imágenes con ubicación correcta han sido transferidas a celdas para su etiquetado, el algoritmo finaliza la fase de rellenado de malla y representa gráficamente el mapa de porcentaje de vegetación, grabando a la vez un archivo de texto con todos los puntos válidos, sus coordenadas (Este, Norte, Altura), y los correspondientes porcentajes de vegetación. La programación del algoritmo generador de mapas ha sido incluida en el Anejo 7.

3.4 CONSTRUCCIÓN DE MAPAS DE RENDIMIENTO (PRODUCCIÓN)

Para tomar los datos que constituyen los mapas de rendimiento, hubo que vendimiar a mano las hileras de vid empleadas en la fase experimental, pesar la uva recolectada por cada celda virtual, e incluir todos los valores de producción (kg de uva) en archivos de texto para su carga desde los algoritmos generadores de mapas. En un futuro, se dispondrá de monitores de rendimiento en las vendimiadoras de manera que la obtención de datos será totalmente automatizada como en el caso del porcentaje de vegetación. No obstante, si se llegara a una buena

correlación entre vegetación y producción, sería posible obviar el registro automatizado de rendimiento, ya que se podría estimar directamente a partir del mapa de vegetación. En este trabajo, sin embargo, el pesaje por tramos de la uva recolectada es necesario para validar y cuantificar la relación existente entre estas dos variables fundamentales.

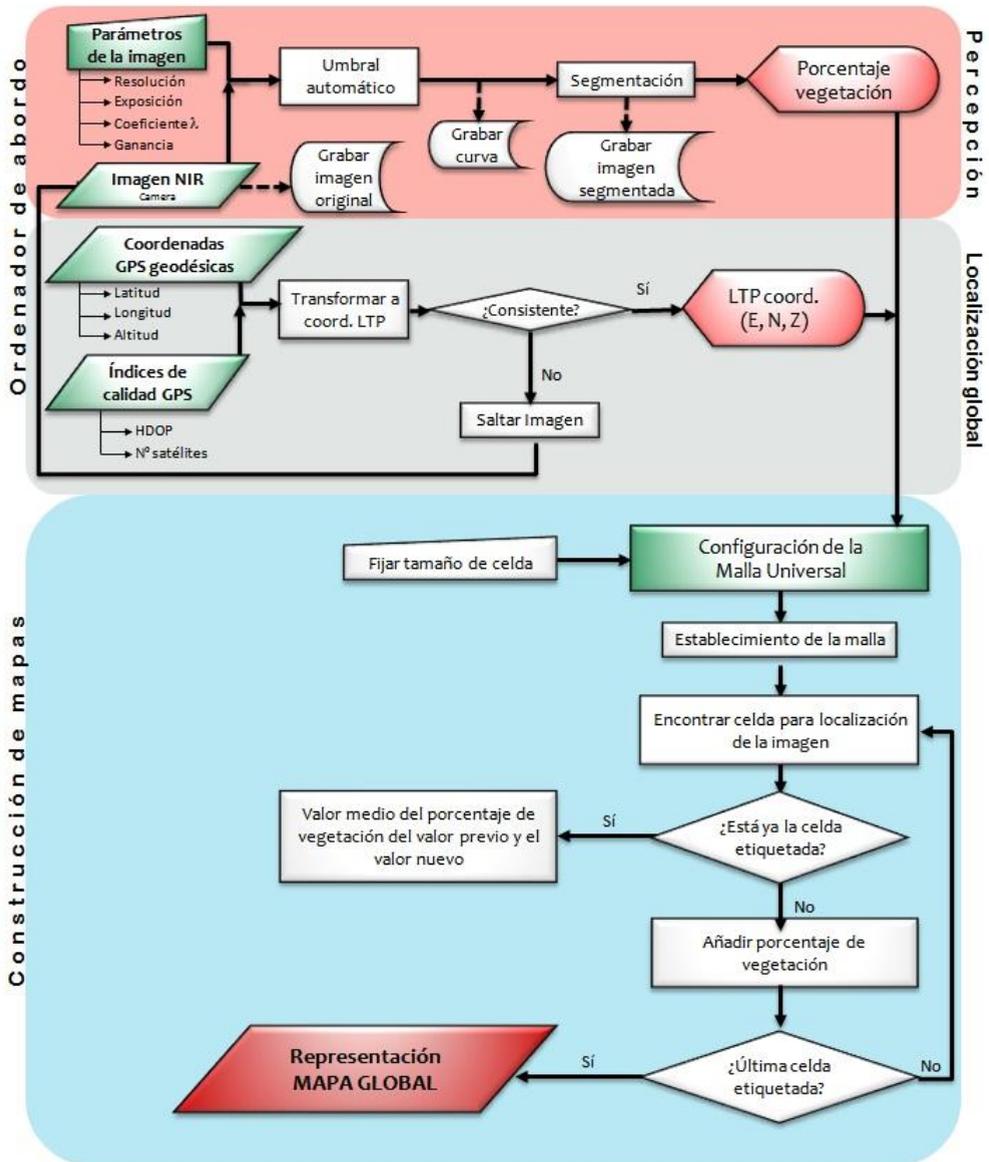


Figura 3.14. Algoritmo de construcción de mapas de vegetación.

El proceso detallado por pasos para la generación de mapas de rendimiento se describe a continuación.

◆ Toma de muestras: vendimia por tramos.

Los **mapas de rendimiento** proporcionan la distribución espacial del peso de la uva por unidad de superficie; en este caso, equivale a los kg de uva recogidos por cada celda del mapa. La superficie de las celdas se ha establecido en base a los mapas de porcentaje de vegetación realizados con antelación a la cosecha. Si las celdas son cuadradas y tienen una dimensión equivalente a 16 m^2 ($c = 4 \text{ m}$ de lado), los mapas de rendimiento deberían tener esas mismas dimensiones para poder establecer comparaciones entre los dos tipos de mapas, y ser capaces de llegar a conclusiones fundamentadas en datos reales. Durante la vendimia del año 2012, se recogió uva en tramos de cinco metros de longitud (cultivo en espaldera) y se colocaron banderas cada 2,5 m para identificar extremos y centros de celda (figura 3.15). A medida que se recogía la uva de cada tramo, se apuntaba su peso y posición a través de las coordenadas geodésicas. Para obtener las coordenadas, se utilizó el receptor GPS StarFire del vehículo, que se situó en el centro de las celdas entre espalderas.



Figura 3.15. Delimitación de celdas con banderas durante la recogida de uva por tramos.

◆ Confección de mapas de rendimiento.

Una vez efectuada la vendimia por tramos, la información recogida en el campo se dispone en un fichero de texto (Anejo 8), especialmente formateado para que el algoritmo generador de mapas de rendimiento pueda leer la información directamente del fichero. Este archivo de texto contiene las coordenadas GPS de cada punto muestreado y los pesos de la uva por tramo (kg). Una vez preparado este archivo de datos, se ejecuta el algoritmo informático para confeccionar los mapas de rendimiento (Anejo 9). El algoritmo recibe las coordenadas en formato NMEA (coordenadas geodésicas) y las transforma en coordenadas LTP este y norte, creando la malla universal siguiendo el mismo proceso descrito para los mapas anteriores. Esta vez, para rellenar o colorear las celdas, se utiliza el peso de la uva estimado para cada celda. El proceso de confección de mapas de rendimiento se esquematiza en el diagrama de bloques de la figura 3.16.

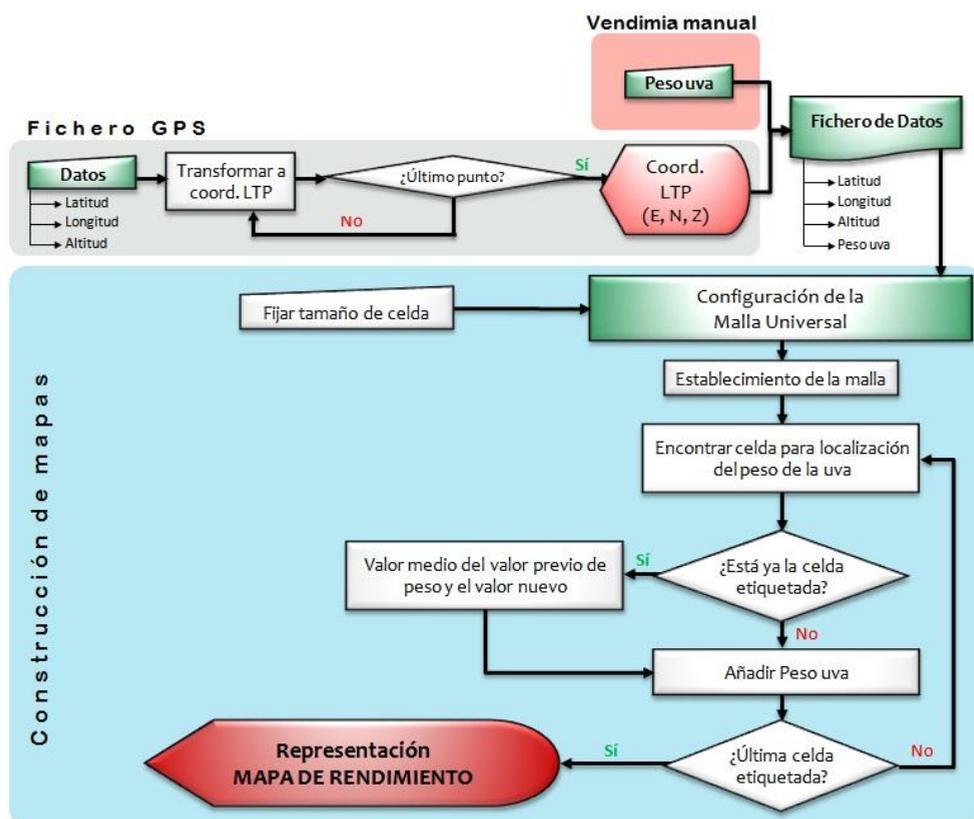


Figura 3.16. Algoritmo de construcción de mapas de rendimiento.

3.5 CONSTRUCCIÓN DE MAPAS DE ALTITUD

Con el objetivo de aumentar la fiabilidad del modelo desarrollado, se llevaron a cabo otros mapas que pudieran contribuir a explicar la variabilidad espacial en la cantidad y calidad de la uva, mejorando la capacidad predictiva del modelo propuesto. Uno de estos mapas complementarios es el **mapa de altitud**, que cuantifica los desniveles dentro de la propia parcela, es decir, proporciona información sobre la variabilidad espacial del nivel del terreno. Como es obvio, este mapa es único para cada parcela, ya que está ligado a la propia orografía del terreno. Para construirlo, se toman como datos de partida las coordenadas Este, Norte y Altitud de cualquier mapa construido

anteriormente (vegetación, suelo, o rendimiento), ya que esta información geográfica se ha utilizado para generar todos los mapas de cultivo. La malla, por tanto, se construye siguiendo los mismos pasos que en los casos descritos previamente, siendo esta vez la *altitud* –ya sea sobre el nivel del mar o relativa al origen de coordenadas local– el relleno de las celdas. Este tipo de mapas ha resultado ser un instrumento fundamental para constatar, y de alguna manera cuantificar, los efectos de la *acumulación de agua en el terreno*, directamente relacionada con el crecimiento de la planta y consecuentemente con su vigor. En el Anejo 10 se detalla el algoritmo informático utilizado para confeccionar los mapas de altitud, que sigue el diagrama de bloques de la figura 3.17.

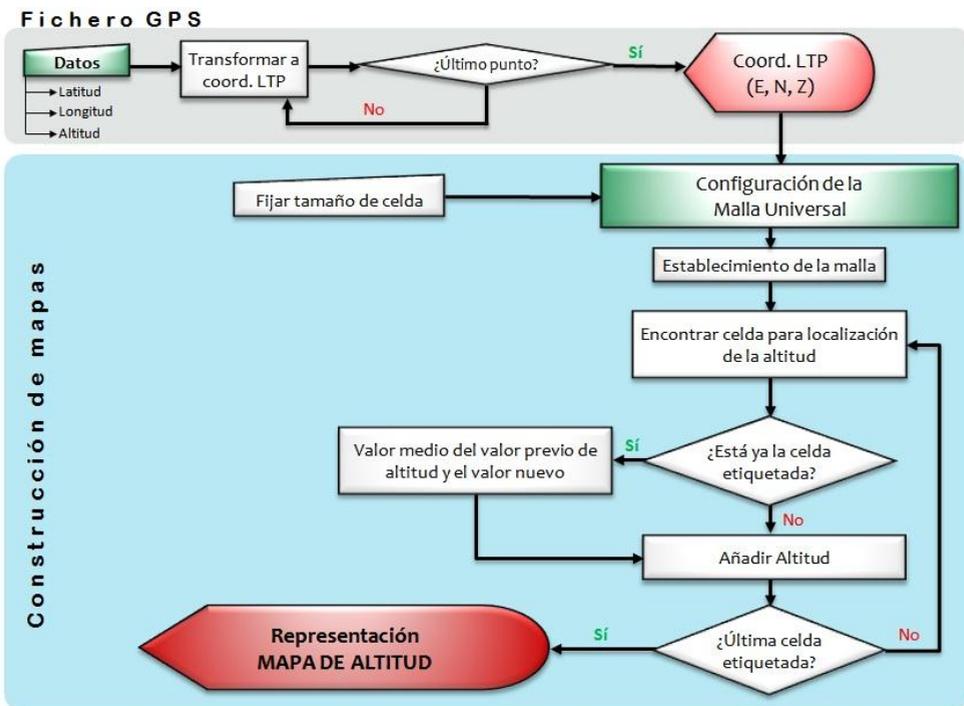


Figura 3.17. Algoritmo de construcción de mapas de altitud

3.6 ANÁLISIS QUÍMICO DEL MOSTO DE LAS MUESTRAS DE UVA

3.6.1 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS Y OBTENCIÓN DEL MOSTO

Una muestra representativa de la uva recogida (y pesada) para cada celda se almacenó en unas bolsas de plástico con cierre hermético, que a su vez se mantuvieron refrigeradas en unas cajas de corcho como la representada en la figura 3.18. Cada muestra constó de varios racimos pertenecientes a diferentes secciones del tramo muestreado. Las cajas de transporte aseguraron una baja temperatura de las muestras gracias a envases de hielo (figura 3.18). Al final de cada fila, se traspasaron las muestras desde las cajas de transporte hasta una nevera portátil conectada a la corriente eléctrica para mantener el frío.



Figura 3.18. Caja de corcho con las muestras de uva refrigeradas.

Después de la toma de muestras en campo, se trasladaron todas las bolsas a una cámara de refrigeración (figura 2.15) disponible en el laboratorio, guardándose a temperatura constante de 5 °C hasta el momento de su análisis químico. Para comprobar que la temperatura en el interior de la cámara no variaba significativamente, se utilizó un sistema de registro continuo de temperatura y humedad relativa (figura 2.16). La figura 3.19 muestra la gráfica de temperatura y humedad

obtenida durante los diez días durante los que se conservaron los racimos mientras se analizaban las muestras.

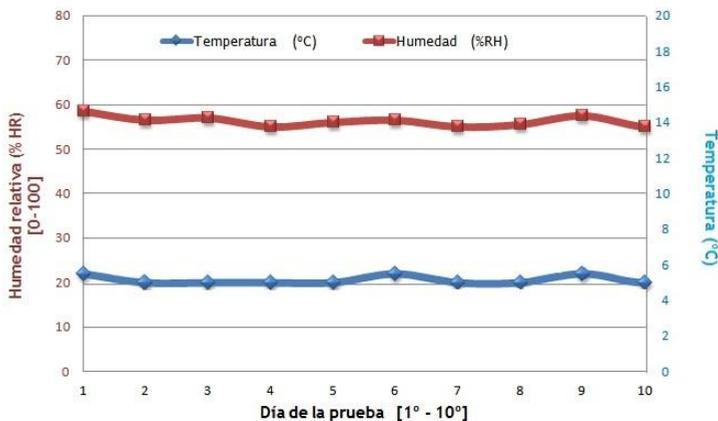


Figura 3.19. Temperatura y humedad relativa de la cámara frigorífica donde se almacenaron las muestras.

3.6.2 ANÁLISIS DE ACIDEZ Y pH

La **acidez** (titulable) es una medida de la concentración de ácidos presentes en el mosto, considerada como una medida del contenido en ácidos libres. Los análisis de acidez requieren al menos 5 ml de zumo de uva o mosto. Para conseguir la cantidad de zumo necesaria, se desgranaron los racimos de cada muestra, colocando los granos de uva en la prensa manual de la figura 2.17. Una vez obtenido el zumo, éste se agitó con una varilla de cristal para conseguir un doble objetivo: hacer homogénea la muestra y eliminar el CO₂. En todos los casos se obtuvo más de 5 ml de zumo, por lo que se extrajeron los 5 ml necesarios para los análisis de acidez y pH con una pipeta, y se vertieron en un vaso de precipitados de 100 ml. A estos 5 ml de mosto se le añadieron 35 ml de agua destilada (H₂O) y tres imanes (figura 3.20) para poder homogeneizar la muestra con el aparato valorador de la figura 2.22.



Figura 3.20. Vaso de precipitados de 250 ml con el mosto recién prensado, vaso de precipitados de 100 ml con 5 ml de mosto y 35 ml de agua destilada, pipeta e imanes.

El vaso de precipitados con la muestra de mosto de 5 ml, agua destilada, y tres imanes, se colocaron en el aparato valorador para su análisis químico. El aparato valorador tiene dos sondas, una de pH y la otra de temperatura. La sonda de pH proporciona directamente el valor del pH de la muestra, que es una medida de la concentración en protones liberados por los ácidos de mosto (Moreno-Vigara y Peinado-Amores, 2010).

Para llevar a cabo la valoración ácido-base del mosto, se preparó una concentración 0,1 N de sosa cáustica (hidróxido de sodio, NaOH), diluyendo 4 gramos de sosa en un litro de agua destilada. En las valoraciones se ha utilizado la normalidad de 0,1 al ser la establecida por el Reglamento de la UE para análisis de zumos y mostos aplicable al sector del vino antes de la fermentación. La normalidad, cuya fórmula se muestra en la ecuación 3.7, es la relación que hay entre la cantidad de soluto proporcionada en número de equivalentes por mol, y el disolvente. En este caso, el soluto es la base NaOH y el disolvente es agua destilada. Para calcular la cantidad de sosa a diluir en un litro de disolución, se utilizó la fórmula del número de equivalentes (ecuación 3.8). De la ecuación 3.7 se obtiene que la normalidad (N) de la muestra equivale a

0,1 N por el Reglamento, siendo el volumen de la disolución, es decir, la cantidad de agua destilada, de un litro. Según la ecuación 3.7, el número de equivalentes de soluto es $n_{\text{eq soluto}} = 0,1 \text{ N} \cdot 1 \text{ L} = 0,1$, siendo el número de equivalentes igual a la masa de soluto dividido entre el peso equivalente, y el peso equivalente igual al peso molecular dividido entre la valencia que, en una base, corresponde a la cantidad de hidroxilos o iones OH^- capaces de ser liberados. Así, según la ecuación 3.8, el número de equivalentes es igual al 0,1 proveniente de la ecuación 3.7. En este caso, la valencia es 1 porque la sosa es capaz de liberar solamente un ión OH^- : $\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{OH}^-$; y el peso molecular de la sosa es 40 ($23 \cdot 1 + 16 \cdot 1 + 1 \cdot 1 = 40$). Por tanto se cumple que la masa de sosa necesaria es: $m_{\text{NaOH}} = n_{\text{eq soluto}} \cdot P_{\text{molecular}} / \text{valencia} = 40 \cdot 0,1 / 1 = 4$ gramos de sosa para conseguir una concentración 0,1 N.

$$N = \frac{n_{\text{eq soluto}}}{\text{Volumen disolución (L)}} \quad (3.7)$$

$$n_{\text{eq soluto}} = \frac{m_{\text{soluto}} \cdot \text{valencia}}{P_{\text{molecular}}} \quad (3.8)$$

Una vez preparada la disolución de sosa, se calibra el valorador mediante la obtención de la recta de calibración con soluciones tampón de pH 4 y pH 7, para, seguidamente, comenzar el análisis de la serie de muestras. El valorador es electrónico, y una vez estabilizado el pH inicial se puede realizar la valoración de manera automática presionando un botón y esperando a que el valor final de pH en la muestra llegue a 7. Al finalizar la valoración, el valorador proporciona la cantidad de sosa necesaria para neutralizar los ácidos del mosto. Para obtener la acidez en gramos por litro de cada muestra, hay que aplicar la ecuación 3.9. El volumen de sosa (ml) lo proporciona el valorador después de hacer la valoración; la normalidad de la sosa viene impuesta por el Reglamento de

la UE; el volumen de mosto es 5 ml por muestra; y, el peso equivalente de ácido tartárico se estima a partir de los siguientes cálculos. En el mosto existen tres ácidos: ácido tartárico, ácido málico, y ácido cítrico. El primero de ellos está presente en mayor cantidad que el resto, por tanto, es este ácido el que se utiliza como representativo. El peso equivalente es el peso molecular del ácido tartárico dividido entre su valencia. Al tratarse de un ácido carboxílico, la valencia es el número de grupos carboxilos que es capaz de liberar ese ácido. La fórmula molecular del ácido tartárico es $C_4H_6O_6$, por lo que su peso molecular será $4 \cdot 12 + 6 \cdot 1 + 16 \cdot 6 = 150$ gramos/mol. Este ácido tiene dos protones que pueden liberarse, provenientes de los dos grupos carboxilo HOOC-CHOH-CHOH-COOH, por lo que su peso equivalente es 75 g/eq. De esta forma, introduciendo el volumen de sosa administrado a cada muestra en la ecuación 3.9, se obtiene la acidez en g/l. La acidez de todas las muestras de mosto analizadas se recogen en el Anejo 11.

$$\text{Acidez (g/l)} = \frac{V_{\text{NaOH}} \cdot N_{\text{NaOH}} \cdot P_{\text{Eq Ac. tartárico}}}{V_{\text{mosto}}} \quad (3.9)$$

3.6.3 ANÁLISIS DE SÓLIDOS SOLUBLES TOTALES (SST)

Para calcular los **azúcares totales** o **SST** (sólidos solubles totales) del mosto se utilizó el refractómetro digital de la figura 2.20, que mide el contenido en azúcares en *grados Brix* (porcentaje en peso del azúcar en la disolución). Puesto que la forma más común en Europa de expresar la cantidad de azúcares del mosto es en *grados Baumé*, se llevó a cabo la transformación entre escalas ($\text{Grados Brix} \div 1.8 = \text{Grados Baumé}$) a la hora de construir mapas compatibles con el resto de los mapas representados.

La refractometría consiste en determinar la concentración de azúcares midiendo el índice de refracción de la luz al atravesar una

solución de azúcar en agua. El ángulo de refracción aumenta con la concentración de azúcares en el zumo, siendo la lectura del aparato insensible a la turbidez del líquido. El refractómetro digital utilizado proporciona la concentración de azúcares en grados Brix ($^{\circ}\text{Bx}$), que puede considerarse como un indicador del *potencial alcohólico* al que puede llegar la muestra de mosto, una vez convertido en vino después de la fermentación. El grado Brix se define como el porcentaje de azúcar en peso de una disolución, por lo tanto, 1 $^{\circ}\text{Bx}$ equivale a 10 g/l de azúcares. Además del refractómetro, también se dispuso de un areómetro Baumé, aunque se realizaron menos medidas con este por necesitar al menos 250 ml de mosto, mucho más cantidad que las tres gotas necesarias para obtener una medida en el refractómetro. Puesto que se obtuvo una medida de grados Brix para cada muestra, en principio no era necesario realizar medidas en grados Baumé, al ser ambas escalas proporcionales, pero de manera aleatoria se realizaron medidas con el areómetro a modo de comprobación redundante. Para conseguir volúmenes de 250 ml de mosto, en muchos casos hubo que utilizar racimos de varias muestras situadas en tramos sucesivos. La equivalencia entre grados Brix y grados Baumé se establece en 1.8 grados Brix por cada grado Baumé (Hubble, 2012).

La cantidad de alcohol en un vino es proporcional a la cantidad de azúcar que tienen las bayas (Moreno-Vigara y Peinado-Amores, 2010) y, por tanto, el mosto con el que se elabora ese vino. En consecuencia, el alcohol probable que puede desarrollar un vino una vez ha pasado por el proceso de vinificación se puede calcular a partir del azúcar del mosto, y va en función del rendimiento de las levaduras de fermentación. Según normativa Europea (Hidalgo-Togores, 2006), el valor de transformación es de 16,83 g/l de azúcar por cada grado alcohólico formado. Sin embargo, en las operaciones de remontado durante la elaboración de vinos tintos,

se pierde cierta cantidad de alcohol y el rendimiento es menor, pudiéndose estimar el grado alcohólico mediante la ecuación 3.10 (Hidalgo-Togores, 2006).

$$\text{Alcohol (\% vol)} = \text{Azúcares (g/l)} \cdot 0,058 \quad (3.10)$$

3.6.4 MEDIDAS DE PESO Y DIÁMETRO MEDIOS

Para proporcionar una visión completa de las propiedades claves que determinan la producción de un viñedo, se tomaron medidas del peso y diámetro de las bayas recolectadas en la vendimia por tramos. Para averiguar el peso medio, se tomaron diez bayas de un tamaño representativo de la muestra y se pesaron en una balanza de precisión, como muestra la figura 3.21. El calibre se midió con el pie de rey de la figura 2.18, tomando para ello una de las bayas de tamaño medio. Conocido el diámetro de las bayas, al ser esféricas para la variedad Cabernet-Sauvignon, se puede estimar su volumen con la expresión $V_b = 4/3 \cdot \pi \cdot (D_b/2)^3$, siendo D_b el diámetro de la baya y V_b su volumen. Así, con el peso por baya (calculado como el peso promedio de las diez bayas) y el volumen calculado para cada una de ellas, se puede estimar su densidad. El interés en saber la densidad aproximada de la uva estriba en contrastar algunas afirmaciones teóricas de relevancia para el manejo y la producción vinícola. En este sentido, Hidalgo-Togores (2006) afirma que cuando la vid es sometida a estrés hídrico, las bayas intentan mantener su volumen concentrando así sus propiedades bioquímicas. Sin embargo, si disponen de agua a la demanda, las bayas crecen y sus azúcares se diluyen, modificándose también su acidez, pero manteniendo un peso acorde a su volumen debido a la cantidad de agua absorbida. Es decir, que la densidad no varía aunque sí lo haga la disponibilidad de

agua. Los parámetros bioquímicos de las muestras analizadas se pueden consultar en el Anejo 12.



Figura 3.21. Obtención del peso de una muestra de 10 bayas.

3.6.5 OTROS ÍNDICES DE CALIDAD

Para determinar la *calidad* de la producción de un viñedo, existen dos tipos de índices, los objetivos y los de carácter subjetivo. Evidentemente, los parámetros subjetivos como la calidad organoléptica de un vino no se han considerado en este trabajo porque dependen de los gustos individuales de cada persona. Las variables de tipo objetivo, al contrario, deben ajustarse a normas publicadas, bien adaptadas a las diferentes denominaciones de origen, o bien de ámbito general como las propuestas por la Unión Europea. Este proyecto ha trabajado con aquellos parámetros considerados de elevada importancia y que, además, permitían su cuantificación mediante los recursos disponibles. Sin embargo, han quedado otras variables que aún siendo de importancia, no ha sido posible cuantificar, como por ejemplo la madurez fenólica de la uva. Aunque es posible estimar la madurez fenólica en el laboratorio con un espectrofotómetro midiendo en dos bandas espectrales, la cantidad de muestras necesarias para llevar a cabo un análisis fiable es superior a la que se recolectó en el campo, siendo por tanto inviable su determinación

con las muestras de uva disponibles. Es posible estimar la madurez fenólica en campo y de forma inmediata –aunque manual– mediante el sensor Multiplex (Force-A, Orsay, Francia), que utiliza técnicas de fluorescencia. Ningún dispositivo de este tipo estuvo disponible durante la fase experimental de esta tesis, pero dado su interés, se propone su integración en el sistema propuesto como futura mejora. La madurez fenólica, relacionada con el contenido de antocianos y taninos, se recomienda para establecer el orden de prioridad en la vendimia (Moreno-Vigara y Peinado-Amores, 2010). Los compuestos fenólicos son la clave de la calidad gustativa de los vinos tintos.

3.7 CONSTRUCCIÓN DE MAPAS DE PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

El conjunto de mapas de propiedades físico-químicas de las bayas de uva está constituido por: **azúcares totales en g/l, azúcares en grados Baumé, alcohol probable, pH, acidez probable, peso de diez bayas, diámetro medio y densidad.** Para generar todos estos mapas se creó otro algoritmo en Matlab (Anejo 13) que llevara todos los datos físico-químicos medidos en el laboratorio a unas mallas compatibles con el resto de mapas ya elaborados. La estructura lógica del algoritmo que genera los mapas de propiedades físico-químicas es idéntica a la representada en la figura 3.17, salvo que en lugar de rellenar las celdas con valores de altitud, cada celda lleva asociada la magnitud de la propiedad físico-química representada en el mapa.

3.8 ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y ELABORACIÓN DE MODELOS PREDICTIVOS

Toda la información generada hasta el momento sobre el comportamiento del cultivo se ha expresado en forma de mapas compatibles, como es deseable si queremos que esta información sea manejada eficientemente por operarios no expertos en nuevas

tecnologías. Sin embargo, es importante conocer el grado de certeza alcanzado en las estimaciones representadas en los mapas, ya que según su precisión los agricultores podrán hacer un uso determinado de la información. En concreto, resulta interesante cuantificar numéricamente el grado de correlación existente entre la cantidad de vegetación de las viñas, la dureza del suelo en que estas se desarrollan, la acumulación de agua en ese suelo, y la cantidad y calidad de la cosecha. Es más, estimando en qué medida estos modelos explican la variabilidad existente se podrán llegar a emitir predicciones sobre futura cantidad de uva y calidad del futuro vino semanas antes de la vendimia, información privilegiada que todavía no está al alcance de los viticultores.

El análisis estadístico se llevó a cabo con el programa informático *Statgraphics* (v. XVI Centurion, Statpoint Technologies Inc., Warrenton, VA, EEUU). Las técnicas estadísticas más utilizadas en datos de naturaleza agronómica como los manejados en esta investigación (Guisande et al., 2006; Peña, 2010; Pérez, 2001; García-Pérez, 2008) se basan en *regresiones lineales, no lineales, y múltiples* para cuantificar las relaciones existentes entre las variables estudiadas, siendo el valor del coeficiente R^2 el criterio de selección para el tipo de ajuste a incorporar al modelo. A lo largo del análisis se han considerado regresiones con dos variables, regresiones simples, e incluso regresiones múltiples con más de dos variables. También se han analizado individualmente los datos para tipificar las muestras (poblaciones) e identificar potenciales datos anómalos.

Las gráficas *box-whisker* proporcionan parámetros estadísticos que facilitan el análisis individual de las variables estudiadas, como los valores mínimo y máximo (su diferencia es el rango de valores), los cuartiles inferior y superior (entre ellos se encuentran el 50% de los datos y

gráficamente indican si existe asimetría en los datos o se trata de una distribución normal), la mediana, y valores anómalos o atípicos, si los hubiera. En general, para cada muestreo se han calculado los valores promedio, su desviación estándar, y el coeficiente de variación de Pearson que mide la variación de los datos en relación con su media.

Los modelos de regresión propuestos intentan predecir los valores de una variable dependiente (rendimiento de cosecha o calidad esperable) a partir de variables independientes estimadas en campo como la distribución de vegetación, la compactación del suelo, la acumulación de agua, etc. El valor de R^2 proporciona el porcentaje de variabilidad de la variable a predecir que ha sido explicado por el modelo ajustado; su rango va de 0% a 100%. Se considera que el modelo propuesto es estadísticamente significativo cuando el valor de P (coeficiente de Pearson) en el análisis de varianza es menor de 0,05. Alternativamente, el coeficiente de correlación mide la asociación entre variables y su rango es de -1 (correlación fuerte inversa) hasta +1 (correlación fuerte directa). En el análisis estadístico realizado, también se proporciona el valor del test *Durbin-Watson* (autocorrelación de residuos) y su coeficiente de Pearson, ya que estos valores son importantes para mostrar si los residuos son aleatorios (valores Durbin-Watson cercanos a dos y $P > 0,05$).

Todos los resultados del análisis estadístico, así como los modelos matemáticos desarrollados y la correlación entre las variables estudiadas, se exponen con detalle en el Capítulo 4.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 MAPAS DE PARCELA PARA LAS VARIEDADES DE UVA MOSCATEL Y MALVASÍA (Experimentos efectuados en Turís)

4.1.1 MAPAS DE SUELOS

La tabla 4.1 detalla las condiciones de las pruebas realizadas para obtener los mapas de resistencia del suelo a la penetración, denominados como *mapas de suelos* a lo largo del documento. En ella se muestra cuándo fueron realizadas las pruebas, la localización de las parcelas, la variedad vegetal del viñedo, y el número de medidas (penetraciones) realizadas sobre el suelo de la parcela.

Tabla 4.1. Condiciones experimentales de los mapas de suelos.

FECHA	LOCALIZACIÓN	VARIEDAD VIÑA	MEDIDAS REALIZADAS
Junio 2011	Turís (Valencia)	Moscatel	520
		Malvasía	253

La figura 4.1 se obtiene aplicando el algoritmo del Anejo 4 a los datos muestreados en la parcela de Moscatel (figura 4.1.a) y Malvasía (figura 4.1.b). Las muestras tomadas con el penetrómetro se han numerado por orden cronológico. El muestreo siguió un orden consecutivo de hileras desde un extremo de la parcela al opuesto. Las muestras en la parcela de Moscatel se tomaron cada tres metros, optando por una densidad de muestreo alta para evitar celdas vacías, ya que las calles de esta parcela están muy próximas. En la parcela de Malvasía, por el contrario, se tomaron muestras cada seis metros, apreciándose por tanto más espacio entre puntos. El aumento de la distancia entre puntos para la segunda parcela (Malvasía) lo motivó el hecho de no existir diferencias significativas entre puntos tan cercanos.

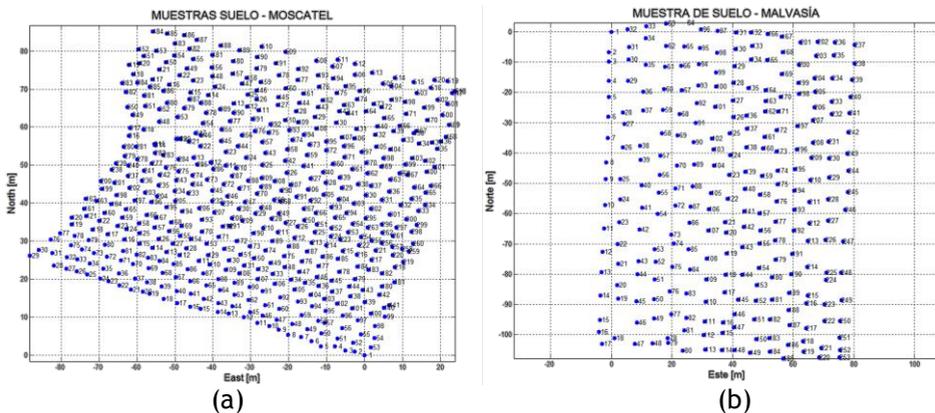


Figura 4.1. Puntos de muestreo para las parcelas Moscatel (a) y Malvasía (b).

Para crear los mapas de suelos (resistencia) de las figuras 4.2 y 4.3, referentes a las parcelas Moscatel y Malvasía, se aplicó el algoritmo del Anejo 5. La figura 4.2a representa la *resistencia media* del suelo a la penetración para la parcela de variedad Moscatel, según la Norma NEN 5140. La figura 4.2b representa la *resistencia máxima* del suelo a la penetración en la misma parcela Moscatel, siguiendo también la normativa holandesa para la realización de las medidas. De manera similar, las figuras 4.3a y 4.3b representan resistencia media y máxima,

respectivamente, en la parcela de la variedad Malvasía. La resolución (lado de celda cuadrada) para el mapa de la parcela de Moscatel es de cinco metros, asegurando así al menos un valor de resistencia en cada celda. Igualmente, para la parcela de Malvasía se tomó un tamaño de celda de siete metros.

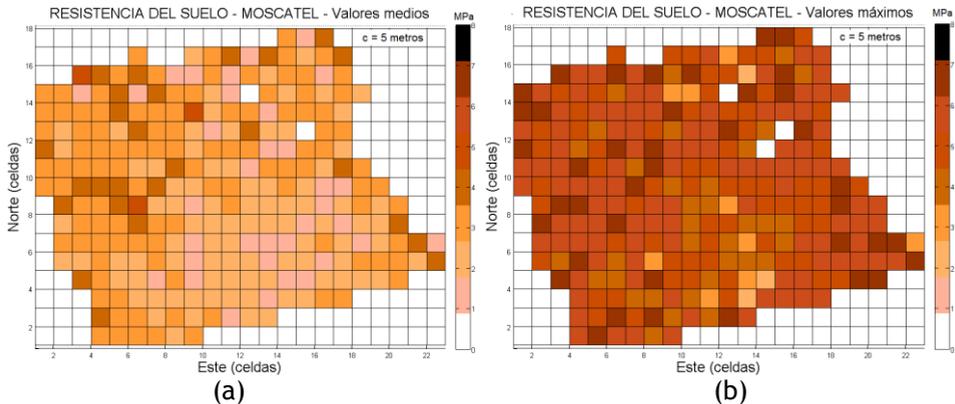


Figura 4.2. Mapa de suelos para la parcela Moscatel: (a) resistencia media (N/mm^2); y (b) resistencia máxima (N/mm^2).

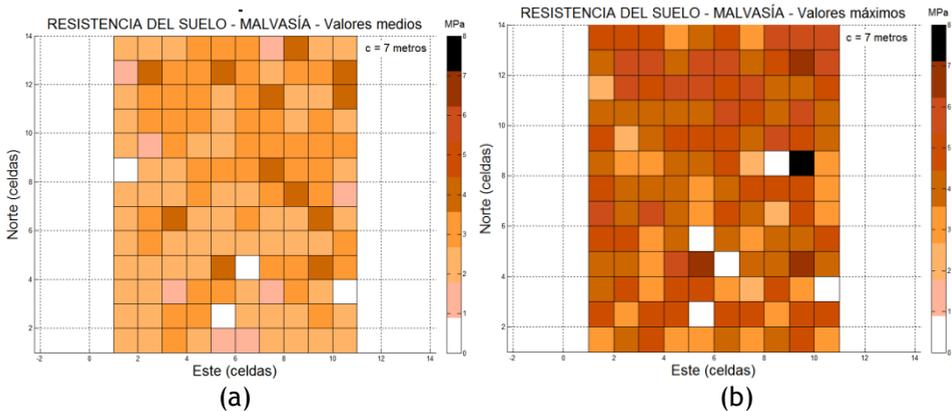


Figura 4.3. Mapa de suelos para la parcela Malvasía: (a) resistencia media (N/mm^2); y (b) resistencia máxima (N/mm^2).

La resistencia de los suelos muestreados demostró una gran variabilidad espacial, lo que resulta muy interesante para su correlación con la variabilidad espacial del desarrollo vegetativo, al depender este del buen desarrollo de las raíces.

4.1.2. MAPAS DE ALTITUD

Otro de los parámetros importantes para el cultivo de la vid es el riego, o de manera más rigurosa, la cantidad de agua acumulada en el suelo y disponible para las plantas. La distribución espacial de agua en la parcela puede enriquecer los modelos predictivos si se relaciona con otras variables fundamentales, por esta razón se ha elaborado un mapa de altitud de la parcela con variedad Moscatel que cuenta con una instalación de riego localizado, y un mapa de altitud para la parcela Malvasía cultivada en condiciones de secano sin ninguna aportación de agua adicional a la lluvia. Las necesidades de agua del cultivo en la parcela con riego localizado se suponen cubiertas; sin embargo, las parcelas sin instalación de riego están solamente expuestas a la cantidad de agua aportada por las lluvias. Los mapas de altitud son interesantes porque muestran zonas bajas de posible acumulación de agua. Con el objetivo de marcar zonas de acumulación, se construyeron los mapas de altitud de la figura 4.4, correspondientes a las parcelas Moscatel (4.4a) y Malvasía (4.4b).

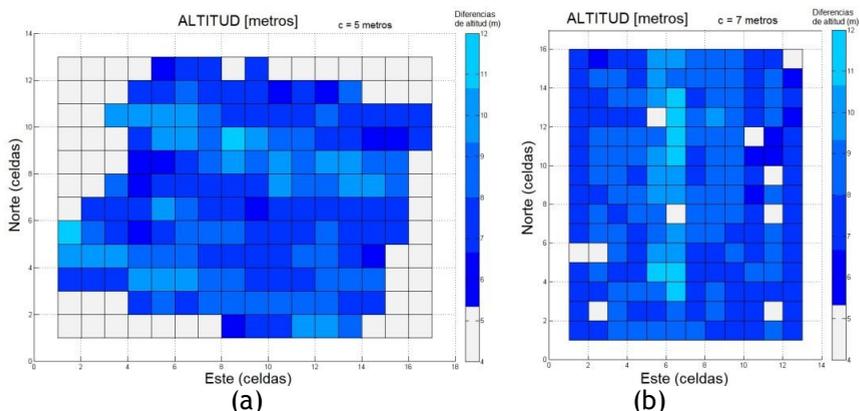


Figura 4.4. Mapas de altitud de las parcelas Moscatel (a) y Malvasía (b).

4.1.3. MAPAS DE VEGETACIÓN

Debido a dificultades técnicas en la coordinación de los sistemas de localización y percepción, sólo se pudo conseguir una parte del mapa de vegetación de la parcela Malvasía. Este mapa no se ha considerado en el desarrollo de los modelos por no ser suficientemente representativo, y por lo tanto no forma parte del análisis comparativo de mapas y variables.

4.2 MAPAS DE PARCELA PARA LA VARIEDAD CABERNET-SAUVIGNON

4.2.1 MAPAS DE VEGETACIÓN

La tabla 4.2 detalla el número de pruebas de campo realizadas para determinar las condiciones óptimas del sistema de percepción, en cuanto a lentes y filtros, a la hora de cuantificar variaciones del porcentaje de vegetación.

Tabla 4.2. Pruebas de configuración para realizar los mapas de vigor.

LOCALIZACIÓN			VARIEDAD VIÑA			IMÁGENES TOTALES			
Requena (Valencia)			Cabernet-Sauvignon			52.500			
FILTRO	UV	UV+NIR	NIR	NIR	NIR	ROJO	VERDE	AZUL	PRUEBAS
LENTE	340	324 y 720 nm	800 nm	880 nm	750 nm	761 nm	550 nm	450 nm	TOTALES
6 mm	5	1	3	3	3	5	3	3	26
8 mm	11	3	23	30	2	16	5	4	94
12 mm	2	1	18	30	3	8	3	2	67
16 mm	2	1	3	3	0	1	1	0	11
25 mm	5	0	3	7	0	0	0	0	15
TOTAL	25	6	50	73	8	30	12	9	426

◆ SELECCIÓN DE FILTROS Y LENTES

Antes de aplicar la metodología descrita en el capítulo 3 para la creación de mapas de vegetación, debe verificarse la información contenida en las celdas de esos mapas. En términos generales, no es suficiente con la adquisición de imágenes y sus correspondientes

coordinadas, sino que es necesario comprobar para cada combinación de filtro y lente, los resultados de la segmentación efectuada por el algoritmo, así como la idoneidad del campo de visión cubierto por la cámara.

La figura 4.5 muestra cuatro imágenes obtenidas con diferentes distancias focales de la lente. El objeto de interés en las imágenes es la vegetación de la vid, y por lo tanto las lentes más adecuadas serán las que mejor capten las viñas evitando el mayor número de elementos no relevantes. Esto implica que la mayor parte de la imagen debe ser vegetación, evitando que ésta quede fuera del campo de visión de la cámara. Por esta razón, la lente con distancia focal de 25 mm resultó la menos indicada porque gran parte de la vegetación queda fuera de la imagen, oponiéndose a los objetivos de este trabajo. En la imagen obtenida con la lente de 6 mm se puede apreciar un oscurecimiento en las esquinas (*viñeteado*) en forma de círculo debido al filtro utilizado, que no es el más apropiado para esta lente. A priori, las imágenes de 8 mm y 12 mm de distancia focal son ambas válidas para percibir la vegetación de la vid; la elección final dependerá de las condiciones específicas de la viña en cada parcela y del vehículo utilizado. En las condiciones de las parcelas utilizadas, la lente de 8 mm captó toda la vegetación dentro de su campo de visión, aunque en ciertas ocasiones incluyó parte del vehículo, confundiendo los niveles de gris del vehículo y la vegetación. El porcentaje de error introducido por el vehículo se estimó en un máximo del 18% con la lente de 8 mm y el filtro rojo, ya que los píxeles de la sombra del tractor y la rueda son oscuros, al igual que la vegetación percibida a través del filtro rojo que bloquea el verde de la vegetación. Con el filtro NIR, por el contrario, la tasa de error fue inferior al 1%, ya que sólo la llanta de la rueda tiene niveles de gris parecidos a la vegetación (esta vez muy claros) y, en las imágenes, solamente se aprecia

una parte de la llanta. Sin embargo, el mayor problema encontrado con el filtro NIR fue la alta reflectancia de los suelos arcillosos de alguna de las parcelas utilizadas. El error, además, dependió de las condiciones ambientales, ya que para días soleados la reflectancia del suelo con el filtro NIR fue notablemente mayor. Los porcentajes de error se han calculado examinando imágenes incorrectamente segmentadas y contando el número de píxeles mal clasificados con respecto del total. La lente de 12 mm de distancia focal, por el contrario, no solapa los píxeles de la vegetación con los del vehículo debido a la mayor estrechez de su campo de visión, aunque en ocasiones puede dejar parte de la vegetación fuera de la imagen cuando ésta es exuberante, lo que se observó en zonas de altitudes bajas de las parcelas de Requena, donde suele haber mayor acumulación de agua en el suelo. Como es lógico, con la lente de 12 mm se registraron valores del 100% de vegetación en mayor medida que con la lente de 8 mm, al incluir esta última más cantidad de suelo mientras que la primera llenó muchas veces el campo de visión con vegetación. Este fenómeno indica que el valor del porcentaje de vegetación es relativo y su interpretación depende de la arquitectura utilizada, lo que hay que tener siempre en cuenta cuando se relacione el porcentaje de vegetación con la producción. En consecuencia, siempre debe existir un modelo predictivo para cada arquitectura de sistema, siendo sus parámetros fundamentales la posición de la cámara, el filtro utilizado, la lente montada, y la distancia entre la cámara y la vegetación. La acumulación de pruebas y experimentos llevará a la búsqueda de la arquitectura óptima para predecir los parámetros básicos buscados por viticultores y enólogos. Además, es posible que no haya una única arquitectura óptima, y que en consecuencia diversas situaciones de campo lleven a recomendar sistemas ensamblados de manera diferente.

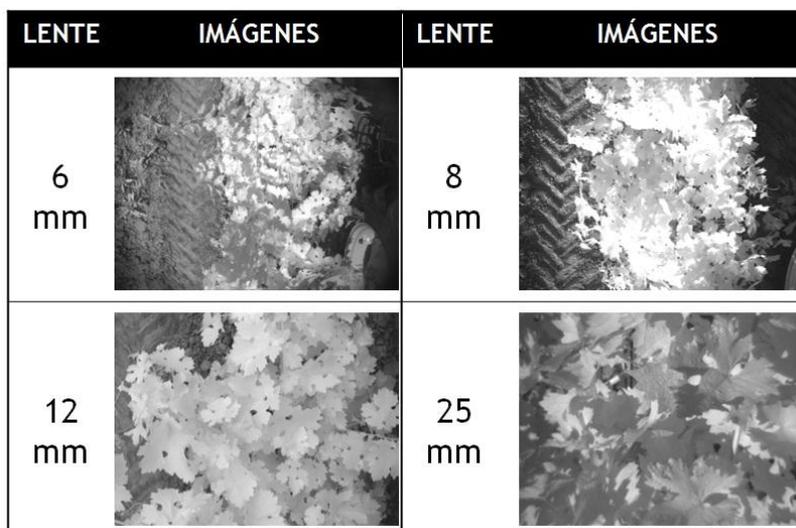


Figura 4.5. Imágenes obtenidas con lentes de 6 mm, 8 mm, 12 mm ó 25 mm de distancia focal.

La tabla 4.3 muestra el campo de visión real de las lentes de distancia focal 6 mm, 8 mm, y 12 mm, medido como un plano perpendicular al sensor óptico, cuando las imágenes son tomadas a una distancia de 1.100 mm entre la cámara monocular utilizada en las pruebas y la vegetación.

Tabla 4.3. Campo de visión de las lentes de 6 mm, 8 mm, y 12 mm.

Distancia a la vegetación: 1,10 metros			
LENTE	6 mm	8 mm	12 mm
Imagen tomada			
Ancho (Píxeles)	696		
Alto (Píxeles)	520		
Imagen real (Vegetación)			
Ancho (cm)	117	96	63
Alto (cm)	88	72	47

Una vez estudiados diferentes tipos de lentes, y seleccionado el campo de visión más apropiado para esta aplicación, el siguiente paso consiste en analizar los resultados de la segmentación dinámica, realizada

de manera automatizada con el programa de la cámara (Anejo 6) que implementa los algoritmos desarrollados y explicados en la metodología.

◆ ANÁLISIS DE LA SEGMENTACIÓN DINÁMICA

El primer factor a tener en cuenta es que la segmentación resultante depende del tipo de filtro utilizado. Según ha quedado demostrado en multitud de trabajos anteriores, la vegetación aumenta su reflectancia de manera extraordinaria en la banda infrarroja del espectro electromagnético. La figura 4.6 muestra la reflectancia de la vid en la variedad Cabernet-Sauvignon según el contenido en nitrógeno de las hojas; la línea azul recoge el grupo de plantas cuyo contenido en nitrógeno de las hojas es mayor del 1,9%, mientras que la línea roja pertenece al grupo de plantas cuyo contenido en nitrógeno es menor del 1,6% (Brown et al., 2004). El recuadro superpuesto al perfil de reflectancia delimita las bandas espectrales del conjunto de filtros infrarrojos empleados en este trabajo, coincidente con la zona de mayor respuesta de la vegetación de la vid.

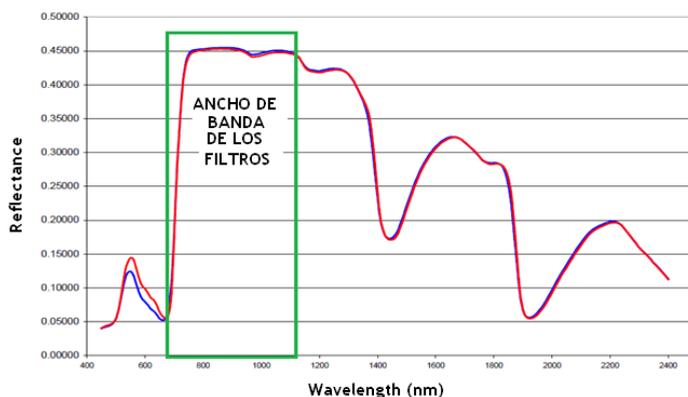


Figura 4.6. Reflectancia para la vid Cabernet-Sauvignon (Brown et al., 2004).

A pesar de la respuesta tan favorable de la vegetación en el espectro infrarrojo, es necesario llevar a cabo multitud de pruebas y experimentos, no siempre sencillos, para llegar a diseñar un sistema

automático de cuantificación de vigor y en última instancia de predicción de cosecha. En concreto, para este proyecto se probaron en campo los ocho filtros especificados en el apartado 2.1.2 y, seguidamente, se efectuó un análisis de las imágenes segmentadas. Este análisis determinó qué tipo de imágenes eran válidas para construir los mapas de parcela, y qué combinaciones de lentes y filtros llevaban a mayores probabilidades de segmentaciones defectuosas. Al disponer de datos GPS asociados a imágenes ya procesadas por el algoritmo, el mapa de vegetación se construyó mediante el programa del Anejo 7. Sin embargo, antes de ensamblar los mapas fue necesario comprobar que las segmentaciones eran correctas y las coordenadas suficientemente precisas. La figura 4.7a muestra una imagen cenital típica de una vid a través de un filtro infrarrojo. En lo sucesivo, todos los filtros empleados en esta investigación cuyo centro de banda se sitúa dentro de la franja infrarroja, serán designados de manera genérica como filtros infrarrojos o filtros NIR, sin especificar entre los filtros centrados en 750 nm, 800 nm y 880 nm, ya que los resultados de la segmentación dinámica son similares para los tres casos. La figura 4.7b muestra la segmentación de la imagen original (figura 4.7a) efectuada por el algoritmo propuesto. El filtro NIR provoca, ya en la imagen original, un acusado desequilibrio en los niveles de gris que favorece la segmentación. En esta imagen (4.7a), los elementos que no son vegetación, como el suelo o el soporte metálico situado en la parte superior derecha de la imagen, aparecen con un nivel de gris más bajo que el nivel promedio de la vegetación. La segmentación automática ejecutada por el algoritmo transforma en nivel de gris cero (negro) todo lo etiquetado como no vegetación, dejando con su nivel de gris original lo que es considerado como vegetación sana por el algoritmo.

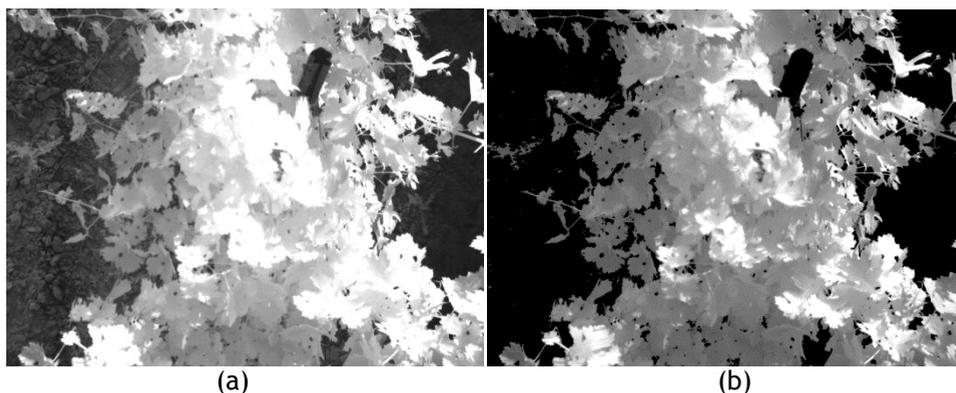


Figura 4.7. Imagen original con filtro NIR (a) y su correspondiente imagen segmentada por el algoritmo propuesto (b).

El filtro NIR, como ya se ha adelantado antes, no resuelve todos los casos que se presentan en el campo desde el amanecer hasta el ocaso. La figura 4.8 proporciona dos imágenes segmentadas, una de ellas tomada bajo un sol intenso y vertical (4.8a), y la otra tomada con el sol tamizado por el paso de una nube (4.8b). La imagen de la figura 4.8a corresponde a un día claro por la mañana en la que el tractor se desplazó desde el oeste hacia el este, quedando el sol de frente y ligeramente desplazado hacia la derecha del conductor debido a la orientación de la parcela. Ésto explica que la imagen 4.8a esté perfectamente segmentada en su parte derecha ya que la sombra arrojada por el vehículo queda a la derecha de la hilera de plantas, pero por el contrario, el suelo que aparece a la izquierda de la imagen es muy claro, y al incidir un sol muy fuerte sobre él, su reflectancia alcanza valores similares a los de la vegetación, discriminando defectuosamente la planta del resto de objetos en la imagen. La figura 4.8b evita el efecto de un sol directo y, por tanto, lleva a imágenes mejor equilibradas donde el filtro NIR puede potenciar la reflectancia de la vegetación. El problema de la mala segmentación con filtros NIR no radica en la presencia del sol, que es lo habitual en el campo, sino el efecto del sol vertical sobre suelos arcillosos que amplifican la reflectancia del suelo. Por lo tanto, las mejoras que hay que

introducir para mejorar la segmentación en estas condiciones van a ir encaminadas a un mejor filtrado para suelos claros. Con cielos nubosos o con una ligera neblina, la segmentación con los filtros NIR fue correcta para cualquier tipo de suelo, segmentando incluso los hilos metálicos del sistema de espaldera, como se puede apreciar en la imagen 4.8b.

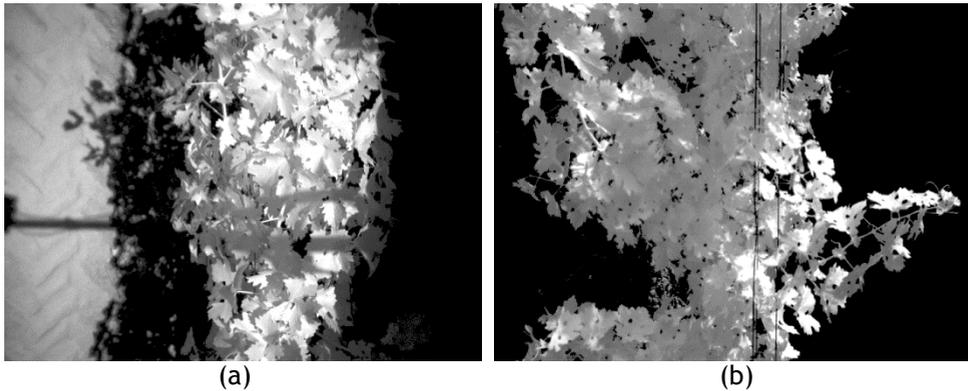


Figura 4.8. Imágenes con filtro NIR: incorrectamente (a) y correctamente segmentadas (b).

En el afán de solucionar el conflicto entre sol vertical y suelos claros, se repitieron los experimentos con los demás filtros de la colección adquirida para esta investigación. El objetivo de implementar un filtro verde fue mejorar la discriminación del suelo con respecto a la vegetación, ya que ésta es verde y el suelo ocre-amarillento. Estas previsiones iniciales funcionaron en algunos casos. Con días soleados (figura 4.9a), el contraste entre vegetación y suelo es adecuado para poder aislar la vegetación, advirtiendo que la vegetación a través del filtro verde es más oscura que el suelo, debido sorprendentemente a que la componente en la banda verde reflejada del suelo y no bloqueada por el filtro es mayor que la de la vegetación. La figura 4.9b, resultado de aplicar el algoritmo, está correctamente segmentada, marcando el suelo con color negro y dejando la vegetación en su nivel de gris original. Sin embargo, la figura 4.10a muestra una imagen tomada con el filtro verde

en un día no soleado y de baja luminosidad. La imagen segmentada de la figura 4.10b indica que la segmentación no es correcta, ya que no elimina la totalidad del suelo capturado por la imagen.



Figura 4.9. Imagen original (a) tomada con filtro verde en día soleado y su correspondiente imagen segmentada (b).

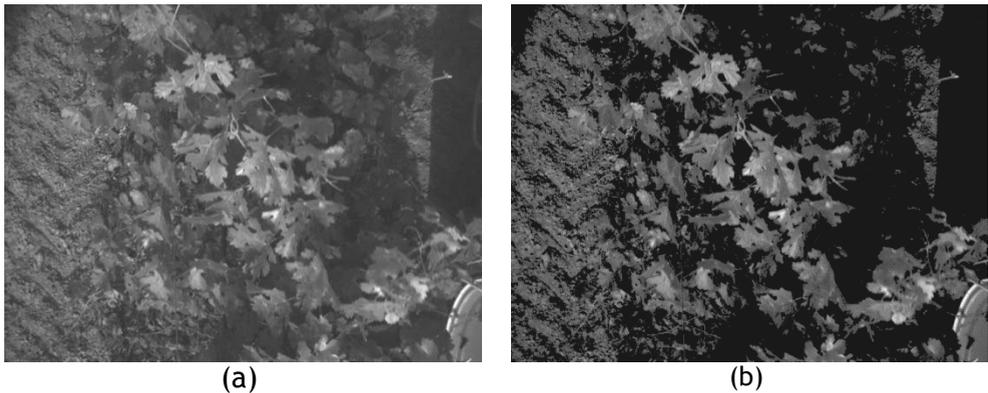


Figura 4.10. Imagen original (a) tomada con filtro verde en día nublado y su correspondiente imagen segmentada (b).

Los filtros ultravioleta y azul no contribuyeron a mejorar la segmentación con suelos claros. La figura 4.11 muestra dos imágenes ya segmentadas por el algoritmo; la figura 4.11a corresponde a una imagen tomada con el filtro azul y la figura 4.11b equivale a otra imagen, también segmentada, cuya imagen original se visualiza a través del filtro ultravioleta. En ambas, la segmentación automática es incorrecta por no separar con eficacia la vegetación de los demás elementos que aparecen

en la imagen. Estos dos filtros, ubicados en el extremo izquierdo del espectro electromagnético, produjeron series con una proporción de imágenes erróneas inadmisibles para la confección de mapas de vegetación.

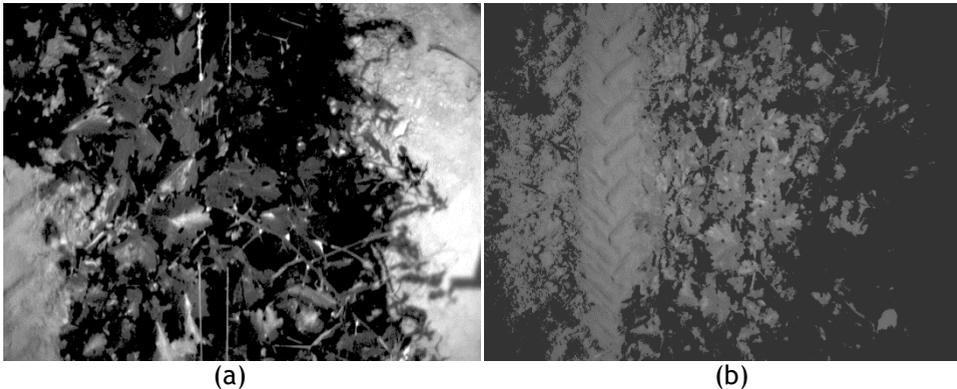
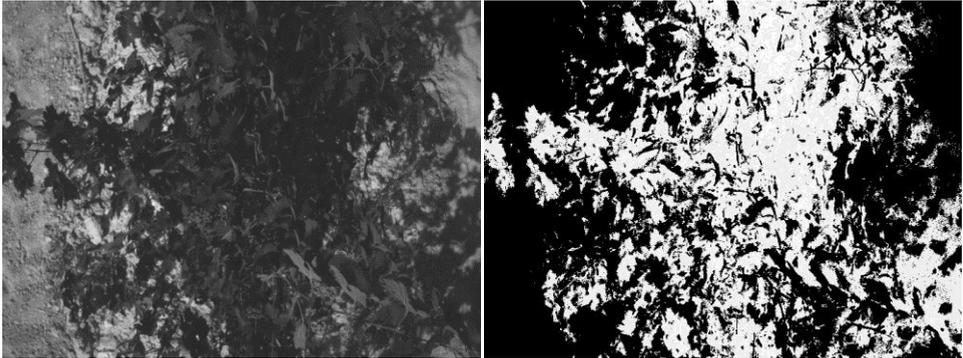


Figura 4.11. Imagen segmentada tomada con el filtro azul (a), e imagen segmentada tomada con el filtro ultravioleta (b).

El filtro rojo también produjo una segmentación correcta, aunque a la inversa de cómo estaba preparado el algoritmo, ya que la vegetación aparece más oscura que el suelo por bloquear el filtro rojo la reflectancia en el verde. Esta inversión introdujo la modificación del programa original para adaptarlo al funcionamiento del filtro rojo y hacer los cálculos a la inversa. La pantalla gráfica de control del algoritmo se amplió para incluir una opción de trabajo con el filtro rojo. La diferencia observada al comparar el filtro rojo con el verde es que la vegetación se percibe bastante más oscura con el filtro rojo, produciendo un mayor contraste con el suelo en la mayoría de las imágenes. En condiciones de día nublado, con el filtro rojo se han obtenido imágenes como las de la figura 4.12, en las que el suelo aparece más claro que la vegetación, y ésta con un nivel de gris bastante bajo debido al fuerte bloqueo de los tonos verdes al pasar por el filtro rojo.

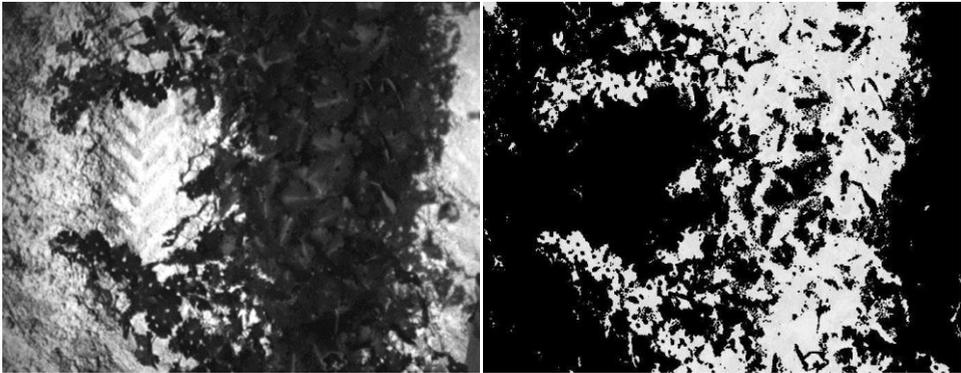


(a)

(b)

Figura 4.12. Imagen con filtro rojo en día nublado (a) y su correspondiente imagen segmentada (b).

En condiciones de día soleado, el filtro rojo también acondicionó las imágenes para una segmentación favorable. La figura 4.13 muestra dos imágenes, la original (4.13a) tomada con el filtro rojo en un día soleado, y su correspondiente imagen segmentada (4.13b). La segmentación automática realizada por el algoritmo resultó correcta para este tipo de imágenes, dejando la vegetación con su nivel de gris original y marcando el suelo con un nivel de gris igual a cero.



(a)

(b)

Figura 4.13. Imagen original tomada con filtro rojo en día soleado (a), y su correspondiente imagen segmentada (b).

Volviendo de nuevo a la discusión sobre la idoneidad del campo de visión, específicamente los campos obtenidos con la lente de 8 mm de distancia focal o la lente de 12 mm, la figura 4.14 muestra dos imágenes

diferentes según la lente montada en la cámara. La imagen 4.14a muestra la rueda del tractor dentro del campo de visión, así como su sombra, provocando ésta un error de segmentación al contabilizar el algoritmo los píxeles oscuros de la sombra como si fueran vegetación. Sin embargo, con la lente de 12 mm, tal como demuestra la figura 4.14b, no se produce este error por no aparecer el tractor en la imagen. En contrapartida, es posible que en viñas con vegetación frondosa, el campo de visión no capture la planta en su totalidad.

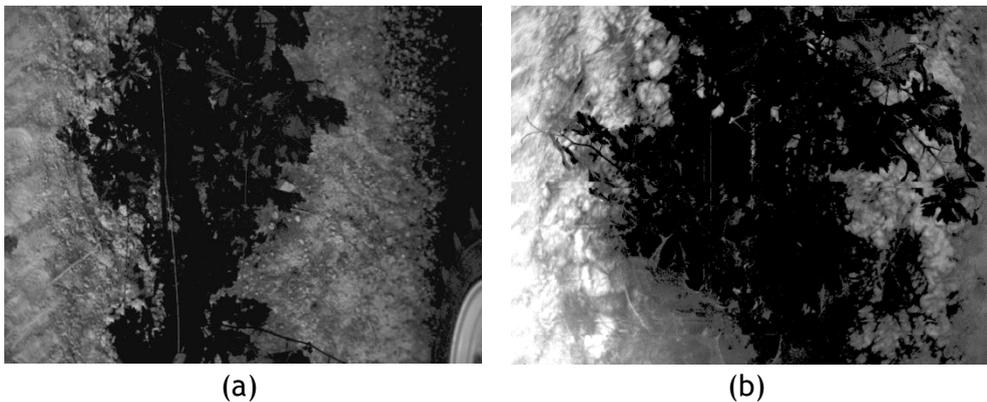


Figura 4.14. Imágenes segmentadas con filtro rojo y lente de 8 mm (a) y de 12 mm (b).

Una vez establecida la arquitectura de trabajo, principalmente el tipo de lente, el filtro, y la posición y orientación de la cámara, el vehículo está preparado para acometer la adquisición de la información que constituye los mapas de vegetación. La figura 4.15 es el mapa de vegetación o vigor obtenido con la lente de 8 mm y un filtro NIR. Debido a la alta reflectancia del suelo con sol de frente, algunas imágenes tomadas en dirección hacia el sol no fueron correctamente segmentadas, y en ellas, parte del suelo fue contado como vegetación. Estas imágenes fueron corregidas posteriormente en el laboratorio e integradas de nuevo en el mapa de vegetación, cuya representación se muestra en la figura 4.16.

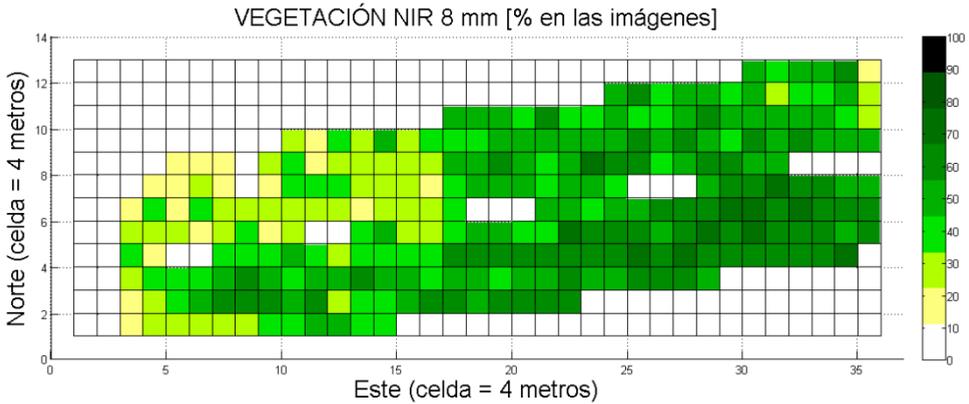


Figura 4.15. Mapa de vegetación sin corregir el efecto del suelo con lente de 8 mm y filtro NIR.

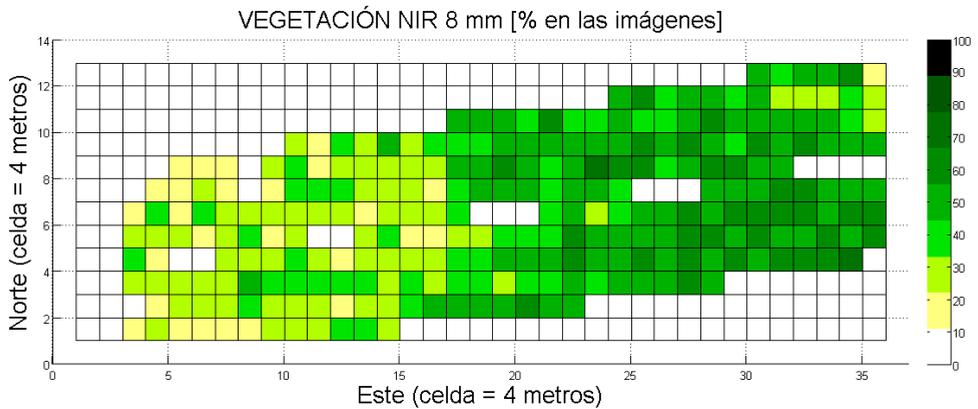


Figura 4.16. Mapa de vegetación corregido para la lente de 8 mm y filtro NIR.

La figura 4.17 muestra el mapa de vigor resultante de las pruebas realizadas con la lente de 12 mm y el filtro rojo. A simple vista, si comparamos el mapa de vigor de la figura 4.16 con el de la figura 4.17, se observa que la tendencia a marcar viñas más frondosas en el este se mantiene, aunque el mapa de la figura 4.17 indica unos porcentajes de vegetación más altos en general. Ésto es lógico porque es más fácil llenar una imagen de vegetación con un campo de visión de 12 mm que con uno de 8 mm que siempre incluirá mayor porción de suelo, sobre todo si la vegetación es tupida. Las imágenes totalmente cubiertas de vegetación en la práctica se traducen en celdas con porcentajes cercanos al 100% de

vigor. La diferencia media entre porcentajes de vegetación estimados con la lente de 8 mm y la de 12 mm es menor de un 10%, siendo, como es lógico, mayores los porcentajes en las celdas del mapa de 12 mm. Aunque hay zonas donde la disparidad puede llegar hasta el 40%, las diferencias más comunes se registraron en el intervalo comprendido entre el 10% y el 20% de cantidad de vegetación. Por otra parte, el filtro rojo funcionó eficazmente en las condiciones de las pruebas con independencia de la posición del sol y tipo de suelo, proporcionando unos resultados consistentes con los otros mapas de vegetación, que claramente indican que la mitad este tiene mayor vegetación que la mitad oeste.

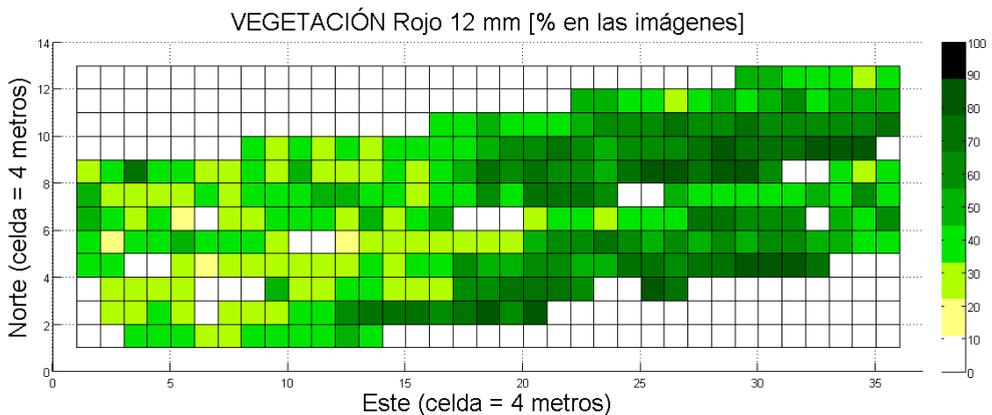


Figura 4.17. Mapa de vegetación con lente de distancia focal 12 mm y filtro rojo.

4.2.2 MAPAS DE RENDIMIENTO O PRODUCCIÓN

La tabla 4.4 detalla las condiciones de las pruebas de donde se obtiene el mapa de rendimiento. En general se tomó una medida (pesaje) por cada celda. Durante la campaña de 2011 se tomaron 113 muestras a lo largo de cuatro filas, mientras que durante la vendimia de 2012 se tomaron 264 muestras repartidas en diez filas.

Tabla 4.4. Condiciones experimentales del mapa de rendimiento.

FECHA		LOCALIZACIÓN	VARIEDAD VIÑA	MUESTRAS TOMADAS
MES	AÑO			
Septiembre	2011	Requena	Cabernet-Sauvignon	113
	2012			264

La figura 4.18a representa el mapa de rendimiento para las cuatro filas cosechadas en la campaña de 2011, mientras que la figura 4.18b muestra el mapa de rendimientos obtenido para la campaña de 2012 con las diez filas completas. En los mapas se aprecia una mayor producción desde la mitad de la parcela hacia el este; por el contrario, la parte más al oeste se caracterizó por tener una producción menor en términos generales.

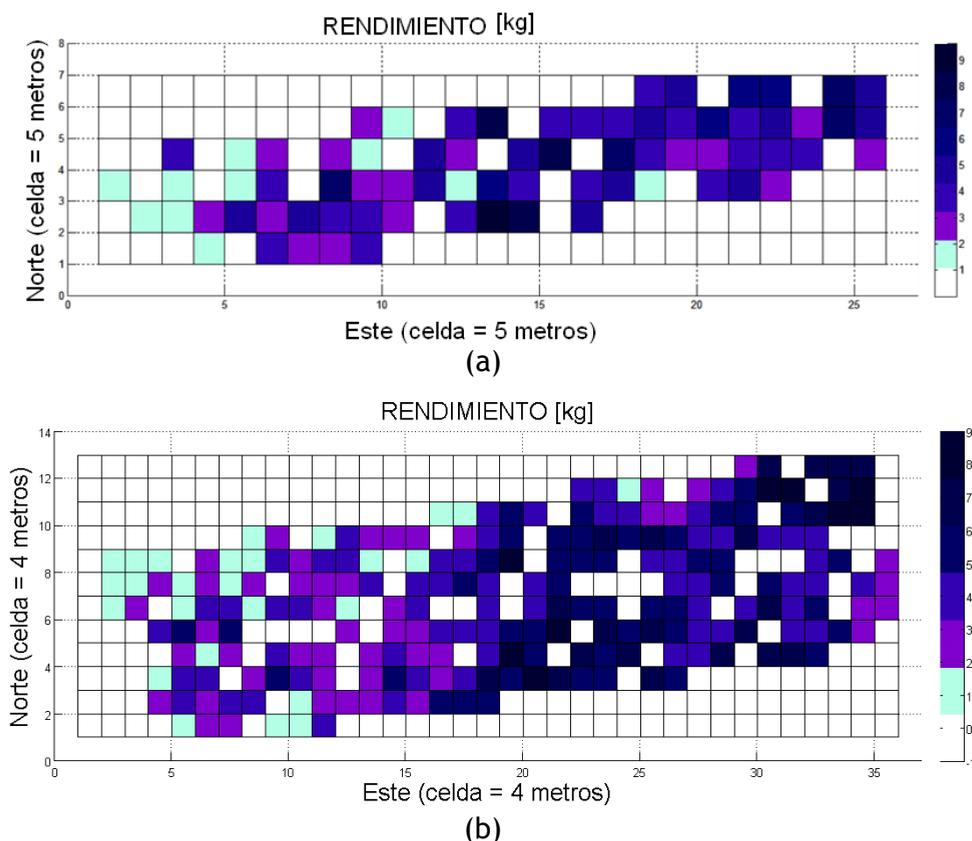


Figura 4.18. Mapa de rendimiento para las campañas de 2011 (a) y 2012 (b).

4.2.3 MAPAS DE ALTITUD Y DESNIVEL

El mapa de altitud de la parcela se representa en la figura 4.19. Durante la fase experimental de esta investigación, se representaron varios mapas de altitud generados a lo largo de diversas pruebas con el objetivo de comprobar la fiabilidad de los receptores GPS. En todos los casos se obtuvo un resultado muy similar. La zona de menor altitud, o zona más baja de la parcela, posibilita una mayor acumulación de agua, representada por un color azul más oscuro que indica esa mayor acumulación. Por el contrario, la zona más alta representada por azul más claro retiene menos agua, y en consecuencia cabe esperar un menor desarrollo vegetativo de la vid. La parte más alta de la parcela se sitúa al oeste (parte izquierda de la figura 4.19), quedando la parte más honda situada al este de la parcela. Los valores de altitud registrados por el receptor GPS se aprecian en la leyenda situada a la derecha del mapa de altitud, con un rango que abarca desde los 643 metros hasta los 647 metros de altura sobre el nivel del mar, equivalente a una pendiente media del 3.1%.

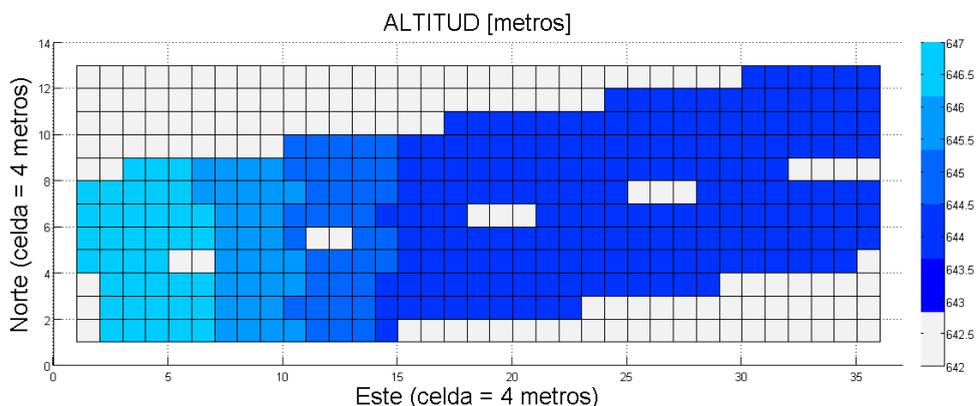


Figura 4.19. Mapa de altitud para la parcela de Cabernet-Sauvignon.

4.2.4 MAPAS DE PROPIEDADES FÍSICAS DE LA UVA

Una vez el grano de uva alcanza la madurez fisiológica, es decir, cuando éste está perfectamente formado, la pulpa va acumulando más cantidad de azúcares al tiempo que la acidez va disminuyendo (Moreno-Vigara y Peinado-Amores, 2010). Para determinar el mejor momento de la vendimia o recolección de las uvas, tradicionalmente se han ido tomando muestras de bayas en el campo de manera regular para su posterior análisis. Al analizarlas, cuando los resultados señalan que el contenido en azúcares y acidez es el apropiado, se lleva a cabo la recolección de la uva. Según Moreno-Vigara y Peinado-Amores (2010), los azúcares presentes en el mosto de la uva madura van desde los 140 g/l hasta los 250 g/l (superando este valor hasta los 300g/l en uvas pasificadas para vinos muy alcohólicos). Según los valores de azúcar del mapa de la figura 4.20 obtenidos para la cosecha de 2012, se trata de una uva con alta cantidad de azúcares, que a su vez lleva a un vino con alto contenido en alcohol, ya que azúcar y alcohol probable en vino son proporcionales (Rius, 2005). Concretamente, y tal como indica el mapa de alcohol probable de la figura 4.22, si la uva muestreada se hubiera vinificado con normalidad, el vino resultante podría haber tenido 14 ó 15 grados. El mapa de la figura 4.21, se ha construido por conveniencia y estandarización, al representar una magnitud muy usada en la industria vitícola, ya que es común dar los valores de azúcar del mosto en grados Baumé [°Be] (Rius, 2005). No obstante, los grados Baumé son proporcionales a la cantidad de azúcares totales del mapa de la figura 4.20, y por lo tanto la información contenida en ambos mapas es exactamente la misma.

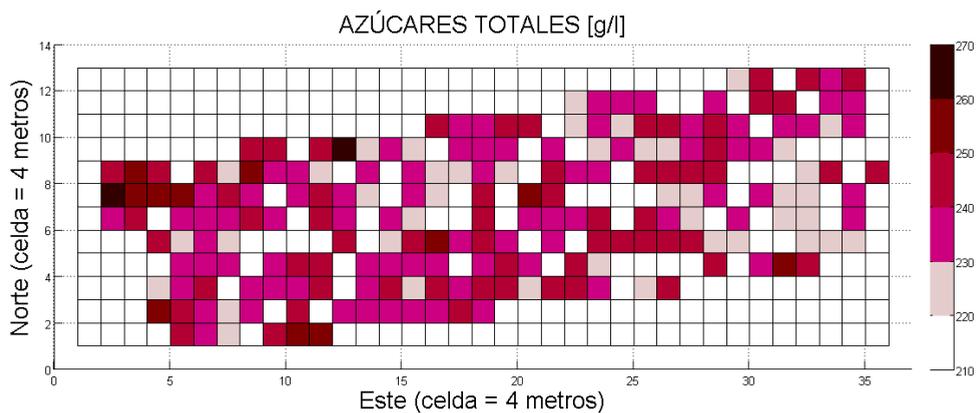


Figura 4.20. Mapa de azúcares totales (g/l) de la parcela de Cabernet-Sauvignon.

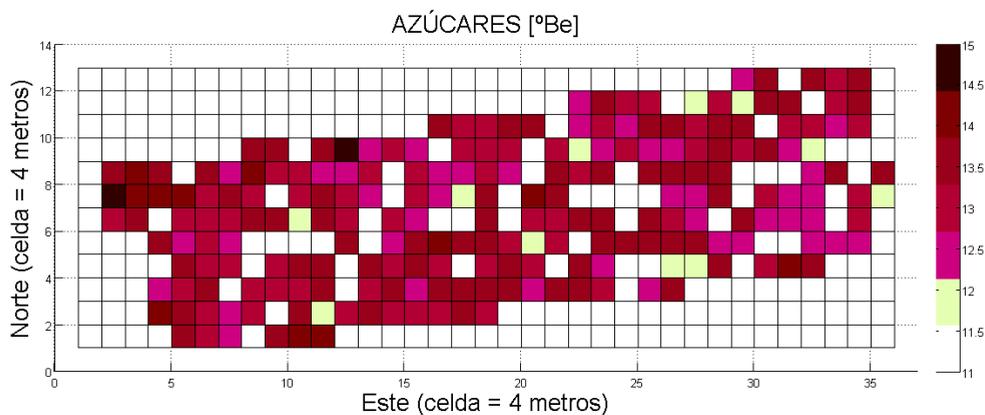


Figura 4.21. Mapa de azúcares totales (°Be) de la parcela de Cabernet-Sauvignon.

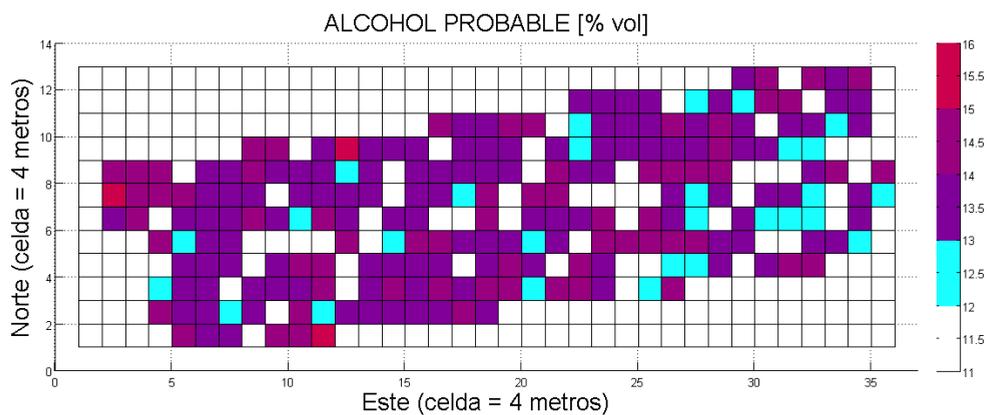


Figura 4.22. Mapa de alcohol probable (% vol) de la parcela de Cabernet-Sauvignon.

El valor de pH medio para la variedad Cabernet-Sauvignon se cifra en un rango de 2,5 a 4. Según la figura 4.23, los valores más repetidos de PH están en torno al valor de 3,5 en la zona oeste, y de 2,5 a 3 en la zona este. La acidez (mapa de la figura 4.24) también se sitúa, mayoritariamente, dentro de los valores normales (Moreno-Vigara y Peinado-Amores, 2010), que van desde los 6 g/l hasta los 14 g/l. Los valores de pH y acidez probable son proporcionales. Aunque los valores registrados entran dentro de la normalidad, como cabría esperar, resulta muy interesante constatar que en todas las variables estudiadas existe una variabilidad espacial, lo que va a permitir establecer relaciones causa-efecto y en última instancia correlaciones estadísticas.

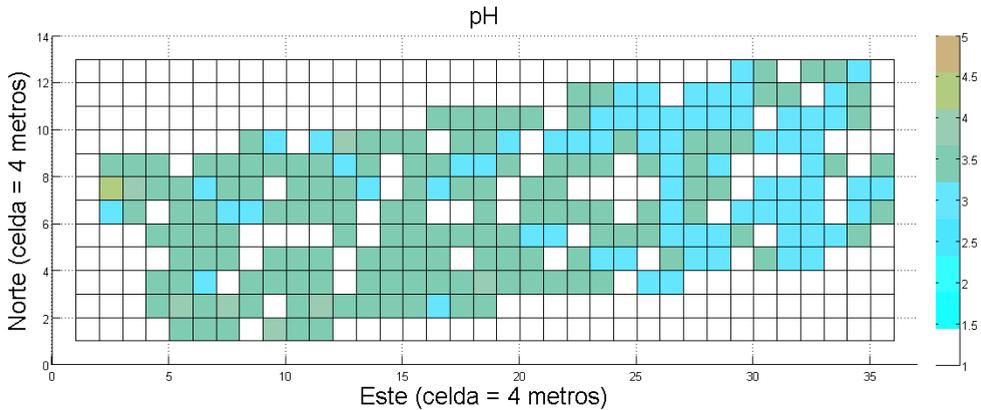


Figura 4.23. Mapa de pH para la parcela de Cabernet-Sauvignon.

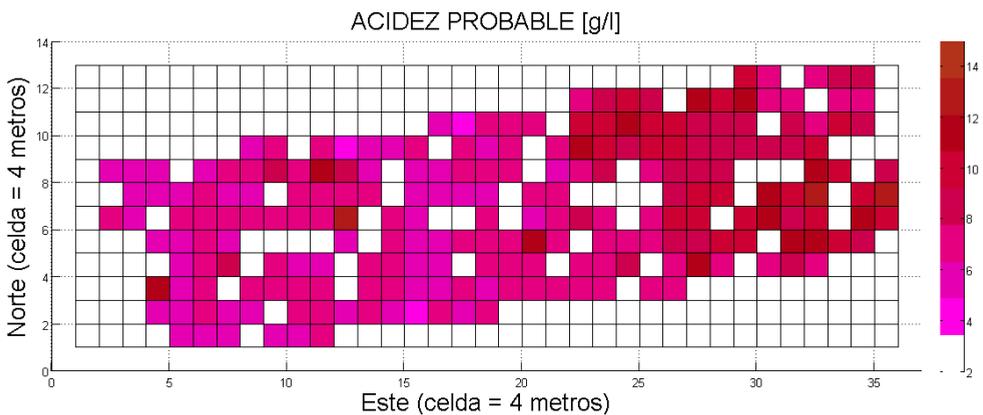


Figura 4.24. Mapa de acidez total (g/l) para la parcela de Cabernet-Sauvignon.

La figura 4.25 muestra el mapa de peso de bayas contando el raspón. El raspón o escobajo representa del 5% al 7% del peso del racimo de uva madura. Si se consideran los valores absolutos del peso de las bayas habría que tener este hecho en cuenta, pero si se pretende cuantificar diferencias relativas, los incrementos o decrementos en peso son constantes. La zona oeste de la parcela indica una mayor acumulación de bayas con menor peso; sin embargo, en las zonas este y centro abundan las celdas señaladas con bayas de mayor peso. El mapa de diámetros medios de la figura 4.26 parece seguir una distribución similar, donde las bayas más grandes, o de mayor diámetro, se concentran en el este y centro de la parcela, mientras que las bayas más pequeñas quedan ubicadas en el oeste. La relación entre masa de baya y volumen (diámetro) da lugar al mapa de densidad de la figura 4.27, en el que se observa que no hay una dominancia de mayores o menores densidades, lo que indica una distribución uniforme de la variabilidad.

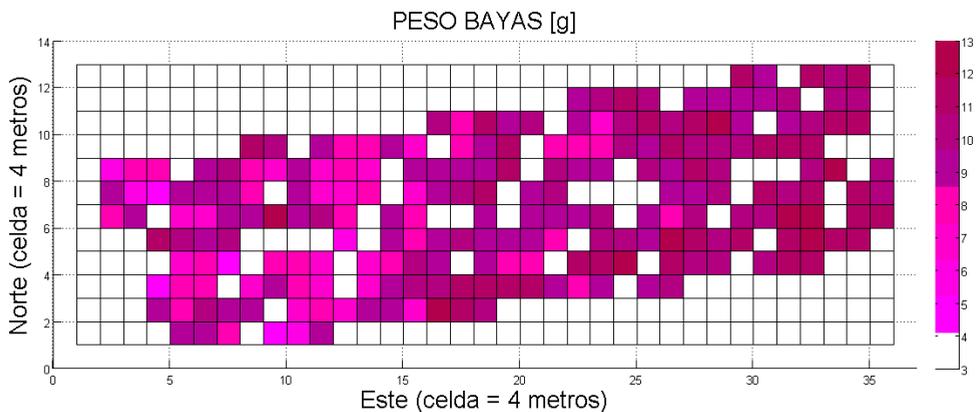


Figura 4.25. Mapa de pesos de diez bayas de uva (g) para la parcela de Cabernet-Sauvignon.

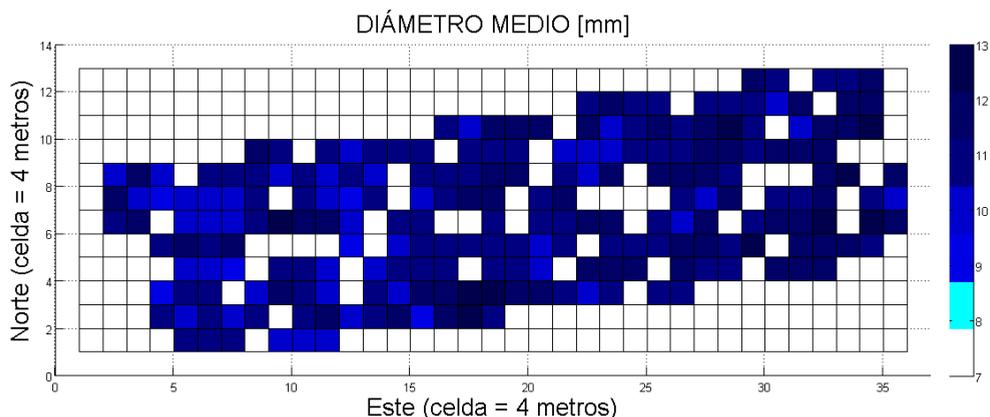


Figura 4.26. Mapa del diámetro medio de baya (mm) en la parcela de Cabernet-Sauvignon.

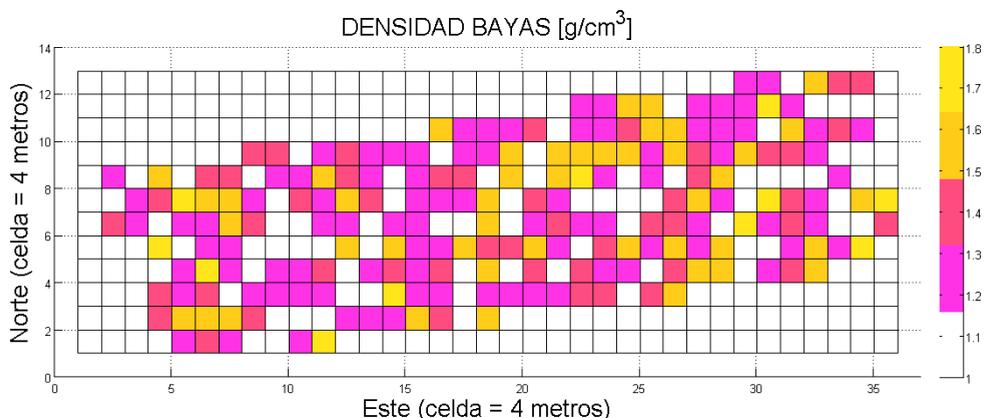


Figura 4.27. Mapa de densidad de baya (g/cm^3) en la parcela de Cabernet-Sauvignon.

4.2.5 MAPAS DE SUELOS

La figura 4.28 representa la situación geográfica de todos los puntos de la parcela donde se efectuaron pruebas de compactación de suelos. En total se tomaron 243 puntos separados cinco metros entre sí, aproximadamente, para facilitar la comparación del mapa de suelos con el resto de mapas de esta parcela, ya que los muestreos manuales anteriores se han realizado cada cinco metros.

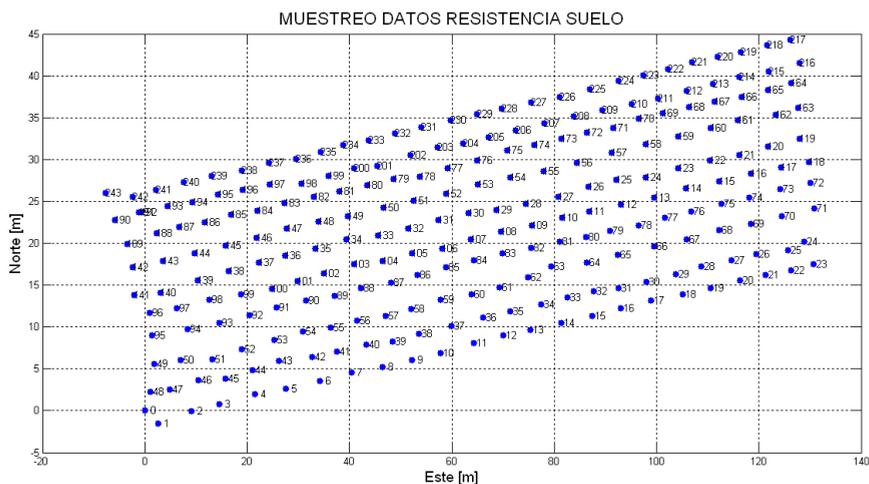


Figura 4.28. Medida de resistencia del terreno en la parcela Cabernet-Sauvignon.

La figura 4.29 muestra los mapas de resistencia del terreno para valores medios (figura 4.29a) y máximos (4.29b). El valor medio de resistencia se obtiene al calcular la resistencia media del terreno a una penetración puntual desde la superficie hasta la profundidad máxima permitida por la longitud de la varilla y la oposición del terreno. En cada prueba o penetración el sensor registra valores de resistencia para cada centímetro de profundidad. La media aritmética de todos los valores de resistencia registrados en cada punto constituye el valor de resistencia media asociado a cada celda de la figura 4.29a. Para construir el mapa de resistencia máxima, el valor de resistencia representado en las celdas corresponde al valor más alto de cada penetración. Como se observa en ambos mapas, sobre todo en el de resistencia máxima, la parte oeste de la parcela presenta más resistencia a la penetración que la zona este. Este hecho puede relacionarse con los desniveles de la parcela representados en el mapa de altitud de la figura 4.19.

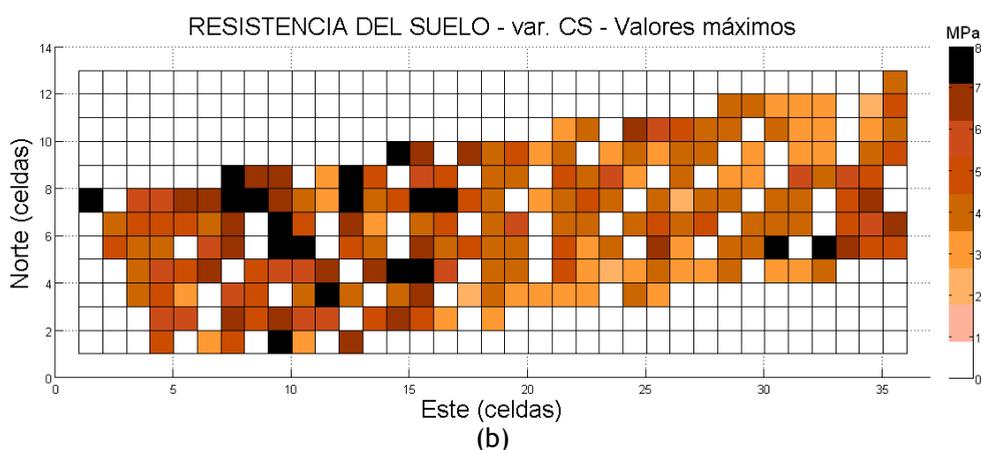
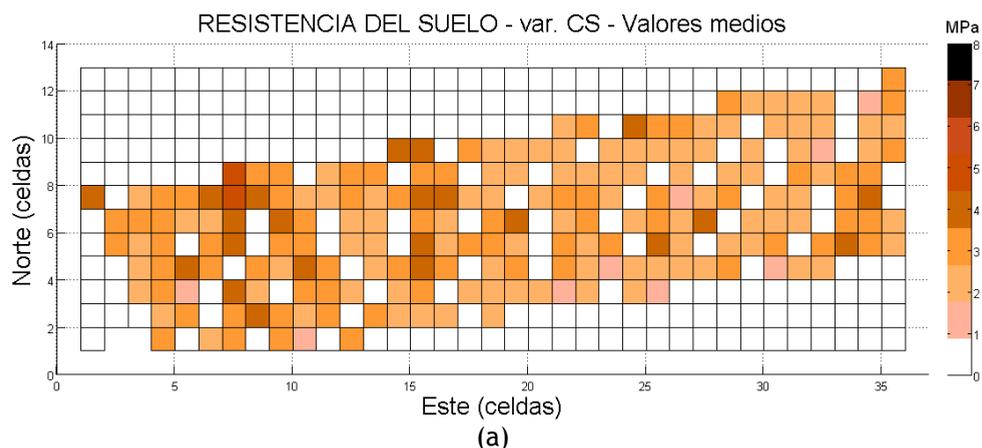


Figura 4.29. Mapas de resistencia media del suelo (a) y de resistencia máxima (b) en parcela Cabernet-Sauvignon.

4.2.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS MAPAS DE PARCELA

➤ RESULTADOS DEL ANÁLISIS INDIVIDUAL DE LAS VARIABLES

Antes de proceder con el análisis individual de las variables, es importante tener en cuenta que, en general, la elección del filtro no influye en los mapas de vegetación, ya que si la segmentación se ejecuta correctamente, el resultado debe ser equivalente con independencia del filtro utilizado. Sin embargo, es fundamental hacer distinción según la distancia focal de la lente, en este caso 8 mm ó 12 mm, porque al ser el

campo de visión diferente, la capacidad de llenado de la imagen varía, y por lo tanto los porcentajes de vegetación tienen un significado diferente. Es más, la misma planta proporcionará índices de vigor diferentes según la lente utilizada, pero es precisamente la interpretación de ese dato el que debe dar sentido a la estimación realizada y homogeneizar las magnitudes medidas en base a la arquitectura implementada.

◆ **Mapa de vegetación [%]: Lente 8 mm y filtro NIR**

El análisis individual de la variable *vegetación* o *vigor* indica que para la lente de 8 mm y el filtro NIR, el rango de porcentajes de vegetación varía desde el 0% hasta el 69%, con una vegetación promedio del 36%, una desviación típica del 17%, y la mediana del 39%. El coeficiente de variación resultante es del 48%.

◆ **Mapa de vegetación [%]: Lente 12 mm y filtro rojo**

Para la lente de 12 mm que percibe un campo de visión más estrecho, el porcentaje de vegetación oscila entre el 0% y el 88%, siendo el promedio del 46%. Se trata de una distribución normal con desviación típica del 18%. La mediana se sitúa en el 43% una vez ordenados los datos, y el coeficiente de variación es del 40%.

◆ **Mapa de altitud [m]**

La *altitud* en la parcela de Cabernet-Sauvignon oscila entre los 643,8 m y los 647 m, con un valor medio de 644,6 m y desviación típica de 0,88 m. La mediana se sitúa en los 644,2 m y la muestra (conjunto de celdas que forman el mapa) tiene un coeficiente de variación del 0,13%.

♦ **Mapa de producción o rendimiento [kg de uva/16 m² o kg de uva/celda]**

La *producción* de la parcela se extiende en un intervalo desde 0,7 kg hasta 8,4 kg, estando el promedio y la mediana en 4 kg. Se trata de una distribución normal con desviación típica de 1,8 kg. El coeficiente de variación es del 45%.

♦ **Mapa de azúcares [g/l]**

El rango del contenido en *azúcares* medido en el laboratorio varía entre 181 g/l hasta 271 g/l. El promedio se sitúa en 235 g/l, la desviación típica es de 11,2 g/l, la mediana está en 237 g/l, y el coeficiente de variación es de 4,7%.

♦ **Mapa de alcohol probable en vino [% volumen]**

El *alcohol probable* se ha estimado en valores que oscilan entre el 10% en volumen hasta el 16%, con una media y mediana del 13,6%. El coeficiente de variación es 4,7% y la desviación típica del 0,6%.

♦ **Mapa de pH del mosto**

El rango de valores de *pH* medidos en el laboratorio para el mosto de la uva cosechada queda delimitado por el intervalo 2,8 - 4,3; sin embargo, el gráfico box-whisker toma como datos normales desde 2,8 hasta 3,8, calificando al resto como datos atípicos. El promedio y la mediana se cifran en un pH de 3,3, siendo el coeficiente de variación del 6%.

◆ **Mapa de acidez probable en vino [g/l]**

La *acidez* adquiere valores desde 2,8 g/l hasta 13 g/l, estando el promedio en 7,5 g/l y la mediana en 7,1 g/l. El coeficiente de variación es del 24% y la desviación típica de 1,8 g/l.

◆ **Mapa de peso medio para 10 granos de uva [g]**

El peso de diez bayas elegidas aleatoriamente dentro de cada celda se distribuye en un intervalo comprendido entre los 5 g y los 13,4 g, con un promedio y una mediana de 9,4 g. El coeficiente de variación es 17%, y la desviación típica de 1,6 g.

◆ **Mapa de diámetro medio de baya [mm]**

Los valores del diámetro medio de las bayas varían desde los 9 mm hasta los 13 mm, estando tanto la media como la mediana en 11 mm. La desviación típica es 0,7 mm y el coeficiente de variación del 6,7%.

◆ **Mapa de densidad del grano de uva [g/cm³]**

La densidad de la pulpa que forma los granos de uva se mueve en el intervalo definido por la densidad mínima de 0,9 g/cm³ y la máxima de 1,9 g/cm³, con media y mediana en 1,3 g/cm³. La densidad sigue una distribución normal con desviación típica de 0,2 g/cm³ y coeficiente de variación del 12%.

◆ **Mapa de suelos [MPa]**

Los valores de resistencia media de suelo varían desde 1,5 MPa (N/mm²) hasta 5 MPa. El valor promedio de la resistencia media se estima en 2,7 MPa, con una desviación típica en la población de 0,7 MPa, y un coeficiente de variación de 26,4%. Los valores de resistencia máxima

presentan un rango delimitado por 2 MPa y 8,5 MPa, siendo su media aritmética de 4,8 MPa, su desviación típica de 1,5 MPa, y su coeficiente de variación de 31,6%.

➤ **RESULTADOS CON MODELOS DE REGRESIÓN SIMPLE (DOS VARIABLES)**

Este apartado presenta el resultado final de los análisis estadísticos de regresión simple y múltiple para las variables estudiadas. El análisis íntegro de cada modelo con todas las variables estadísticas consideradas está disponible en el Anejo 14. Dentro del conjunto de análisis realizados, se varió el tamaño de celda de 4 metros de lado (16 m²) a 6 m y 8 m de lado, para estudiar y cuantificar la influencia del tamaño de celda sobre la significancia de las variables y su correlación. La longitud del lado de las celdas cuadradas se representa como C. Siempre que no se especifique lo contrario, las relaciones entre las variables estudiadas son estadísticamente significativas.

◆ **Modelo de regresión simple: Rendimiento – Vegetación (lente de 8 mm)**

Para celdas de lado C = 4 metros, el modelo de regresión propuesto viene dado por la Ecuación 4.1. El coeficiente de correlación entre estas dos variables es de 0,5, con un valor de R² que explica el 25% de la variabilidad en el rendimiento. Para C = 6 m, el coeficiente de correlación es 0,5 y la R² también del 25%. Para C = 8 m, el coeficiente de correlación es 0,6 y R² del 33%.

$$\text{Producción} = (1,41005 + 0,0154972 \cdot \%Veg8)^2 \quad (4.1)$$

◆ **Modelo de regresión simple: Rendimiento – Vegetación (lente de 12 mm)**

Para celdas de $C = 4$ metros e imágenes tomadas a través de la lente de 12 mm, el modelo calculado es el dado por la Ecuación 4.2. El coeficiente de correlación entre estas dos variables es de 0,5, con un valor de R^2 capaz de explicar el 25% de la variabilidad en el rendimiento. Para un tamaño de celda de $C = 6$ m, el coeficiente de correlación es 0,4 y la R^2 del 14%. De manera similar, para $C = 8$ m el coeficiente de correlación es 0,4 y la R^2 igual a 14%.

$$\text{Producción} = -5,78212 + 2,655 \cdot \ln \% \text{Veg12} \quad (4.2)$$

◆ **Modelo de regresión simple: Altura – Rendimiento**

Para celdas de $C = 4$ metros, el modelo calculado es el dado por la Ecuación 4.3. El coeficiente de correlación entre las variables es -0,6 y un valor de R^2 capaz de explicar el 39% de la variabilidad. Para $C = 6$ metros, el coeficiente de correlación (cc) es -0,6 y la R^2 , 33%. Para $C = 8$ metros, el cc es -0,6 y la R cuadrado, 33%.

$$\text{Producción} = (1379,72 - 212,979 \cdot \ln \text{Alt})^2 \quad (4.3)$$

◆ **Modelo de regresión simple: Altura – Porcentaje de vegetación (lente de 8 mm)**

Para celdas de $C = 4$ metros, el modelo calculado es el dado por la Ecuación 4.4. El coeficiente de correlación entre estas dos variables es de -0,8, con un valor de R^2 capaz de explicar el 61% de la variabilidad. Para un tamaño de celda de $C = 6$ m, el coeficiente de correlación es -0,7 y la R^2 del 54%. Para $C = 8$ m el coeficiente de correlación es también -0,4 y la R^2 igual a 53%.

$$\% \text{Veg8} = (5171,94 - 798,591 \cdot \ln \text{Alt})^2 \quad (4.4)$$

♦ **Modelo de regresión simple: Altura – Porcentaje de vegetación (lente de 12 mm)**

Para celdas de C = 4 metros, el modelo calculado es el dado por la Ecuación 4.5. El coeficiente de correlación entre estas dos variables es de -0,7, con un valor de R² que explica el 42% de la variabilidad. Para un tamaño de celda de C = 6 m, el coeficiente de correlación es -0,5 y la R² del 29%. Para C = 8 m el coeficiente de correlación es -0,4 y la R² igual a 18%.

$$\%Veg12 = 1/(4,13494 - 2650,16/Alt) \quad (4.5)$$

♦ **Modelo de regresión simple: Resistencia del suelo – Porcentaje de vegetación (lente de 8 mm).**

En celdas de 4 metros cuadrados, el coeficiente de correlación, -0,33, indica una relación débil entre las variables. R² explica el 11% de la variabilidad en la resistencia media del suelo. Para la variable resistencia máxima del suelo, el coeficiente de correlación sube a -0,4 y la R cuadrado explica el 18% de la variabilidad.

♦ **Modelo de regresión simple: Resistencia del suelo – Porcentaje de vegetación (lente de 12 mm).**

En celdas de 4 metros cuadrados, el coeficiente de correlación, -0,4, indica una relación débil entre las variables. R cuadrado explica el 19% de la variabilidad en la resistencia media del suelo. Para la variable resistencia máxima del suelo, el coeficiente de correlación sube a 0,5 y la R cuadrado explica el 25% de la variabilidad.

➤ RESULTADOS CON MODELOS DE REGRESIÓN MÚLTIPLE

En los modelos de regresión múltiple analizados, donde se toman las variables independientes de porcentaje de vegetación y altura para predecir el rendimiento (variable dependiente), al menos una de las dos variables independientes que constituyen el modelo resultó no ser estadísticamente significativa, por lo que los modelos de regresión múltiple no aportan ninguna mejora desde el punto de vista estadístico y predictivo sobre los modelos de regresión simple presentados anteriormente. Este hecho se produce porque la altura, es decir, la cantidad de agua acumulada, es combinación lineal de la vegetación; ésto es, que las dos variables están relacionadas al ser una consecuencia de la otra: la mayor cantidad de vegetación se da por una mayor acumulación de agua (o menor altitud).

Con el objetivo de estimar el carácter predictivo de los modelos propuestos, fin último de esta investigación, además de analizar los coeficientes de correlación y las R^2 obtenidas, siempre resulta interesante construir mapas de rendimiento con los valores predichos según las ecuaciones del modelo estadístico óptimo (4.1 a 4.5). Es importante tener siempre presente que los modelos hallados se basan exclusivamente en los datos de un solo año, y que sería necesario enriquecerlos con información de futuras campañas, empresa fácil de acometer con la metodología propuesta al ser las celdas y ejes de coordenadas invariantes en el tiempo. La figura 4.30 muestra el rendimiento estimado (futuro) en la parcela de Cabernet-Sauvignon, utilizando para ello la Ecuación 4.1 que toma como variable independiente el porcentaje de *vegetación* calculado con la lente de 8 mm para celdas de 4 m de lado. De manera similar, la figura 4.31 muestra el rendimiento futuro de la parcela pero

esta vez calculado con la variable independiente *vegetación* cuantificada con la lente de 12 mm.

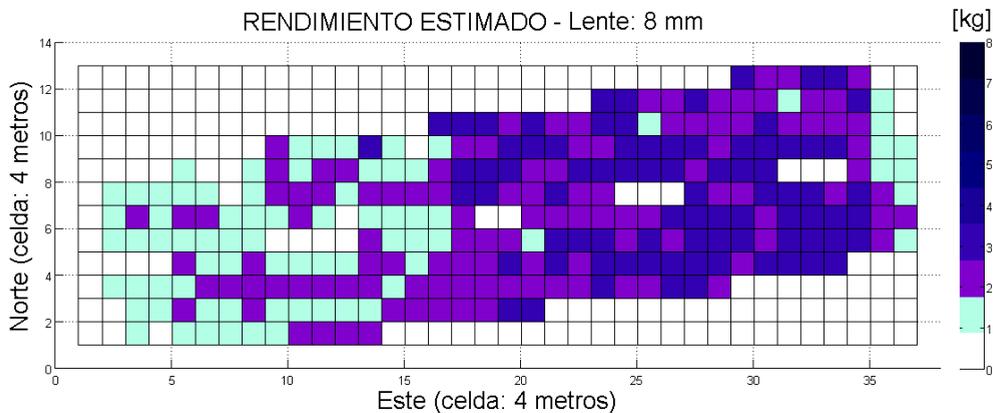


Figura 4.30. Mapa de rendimiento futuro calculado a partir de la Ecuación 4.1.

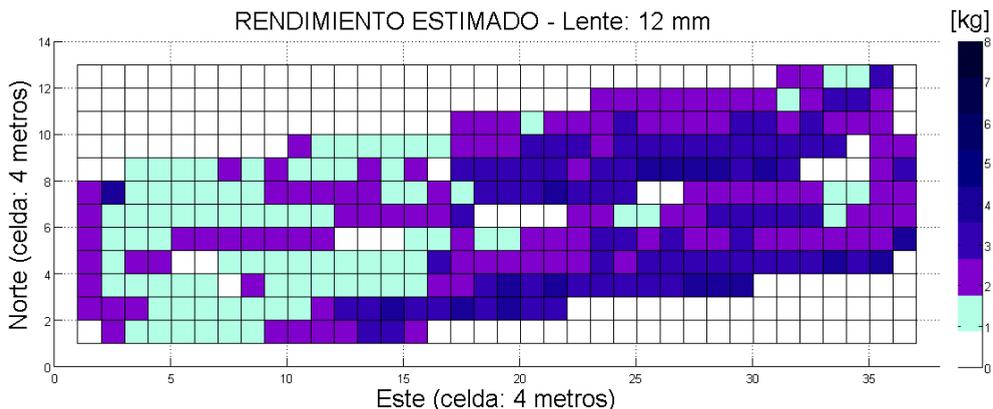


Figura 4.31. Mapa de rendimiento futuro calculado a partir de la Ecuación 4.2.

Las diferencias en rendimiento según la situación geográfica de las viñas es muy acusada en los mapas de predicción, y como era de esperar sigue una distribución muy similar a la obtenida en el mapa de rendimiento original elaborado manualmente mediante pesaje directo de los racimos. Para visualizar el efecto de reducir la resolución de los mapas, una herramienta aportada por la metodología propuesta, se ha vuelto a generar el mapa de la figura 4.30 pero duplicando el lado de la

celda, lo que equivale a pasar de celdas de 16 m² (C = 4) a 64 m² (C = 8). El mapa de la figura 4.32 muestra los resultados de esta variación. El análisis y discusión de los resultados obtenidos se incluye en el Capítulo 5.

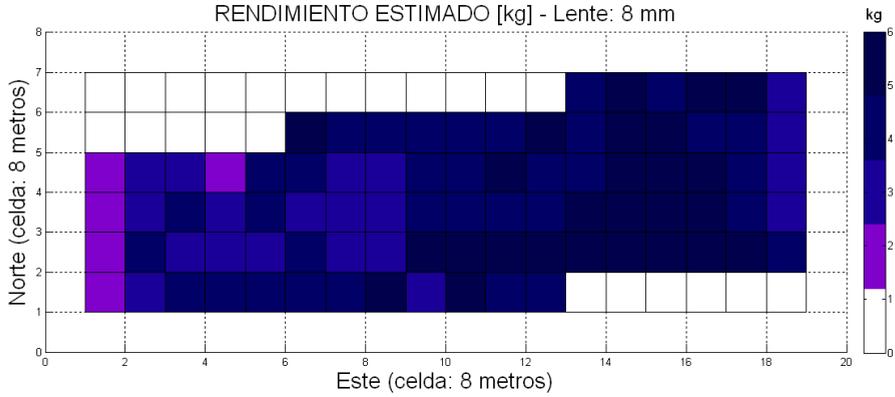


Figura 4.32. Mapa de rendimiento futuro a partir de vegetación (8 mm) y celdas de 8 m de lado.

CAPÍTULO 5

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Los viticultores necesitan optimizar la producción para cumplir los requisitos impuestos por las bodegas respecto a la calidad y cantidad de las uvas. Es frecuente observar gran variabilidad en las parcelas y, aunque el viticultor sepa cuáles son las zonas más o menos productivas de su viñedo, la viticultura de precisión delimita esas zonas con exactitud para aplicar un tratamiento individualizado que permita ahorrar costes en los insumos y rentabilizar mejor la variabilidad de la parcela (Rius, 2005). La contribución de este estudio se basa en el desarrollo de una metodología que facilite la monitorización de un cultivo para optimizar las prácticas de manejo en las zonas de la parcela con alta variabilidad, dando a cada zona el tratamiento más rentable y eficiente.

5.1 MAPAS DE CULTIVO PARA LAS PARCELAS DE LAS VARIEDADES MOSCATEL Y MALVASÍA (Turís)

Los mapas de parcela de las variedades Moscatel y Malvasía (Campaña 2011) se han utilizado, básicamente, como prueba de

concepto, ya que la imposibilidad de contrastación con mapas de rendimiento impide su validación en campo y posterior análisis estadístico. Sin embargo, la posibilidad de obtener mapas digitales automáticos cuantificando variaciones en vegetación, expresados en coordenadas Este-Norte, pone de manifiesto la validez de esta metodología en cuanto a la capacidad de generar mapas de cultivo en tiempo real.

La compactación del suelo se ha estimado según dos variables diferentes: el valor medio de la resistencia a la penetración de una varilla calibrada (figura 4.2) y el valor máximo de resistencia registrado en cada sondeo (figura 4.3). El mapa de valores máximos marca los valores más altos de resistencia que el sistema radicular de las plantas puede encontrar en su recorrido en profundidad por el terreno, y por tanto su representación es útil para detectar zonas donde la compactación del suelo puede comprometer o impedir un desarrollo radicular adecuado de la vid. El mapa de resistencia media del suelo, por el contrario, da una idea de la calidad de la estructura (porosidad) del terreno pero no indica situaciones de estrés radicular. Según los mapas registrados, la resistencia media de la zona sureste de la parcela de variedad Moscatel se encuentra dentro de los valores recomendados para un crecimiento de uvas de calidad moderada según Lanyon et al. (2004), que recomiendan valores entre 1 MPa y 3 MPa de resistencia de suelo para un crecimiento óptimo de las plantas. Sin embargo, en el resto de la parcela se superan estos valores recomendados, aunque visualmente no se apreciaron mermas en el vigor de la vegetación de esta zona. La parcela de la variedad Moscatel está equipada con un sistema de riego por goteo. Según el Sistema de Información Geográfica del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (SIGPAC), la pendiente del terreno de esta parcela es 7,5% en dirección oeste-este, siendo la parte más elevada la del ala oeste, lo

que podría explicar una mayor compactación del terreno en la parte más elevada a consecuencia de tener menos cantidad de agua retenida. Los valores máximos de resistencia para esta parcela superan la presión recomendada para calidades óptimas. Este hecho puede provocar que las raíces se desarrollen sólo superficialmente por encontrar dificultades para recorrer el suelo, pero no tiene por qué implicar una falta severa de producción. Sin embargo, el riesgo que conlleva el desarrollo superficial de las raíces es que, si se dan labores profundas, la maquinaria puede destruir gran parte de las raíces. La figura 5.1 ilustra gráficamente este fenómeno.

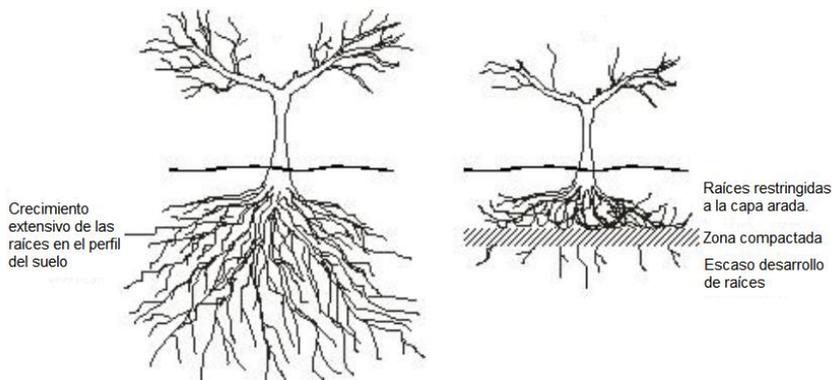


Figura 5.1. Escaso desarrollo de raíces por compactación que induce un limitado desarrollo de la parte aérea (Infoagro).

Las raíces pueden llegar a desarrollarse hasta los 90 cm de profundidad y, en buenas condiciones (suelo con compactación adecuada y necesidades hídricas cubiertas), el mayor desarrollo se dará entre los 30 y 60 cm (Yuste, 2005). Si la planta se encuentra con una capa más dura y compacta en el subsuelo, la parte aérea de la planta puede verse afectada y dar lugar a un escaso desarrollo de la vid, como muestra la figura 5.1. Las diferencias en compactación no se han visto reflejadas en una variación proporcional del desarrollo de las plantas (vegetación), que

es el parámetro principal monitorizado en este trabajo, por tanto los mapas de suelos no permiten llegar a mayores conclusiones sobre la parcela de variedad Moscatel.

Los valores medios de resistencia para la parcela de variedad Malvasía son menores que los medidos para la parcela Moscatel. La parcela Malvasía es de secano y no tiene instalación de riego por goteo, por lo que a priori cabría esperar resistencias mayores al no recibir riegos que ablanden el terreno. Sin embargo, labores de labranza y la propia naturaleza del terreno pueden ser la causa de la menor compactación del suelo. De hecho, los suelos de las parcelas Moscatel y Malvasía son diferentes (calizo y arcilloso, respectivamente), y la textura del suelo (materia orgánica y mineral) influye significativamente en la resistencia a la penetración. Por otra parte, sí existen diferencias acusadas de resistencia a nivel intraparculario. La existencia de puntos aislados con resistencias mucho más altas y diferentes de las circundantes, se debe a un muestreo muy localizado, que hace que la varilla del sensor pueda quedar bloqueada por una piedra o zona puntual de inusual dureza.

En los mapas de altitud, tanto de la parcela con la variedad Moscatel como la parcela de variedad Malvasía, se observan desniveles entre celdas pero estos no se concentran en zonas de dominancia clara, siendo muy probablemente estas diferencias el fruto de imprecisiones en altura, ya que los receptores GPS son bastante menos precisos en altitud que en el plano horizontal, como indican los mayores valores de VDOP (vertical dillution of precision) con respecto a los de HDOP (horizontal dillution of precision). A pesar de no llegar a la comparación definitiva para estas dos parcelas de Turís entre mapas de vegetación, suelos, desnivel, y producción (se vendimió sin previo aviso y se perdió la oportunidad de construir el mapa de rendimiento), lo más importante de

estos mapas es la cuantificación de la variabilidad espacial de variables fundamentales, que ha dado lugar a una discusión detallada del estado de la parcela con mucha más información que la disponible por el propietario en los muchos años dedicados a la gestión de estos viñedos. La experiencia acumulada durante las pruebas realizadas en estas dos parcelas durante el año 2011 fue clave para aplicar con éxito la metodología propuesta a la parcela de Cabernet-Sauvignon durante las campañas de 2011 y 2012.

5.2 MAPAS DE CULTIVO PARA LA PARCELA DE LA VARIEDAD CABERNET-SAUVIGNON (Requena)

De los múltiples mapas de cultivo generados, los de vegetación relativa fueron los más importantes, ya que además de ser el vigor un parámetro fisiológico capital en viticultura, permitió la aplicación de la metodología en su faceta más automatizada. Para llevar a cabo estos mapas, se realizó un estudio para seleccionar la lente y los filtros más adecuados para cuantificar variaciones en vegetación, que resultaron ser el rojo y el grupo de los infrarrojos. El filtro infrarrojo destaca la vegetación sobre el suelo cuando el día no está raso, pero ocurre lo contrario con el filtro rojo al adquirir la vegetación una tonalidad oscura sobre un suelo más claro. El filtro rojo se comporta de esta manera porque la componente roja de la vegetación es mínima (verde intenso), y al filtrar la luz reflejada por las hojas solamente se ven de color claro los elementos con mayor componente en la banda roja, en este caso el suelo. Para condiciones lumínicas de sol intenso, las pruebas realizadas confirman los buenos resultados del filtro rojo, pero el filtro infrarrojo disminuye la eficiencia en la segmentación cuando los suelos son claros, compitiendo la intensidad en reflectancia de vegetación y suelo. La naturaleza arcillosa del suelo de la parcela Cabernet-Sauvignon indujo a

segmentaciones erróneas en algunas filas de cultivo. Según Baumgardner et al. (1985), los suelos arcillosos tienen una reflectancia alta, por lo que presentan un nivel de gris similar al de la vegetación en el rango infrarrojo. En base a las pruebas efectuadas, se puede concluir que el filtro rojo funciona mejor que los demás para días de sol fuerte, mientras que en días de luz indirecta se puede utilizar tanto el rojo como los NIR, aunque son preferibles éstos últimos por lo destacada que se percibe la vegetación con respecto al suelo.

En cuanto a la selección de lentes para la cámara monocular y monocromática, la distancia focal de 25 mm no es adecuada para esta aplicación, ya que su campo de visión es demasiado estrecho para obtener porcentajes de vegetación representativos. Para otro tipo de aplicaciones donde se necesiten imágenes más detalladas de la vegetación, como por ejemplo en la detección de plagas y enfermedades, podría resultar más apropiada. En el extremo opuesto, la lente de 6 mm de distancia focal proporciona un campo de visión demasiado grande, incluyendo objetos innecesarios en las imágenes que dificultan la ejecución del algoritmo, ya que el nivel de gris de la vegetación es a veces equiparable al de algunos elementos del tractor. Los campos de visión de las lentes con distancias focales de 8 mm y 12 mm han sido los más adecuados para la aplicación descrita en la presente tesis. La lente de 8 mm cubre la vista cenital completa de las vides, por lo que contabilizar el porcentaje relativo de vegetación en cada imagen con respecto del total de píxeles en la misma es factible. Además, esta lente proporciona una resolución ideal para percepción próxima, ya que tradicionalmente la estimación de vigor vegetativo se ha realizado mediante resoluciones mucho más bajas al tomarse los datos desde satélites o aviones tripulados. Las resoluciones de imágenes aéreas van desde los 900 m²/píxel (satélite Landsat) hasta los 7,84 m²/píxel del

satélite QuickBird (Hidalgo-Togores, 2006). En esta aplicación, la lente de 8 mm permite alcanzar una resolución de $0,02 \text{ cm}^2/\text{píxel}$ ($2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{píxel}$), cubriendo una extensión de $0,7 \text{ m}^2$ por imagen. Por otra parte, la lente de 12 mm de distancia focal proporciona una resolución de $8,2 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{píxel}$ ($8,2 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{píxel}$), registrando un área de $0,3 \text{ m}^2$ por imagen. La lente de 12 mm también ha resultado adecuada para esta aplicación, aunque se ha observado que cuando la vegetación es exuberante, algunas hojas se quedan fuera de la imagen. El análisis de los mapas de vegetación con respecto al modelo de predicción del rendimiento, también facilita la elección de qué lente funciona mejor para estimar la vegetación y predecir la cosecha. Según el análisis estadístico de regresiones simples entre vegetación y producción, cuando se utiliza la lente de 8 mm, las variables porcentaje de vegetación y rendimiento tienen una correlación de 0,5, 0,5 y 0,6 para celdas de 16 m^2 (4 metros de lado), 36 m^2 (6 metros de lado) y 64 m^2 (8 metros de lado), respectivamente, frente a una correlación de 0,5, 0,4 y 0,4 para celdas de 16 m^2 , 36 m^2 , y 64 m^2 , respectivamente, que se obtiene cuando se utiliza la lente de 12 mm. El coeficiente R^2 en la lente de 8 mm es del 25%, 25% y 33% para celdas de 16 m^2 , 36 m^2 , y 64 m^2 , respectivamente, mientras que con la lente de 12 mm es del 25% para celdas cuadradas de lado 4 m, 14% para celdas cuadradas de lado 6 m, y 14% para celdas cuadradas de lado 8 m. Estos datos ponen de manifiesto la superioridad de las estimaciones que utilizan la lente de 8 mm. Además, en base a la experiencia adquirida durante las múltiples pruebas de campo, se puede corroborar que con la lente de 8 mm apenas se pierde información clave por encontrarse la vegetación dentro de los límites del campo visual.

La vendimia por tramos discretos en las filas muestreadas tuvo lugar de la manera descrita en el capítulo 3, para así poder obtener datos de rendimiento por celdas de aproximadamente 25 m^2 . La importancia de

obtener datos precisos de vendimia para celdas individuales estriba en la posibilidad de confeccionar mapas de rendimiento que permitan relacionar la producción obtenida con el vigor estimado para cada zona de la parcela. Obviamente, para llegar a una buena caracterización de la parcela y proponer soluciones acertadas es necesario disponer de mapas confeccionados durante temporadas sucesivas para cada explotación (Towers y von Martini, 2002). Aunque los resultados de esta investigación se basan fundamentalmente en dos temporadas sucesivas (2011-2012), han servido para validar la metodología propuesta y enunciar un nuevo método con potencial para ayudar a viticultores a tomar decisiones estratégicas basadas en datos objetivos, y en última instancia mejorar las características de sus vinos.

Hall et al. (2002) relacionaron el alto vigor de la viña con altas producciones pero baja calidad de la uva, ya que normalmente las viñas vigorosas maduran más tarde como consecuencia de una baja actividad fotosintética. En los mapas de vegetación generados automáticamente, el vigor más alto coincide con la zona de mayor producción de la parcela situada en la parte este, que además es la que posee menor altitud y, por tanto, mayor acumulación de agua; es decir, donde se esperan viñas más vigorosas y también más productivas. En términos generales, las cepas muy vigorosas sufren una deficiente utilización de radiaciones solares debido al sombreado entre sus hojas y, según sea el marco de plantación, también entre plantas. Un sombreado de la vegetación se traduce en una menor acumulación de azúcares y un incremento de la acidez, así como de enfermedades. Por el contrario, cuando las cepas son menos vigorosas, sus órganos verdes maduran rápidamente al tener una actividad fotosintética mayor. Por consiguiente, de las cepas más vigorosas se obtendrán uvas de menor calidad, y de cepas menos vigorosas uvas de mayor calidad. Sin embargo, esta relación no es directa desde el

principio, ya que un aumento del rendimiento de la cosecha deriva en el incremento inicial de la calidad hasta un determinado punto, a partir del cual se produce una disminución rápida de la calidad (Hidalgo-Togores, 2006), como ilustra la figura 5.2 que representa diferentes cosechas según viñedo y temporada frente a la calidad, siendo Ev la expresión vegetativa, es decir, la cosecha según el tipo de viñedo y temporada. La superposición de diversas curvas Ev en la figura 5.2 es debido a la gran variabilidad presente en los viñedos (Tardáguila et al., 2008). Precisamente debido a esa alta variabilidad, no se pueden establecer valores absolutos de cosecha, ya que las producciones son el resultado de la variedad de la uva, el tipo de poda, el clima general y el microclima resultante de la disposición de las hojas, el drenaje y la posición de las uvas, labores de cultivo, fertilización, etc. (Blouin y Guimberteau, 2004).

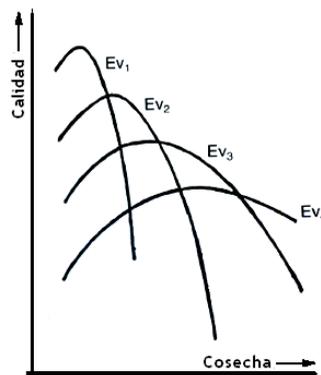


Figura 5.2. Variación de la calidad frente al rendimiento para diferentes tipos de viñedo (Hidalgo-Togores, 2006).

Al comparar los mapas de las figuras 4.16 y 4.17 celda a celda, —lo que es inmediato al compartir origen, ejes, y resolución— se observa que el porcentaje de vegetación en la figura 4.17 es, en general, mayor que en la figura 4.16. Esto ocurre porque el campo de visión de la lente de 12 mm es menor que el de la lente de 8 mm, de ahí que al acercarse más a la vegetación, ésta ocupe mayor parte de la imagen. Ahora bien, aunque los porcentajes sean relativamente mayores con la lente de 12 mm, la

distribución de “alto vigor” y “bajo vigor” es consistente en ambos mapas, lo que corrobora la coherencia en las estimaciones. Por otra parte, al llegar a las mismas conclusiones a través de ambos mapas, la elección de los filtros montados en la cámara también ha sido efectiva para llegar a una segmentación dinámica válida con el algoritmo propuesto.

El mapa de altitud de la figura 4.19 aporta información complementaria a las relaciones establecidas y cuantificadas entre vigor y producción. Este mapa de altitud se ha construido como una estimación indirecta de acumulación de agua en el terreno. En la zona más honda (baja) de la parcela, ubicada al este de la explotación, la altitud es casi cuatro metros menor que en el extremo oeste, y por tanto es donde se produce la mayor acumulación de agua en la parcela. Este fenómeno, ya observado por el gerente de la explotación, hace que las cepas en el extremo este sean las más vigorosas y, como consecuencia, den una mayor producción.

Un vigor mayor del viñedo, y su correspondiente alta producción, se ha relacionado con una calidad media-baja o baja del vino obtenido. Tradicionalmente, la calidad del vino se ha evaluado en base a dos enfoques: un enfoque subjetivo en el que la calidad del vino depende de los gustos de cada persona (cualidades organolépticas en mayor medida), y un enfoque objetivo que se recoge en las normas de la Comunidad Europea. En ellas se citan las características químicas de un vino que pueden llevar a su rechazo en caso, por ejemplo, de que se haya producido su oxidación. De esta manera, también se incluyen valores recomendables de azúcar o acidez en mosto para elaborar vinos considerados de calidad. Los mapas de azúcar en mosto de las figuras 4.20 y 4.21 son equivalentes, diferenciándose simplemente en las

unidades en las que la concentración de azúcares se ha expresado. El mapa de la figura 4.20 proporciona la concentración de azúcares en g/l, unidad formal habitualmente utilizada en manuales técnicos y publicaciones científicas, mientras que en la figura 4.21 se han utilizado los grados Baumé, unidad de medida más común entre productores europeos, y que también se ha conservado en muchos libros y publicaciones por tradición (Hidalgo-Togores, 2006). Aunque las medidas se tomaron con un refractómetro directamente en grados Brix, no se ha considerado necesario representar la concentración de azúcares también en grados Brix al no aportar información nueva por ser fácil su conversión ($1^{\circ}\text{Be} = 1,8^{\circ}\text{Bx}$), y de menor uso en Europa que los grados Baumé. La variabilidad del azúcar en la parcela resultó ser mucho mayor que la encontrada en los mapas anteriores; no obstante, aunque el color de las celdas parece variar mucho, se puede apreciar que al este de la parcela hay más celdas con valores de azúcar bajos que al oeste. Como la cantidad de azúcares en mosto es proporcional a la concentración potencial de alcohol en el futuro vino, se ha representado el alcohol probable en el mapa de la figura 4.22, que obviamente es equivalente al de azúcares de las dos figuras anteriores, apreciándose por tanto valores menores de alcohol probable al este de la parcela.

En general, unos valores altos de azúcar en mosto, o alcohol probable, se corresponden con valores bajos de acidez (Blouin y Guimberteau, 2004). El mapa de pH de la figura 4.23 es proporcional e inverso al mapa de acidez de la figura 4.24. Como se observa más claramente esta vez, al este de la parcela se encuentran los valores mayores de acidez que implican una calidad más baja del futuro vino, lo que además de coincidir con las zonas de mayor vigor como predicen estudios tradicionales, proporciona datos numéricos y una evaluación cuantitativa objetiva que los correlaciona. Apoyando estos hechos,

Aleixandre (1999) enunciaba la evidente relación que existe entre el agua retenida en el suelo y la acidez de la uva. En los suelos donde se retiene la humedad, la maduración se retrasa y los ácidos (málico y tartárico) de la uva son más abundantes. En cambio, en suelos que retienen menos el agua, la uva madura rápido y es menos ácida. En efecto, la zona de la parcela donde hay más acumulación de agua, la uva resultó ser más ácida, contrariamente a lo que ocurre en la zona oeste de la parcela, donde la uva es menos ácida y el suelo retiene menos agua. **A pesar de la variabilidad existente, estos resultados demuestran la validez y el potencial de esta metodología, que lógicamente aumentará en precisión conforme se vayan añadiendo nuevos datos en forma de mapas compatibles con los ya desarrollados.**

En el mapa de peso de bayas de la figura 4.25 se aprecia que las bayas mayores se concentran al este de la parcela. Para diluir errores, el peso anotado en el mapa corresponde a diez bayas, siendo por tanto el peso medio por baya una décima parte del valor que figura en el mapa. Estos resultados demuestran que donde existe mayor producción también se da un mayor peso de las bayas; es decir, las bayas más pesadas están localizadas donde la producción es mayor. Para profundizar aún más en la morfología del fruto y averiguar si aparte de más pesadas son también más grandes, se construyó el mapa de diámetro medio de la figura 4.26, donde se observa que las bayas Cabernet-Sauvignon de la parcela documentada son más pesadas porque son más grandes en cuanto a diámetro mayor, y no porque sean más densas (figura 4.27). La densidad se mantiene constante en mayor o menor medida a lo largo y ancho de las filas muestreadas, sin distinguir zonas dominantes en el este u oeste. Este resultado lleva a pensar que las bayas crecen más porque acumulan el agua disponible en el suelo y, en consecuencia, los niveles de azúcar disminuyen.

La figura 5.3 proporciona valores orientativos para mostos que dan lugar a vinos de calidad, siendo los valores de la derecha los del mosto cuando la uva ya está vendimiada porque ha llegado a su maduración óptima en una zona cálida como la de Valencia y con bajas producciones como es el caso de la variedad Cabernet-Sauvignon. En el mapa de pH de la figura 4.23, los valores de pH entre 3,8 y 4,5 se localizan en la parte oeste de la parcela, donde se tienen bajas producciones según el mapa de la figura 4.18, y por tanto mejores calidades como se venía intuyendo e indican los resultados. Además, los índices de acidez que proporcionan una buena calidad y que en la figura 5.3 se cifran entre 3 g/l y 6 g/l, también se encuentran en la zona oeste de la parcela (figura 4.24). Por último, el contenido óptimo de azúcar en grados Baumé según la figura 5.3 debe oscilar entre 13,5 °Be y 16 °Be. El mapa de la figura 4.21 no resulta tan claro como en los otros indicadores, pero sí se aprecia una mayor acumulación de celdas con valores de azúcar por encima de 12,5 °Be.

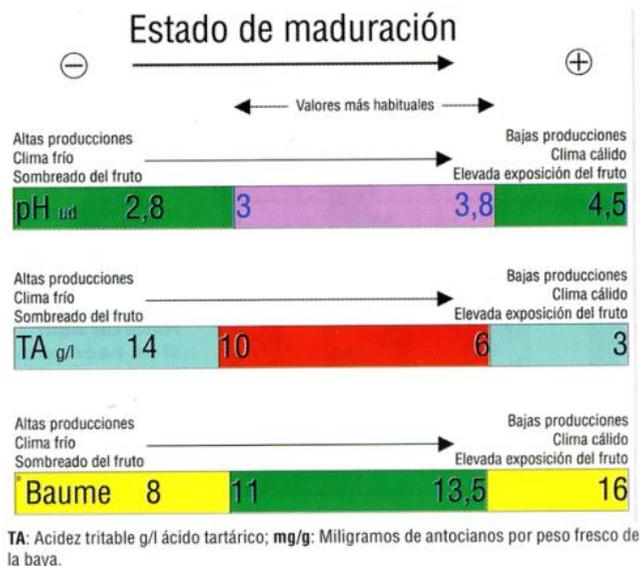


Figura 5.3. Rangos frecuentes de parámetros de calidad del mosto (Basado en Rius, 2005).

A la espera del desarrollo futuro de un sensor capaz de generar mapas de compactación de suelos de manera automática desde vehículos convencionales, estos mapas sólo pueden construirse con un penetrómetro siguiendo el proceso manual descrito en el capítulo 3. Por tanto, dada la laboriosidad de generar estos mapas en la actualidad, es importante discutir su utilidad a nivel práctico. El suelo es un elemento vital para las plantas porque influye directamente sobre las raíces, encargadas de sustentar a la planta aportando tanto un sustento alimenticio como estructural. El interés de los mapas de suelo estriba en cuantificar la relación existente entre las condiciones de la vegetación (parte aérea de la planta) y el suelo (parte radicular o de las raíces). Si puede establecerse una relación matemática o estadística entre ambas partes, sería posible evaluar el estado de las raíces a partir de monitorizar el estado de la vegetación, más accesible y ya cuantificable de manera automatizada como demuestra este trabajo. Según Archer y Hunter (2005), si se favorece el crecimiento de las raíces finas en los primeros decímetros de profundidad del suelo, que son las raíces que absorben los nutrientes, se estimula el crecimiento de hojas durante la madurez, mejorando la composición de la uva, y por tanto del vino. El buen estado y mantenimiento del primer tramo de suelo (hasta 30 cm) se refleja en la vegetación. Además, si no existen obstáculos en el terreno, las raíces tenderán a profundizar, aunque también se pueden desplazar hacia aquellas zonas del suelo más ricas en humedad o nutrientes (figura 5.1). Por otra parte, pueden darse condiciones intrínsecas del suelo que propicien el crecimiento de las raíces a pesar de estar éstas en condiciones adversas: la cantidad de microporos del subsuelo beneficia el crecimiento de las raíces y de la planta (Rees y Doyle, 2010). El suelo de la parcela de Cabernet-Sauvignon se labra con regularidad y se le aportan nutrientes periódicamente. Sus valores de resistencia media del suelo

indican que se mantienen unas condiciones propicias para uvas de calidad; sin embargo, los valores de resistencia máxima son más altos de los recomendados para uvas de calidad. No obstante, los perfiles registrados con el sensor de resistencia a la compactación (penetrómetro) indican que los valores máximos casi siempre ocurrían a las máximas profundidades ensayadas, midiendo bajas resistencias (1-3 MPa) en los primeros 40 cm para la mayoría de las celdas, tal como recomiendan Lanyon et al. (2004). Las diferencias de resistencia dentro de la parcela, con mayores valores en la parte oeste y menores en la este, posiblemente se deben a que el suelo está más húmedo en la zona este y su resistencia es menor. Por el contrario, el suelo más seco de la parte oeste lleva a mayores valores de resistencia máxima, y si el suelo se endurece por falta de humedad, las raíces superficiales ralentizarán o detendrán su crecimiento y el de la vegetación, dando lugar a viñas de calidad en detrimento de la producción (Bovet-Pla y López-Querol, 1988), siempre que no se llegue al punto de marchitez, en cuyo caso la planta moriría por falta de agua.

La calidad de un vino es, en definitiva, uno de los factores estratégicos más importantes —si no es el más— para comercializar un vino, y por tanto requiere especial atención. Uno de los primeros pasos consiste en identificar los rangos deseables para los parámetros monitorizados, tal como indica la figura 5.3, pero es necesario contrastar el dominio de todas las variables representadas en los mapas de cosecha con los valores que habitualmente se manejan en campo. En este sentido, Blouin y Guimberteau (2004) delimitan el intervalo de acidez para años excelentes entre 3,3 g/l y 5 g/l, llegando hasta valores de 7 g/l en años de calidades moderadas. Como se puede observar en el mapa de acidez (figura 4.24), los valores de la zona oeste —la considerada de mayor calidad por tener menor vigor— pertenecen a ese intervalo recomendado;

en cambio, la parte este de la parcela los supera con creces llegando hasta 14 g/l. Estos mismos autores consideran como valores adecuados de alcohol los que superan el umbral de 11,5% vol. También en este caso, los valores de alcohol probable superiores a este umbral –valores de 12% a 12,5% en volumen– se encuentran mayoritariamente en las celdas de la parte este de la parcela, siendo los valores de la parte oeste de la parcela claramente mayores con muchas celdas por encima del 13%. Estos valores recomendados por Blouin y Guimberteau (2004) se han basado en estudios de seguimiento de parcelas de variedades Merlot y Cabernet-Sauvignon durante cincuenta años.

Las ecuaciones de los modelos predictivos obtenidos del análisis estadístico están específicamente adaptadas a la parcela de Cabernet-Sauvignon utilizada en los experimentos, y a las condiciones particulares en que se enunciaron (lentes, filtros, definición de vigor, propiedades de la varilla del penetrómetro, etc.). Estas ecuaciones son funcionales cuando se trata de cuantificar la variabilidad espacial dentro de la misma parcela, pero como ya constataron Blouin y Guimberteau (2004), la predicción de producción en valores absolutos debe entenderse desde la incertidumbre que introduce la gran variabilidad de los sistemas biológicos como los viñedos, ya que el rendimiento de cada parcela para un determinado año es el resultado de gran cantidad de factores que son al tiempo independientes e interdependientes, estables o muy fluctuantes. El rendimiento es, por tanto, el producto de múltiples factores, algunos impredecibles de año en año, como las lluvias y los vientos, efectividad de los tratamientos de fertilización o éxito en la prevención de enfermedades, e incluso el tipo de poda que se le da al viñedo, que nunca es exactamente la misma. Variaciones en estos parámetros del 10% al 30% o más modifican las características finales de uvas y mostos y, por tanto, de los vinos resultantes. En el caso aquí

estudiado, la variabilidad explicada a través de las R^2 de las correlaciones establecidas llega hasta el 60% en el mejor de los casos, lo que denota una variabilidad muy alta; sin embargo, una inspección visual de los mapas desarrollados claramente identifica zonas de dominancia con valores similares para casi todas las variables monitorizadas. Precisamente, para averiguar la sensibilidad del factor resolución de malla (matemáticamente el valor del tamaño de celda c) en la variabilidad espacial de las variables representadas y la correlación entre ellas, se repitió el análisis estadístico pero esta vez variando el lado de las celdas desde 4 m hasta 8 m. El aumento del tamaño de celda, es decir la disminución de la resolución, no produjo mejores correlaciones en la mayoría de los casos, como muestra la tabla 5.1. Esta esperable mejora podría haber sido la causa de suavizar los datos mediante promedios de medidas dentro de cada celda, ahora más grandes, pero aunque sí disminuyó la variabilidad, no mejoró las correlaciones, al perderse información en el promediado dentro de las celdas, ya que hay que considerar que se tomaron valores de suelos y rendimiento cada 4 ó 5 m. Al final, la mejor correspondencia siempre fue para las celdas de 4 m, siendo el único caso en que la menor resolución indujo una mejora en la correlación para el modelo entre el rendimiento (kg de uva por celda) y el porcentaje de vegetación estimado con la lente de 8 mm, que aumentó del 25% al 33%, como indica la tabla 5.1.

Tabla 5.1. Valor del coeficiente R^2 (%) en modelos de regresión simple según el tamaño de celda.

Tamaño de celda \ Parámetros de campo	Rto-V8	Rto-V12	H-Rto	H-V8	H-V12	RS-V8	RS-V12
4 m	25	25	39	61	42	11/18	19/25
6 m	25	14	33	54	29	RD	RD
8 m	33	14	33	53	18	RD	RD

Rto: Rendimiento; V8: Vegetación estimada con lente de 8 mm; V12: Veg. estimada con lente 12 mm
H: altitud; RS: Resistencia de suelos media/máxima; RD: correlación débil según coef. de variación

Los parámetros estudiados en este trabajo pueden agruparse en tres niveles: las variables registradas a lo largo del ciclo vegetativo de la planta (pre-recolección), los parámetros medidos en el momento de la vendimia o recolección, y las variables estimadas en post-recolección. Los parámetros estimados antes de la recolección, especialmente durante el envero de las bayas, son las más interesantes para aplicar técnicas de Agricultura de Precisión, ya que toda la información que pueda obtenerse antes de la vendimia es de gran ayuda para la gestión de las explotaciones, y cuanto más se aleje de la vendimia, más interesante será el procesado de esa información, sobre todo si se pueden aplicar modelos predictivos. En la metodología propuesta, las dos variables medidas desde el envero hasta la cosecha son el porcentaje de vegetación y la altitud, ambas registradas automáticamente por el ordenador de abordo, el parámetro fundamental tomado durante la cosecha es, obviamente, la producción o rendimiento, y las variables obtenidas tras efectuar la vendimia (post-recolección) son las procedentes de los análisis químicos realizados al mosto de las uvas recolectadas. El objetivo que despierta mayor interés desde el punto de vista del productor es la proposición de modelos estadísticos que relacionen variables de pre-recolección medidas automáticamente con el resto de parámetros de interés enológico. Por tanto, las relaciones más importantes son las que relacionan el porcentaje de vegetación y la altitud con el resto de variables de campo. El anejo 14 proporciona todos los resultados estadísticos que relacionan estas variables fundamentales.

Las figuras 4.30 a 4.32 representan estimaciones del rendimiento según las ecuaciones de los modelos predictivos procedentes del análisis estadístico. En estos mapas virtuales se produce una clara separación entre dos zonas, que lógicamente coinciden con las zonas este-oeste marcadas en el mapa real construido directamente con el peso de las

muestras, aunque hay menos variabilidad en los mapas predichos y resulta más sencillo visualizarlas en éstos. El mapa de estimación de cosecha de la figura 4.32 se ha confeccionado con celdas de 8 metros de lado. Aunque aparentemente su apariencia difiere de los otros dos mapas de estimaciones, la información es equivalente ya que se siguen respetando las dos grandes zonas con 2-3 kg en el oeste y 4-6 kg en el este.

En términos generales, casi todas las relaciones encontradas fueron estadísticamente significativas aunque la alta variabilidad encontrada en campo no siempre fue explicada con amplitud por los modelos. No obstante, el objetivo buscado es la cuantificación, predicción, y documentación de **zonas** con características similares, que lleven al agricultor a separar la gestión de su explotación en lotes de trabajo de manera que se optimicen los recursos. Por ejemplo, no sería lógico ni rentable llevar una vendimiadora a un punto de la parcela para recolectar un tramo de cuatro metros de uva y, seguidamente, llevársela a otro tramo de cuatro metros que esté lejos del primero; se perdería tiempo en los trayectos y dinero por gasto de combustible. Es más lógico y rentable recolectar por zonas uniformes de tamaño medio, dividiendo la parcela en varios lotes (de 2 a 5) según la superficie total de la explotación. El siguiente ejemplo proporciona un caso particular con la metodología propuesta en este trabajo, donde el mapa de rendimientos se ha dividido en dos lotes: alta producción y baja producción. La línea divisoria entre ambos lotes se ha fijado en la línea vertical del valor Este = 18 (celda número 18) del mapa de vegetación de la figura 4.16. La separación de la información recogida en campo en estos dos lotes se muestra en la tabla 5.2. En cada mapa asociado a la parcela es posible distinguir cuatro tipos de celda: caso uno, número de celdas a la izquierda de la línea divisoria ($E = 18$) con un porcentaje de vegetación

menor que el promedio de la población; caso dos, número de celdas del mapa a la derecha de la línea divisoria ($E = 18$) que tienen un porcentaje de vegetación mayor que el promedio de la población (36%); caso tres, número de celdas a la izquierda de la línea divisoria ($E = 18$) que tienen un porcentaje de vegetación mayor que el promedio de la población; y caso cuatro, número de celdas del mapa a la derecha de la línea divisoria ($E = 18$) con un porcentaje de vegetación menor que el promedio de la población. Para un promedio de porcentaje de vegetación del 36%, los números de celdas correspondientes a los cuatro distintos casos descritos anteriormente y aplicados a la figura 4.16 son: caso uno, 104; caso dos, 128; caso tres, 33; y caso cuatro, 26. Trasladados estos números a porcentajes sobre el número de celdas total (considerando solamente las celdas que contienen datos), se observa que la mayoría de celdas de la parte izquierda u oeste (36%) de la parcela tiene una cantidad de vegetación considerada “baja”. Por el contrario, la mayoría (44%) de las celdas de la parte derecha de la parcela, o este, tiene una cantidad de vegetación considerada “alta”. Una división perfecta de los datos se habría traducido en un 50% de valores con vegetación baja a la izquierda de la línea divisoria y viceversa. Según la tabla 5.2, la zona oeste de la parcela correspondiente a una baja cantidad de vegetación (LOTE 1) tiene su correspondencia en el mapa de producción con una baja producción. Asimismo, la zona este de alta cantidad de vegetación (LOTE 2) tiene su homólogo con el mapa de producción para la misma zona, siendo el este la zona de alta producción. Por tanto, se podría acometer la recolección diferenciada de la uva según los dos lotes. En cuanto a parámetros de calidad, la tabla 5.2 discrimina en lotes las medidas de acidez y alcohol. Los residuos que se muestran en la tabla corresponden a los casos tres y cuatro descritos anteriormente.

Tabla 5.2. Discriminación de resultados por lotes.

Mapa	LOTE 1	Residuos caso 3	LOTE 2	Residuos caso 4
Vegetación (f = 8 mm)	36	11	44	9
Vegetación (f = 12 mm)	37	9	37	17
Producción	38	6	44	12
Alcohol probable	22	28	24	26
Acidez probable	45	5	32	18

La colección de mapas de cultivo proporciona una herramienta eficaz con la que el productor puede modificar las características de su parcela en temporadas venideras en base a datos objetivos. Según Moreno-Vigara y Peinado-Amores (2010), los factores modificables que afectan a la calidad de la uva son: la poda, que regula la carga (producción y vigor) de la cepa para la temporada siguiente; el despuntado (eliminación de las extremidades de las ramas en crecimiento), que controla el contenido de ácidos (principalmente el ácido málico); el deshojado (eliminación de las hojas más bajas de la cepa), que acelera la maduración de las uvas; y el abonado (fertilización), que influye sobre el color final del vino, la cantidad de taninos en él y su cuerpo. Además, Hidalgo-Togores (2003) añade el riego como el factor más importante para poder controlar el vigor del viñedo. En una parcela con riego controlado, se puede someter a las plantas a estrés hídrico mediante riegos deficitarios para favorecer la calidad de las uvas en detrimento de la producción. Existe una técnica, el RDI (Regulated Deficit Irrigation), con la que se pretende conseguir la mayor actividad fotosintética mientras se aplica la menor cantidad de agua posible sin comprometer la marchitez de las plantas; de esta manera, los estomas se abren lo mínimo, favoreciendo la maduración de la uva, reduciendo el tamaño de la baya y mejorando la calidad de la cosecha. Otro de los factores que se pueden modificar para mejorar la calidad del suelo es su color mediante la técnica de solarización. Esta técnica

consiste en colocar unos tapices reflectantes (Vitexol®) de 50 cm de anchura a pie de viña, para que el sol refleje multidireccionalmente, multiplicándose la iluminación en un 20% - 30%. A su vez, al elevarse la temperatura, también se consigue adelantar la maduración (Hidalgo-Togores, 2006).

5.3 VENTAJAS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA FRENTE A OTRAS METODOLOGÍAS EXISTENTES

Conforme la tecnología digital ha ido avanzando y popularizando el uso de sensores en campo, la monitorización de cultivos ha ido tomando auge, hasta que el desarrollo del sistema GPS NAVSTAR llevó al nuevo concepto de la Agricultura de Precisión en los años ochenta. Tradicionalmente han existido técnicas destructivas que requieren el muestreo de hojas, ramas, y frutos en campo para su posterior análisis en laboratorio, pero los requerimientos de mano de obra hacen que estas técnicas sean prohibitivas y por tanto estén condenadas a su desaparición. Aún así, todavía va a existir un tiempo en que técnicas tradicionales invasivas coexistan con técnicas automatizadas no invasivas. En este aspecto, la metodología propuesta aporta varias ventajas. Por una parte, desarrolla un método de percepción simplificado para cuantificar diferencias de vegetación a tiempo real y de manera no invasiva; y por otra parte permite la integración de información adquirida de forma automatizada con la obtenida a través de técnicas tradicionales. El núcleo de esta compatibilidad radica en la concepción novedosa de los mapas de cultivo.

Los mapas de cultivo constituyen una manera estandarizada y compatible de integrar información de campo con independencia del origen de la información; conforme el registro de información se vaya automatizando pasaremos de métodos tradicionales de muestreo a

métodos más modernos, pero los mapas seguirán siendo igual de compatibles a lo largo del tiempo. La fuerza de esta compatibilidad se basa en el uso del sistema de representación LTP (Local Tangent Plane) pero “discretizado” en mallas de resolución seleccionada por el usuario, y con un origen de coordenadas local, también elegido por el usuario, que permanece invariable en el tiempo. La geometría plana del sistema LTP facilita el uso de los productores que pueden calcular áreas y distancias sin tener que recurrir a la compleja geometría esférica de las coordenadas geodésicas. Aunque el origen es local e invariable, los usuarios sí pueden variar la resolución de las mallas según convenga a las aplicaciones desarrolladas, sin perjuicio de la generalidad del método.

En la actualidad existen cuatro tipos de tecnología para obtener información de los cultivos: técnicas portátiles, técnicas de teledetección, técnicas aéreas, y técnicas de detección terrestre. Para extensiones de terreno muy grandes (cientos y miles de hectáreas), como en Chile, California, Australia y Nueva Zelanda, se han utilizado técnicas que utilizan imágenes desde satélites, iniciado por investigadores de la NASA que tenían accesible esta tecnología y que extendieron al uso agrícola para generar mapas de parcelas con fotografías desde satélite. Si se quisiera aplicar esta tecnología a pequeños territorios de muy pocas hectáreas por parcela como en España, los minifundios, resultaría excesivamente cara y compleja, así como desajustada a las economías de pequeña escala de productores con limitados recursos. Además, el procesamiento de datos llevaría tiempo y resultaría demasiado complejo para un viticultor, que no tendría más remedio que estar a expensas de otras empresas externas. Las aplicaciones que utilizan aviones y aparatos aéreos no tripulados, aparte de que todavía están en pleno desarrollo, tienen importantes desventajas similares a los sistemas por satélite: precio, tasa de actualización baja, dependencia para analizar la

información, tamaño mínimo de superficie para rentabilizar un vuelo (normalmente 100 ha), etc.

Otro grupo interesante de técnicas no invasivas para monitorizar cultivos emplea aparatos portátiles para la obtención de información en parcela. Estos sistemas tienen el grave inconveniente de resultar muy costosos debido al tiempo necesario para la obtención y análisis de datos. Algunos aparatos los llevan las personas en mano y van muestreando el cultivo; otros, que pueden ser adaptados para su uso sobre vehículos, utilizan técnicas de escaneado sobre franjas estrechas que perciben sólo una pequeña parte de los cultivos, siendo por tanto muy limitados y habitualmente lentos, además de estar específicamente concebidos para cultivos extensivos.

El último grupo de técnicas para monitorizar cultivos incluye el conjunto de tecnologías para detección terrestre (proximal sensing), grupo al que pertenece la metodología desarrollada en la presente tesis doctoral. En la actualidad no hay sistemas comerciales que llenen este nicho tecnológico, y por tanto se están desarrollando multitud de aplicaciones dado su interés práctico. La metodología propuesta, reúne todas las características positivas de las técnicas de detección terrestre: coste moderado, total control del operario, gestión simple de la información, y alta resolución en comparación con imágenes remotas. Además, el sistema propuesto puede usarse en cualquier vehículo, ya que es fácilmente adaptable y totalmente portátil. Para las pruebas de campo sólo hizo falta una barra telescópica de aluminio para montar el sistema de percepción en la cabina del tractor. La metodología desarrollada es igualmente válida en cultivos extensivos e intensivos, ya estén las plantas alineadas en hileras, calles, o proporcionando cobertura total de la superficie. La interfaz gráfica diseñada para controlar el sistema de

adquisición de datos es fácil de utilizar y puede utilizarse por cualquier persona no especialista en estas tecnologías, ya que se ha diseñado con el objetivo de no superar en dificultad el uso de un teléfono móvil. Otra de las grandes ventajas que presenta este sistema es que la estructura del vehículo apenas se modifica, huyendo de estructuras grandes y aparatosas propuestas en técnicas alternativas de detección terrestre. El hecho de utilizar referencias globales facilita que los mapas se puedan generar mientras el productor utiliza el vehículo para otras labores, ya que si pasa dos veces por el mismo sitio la información se actualiza, y si queda una zona sin monitorizar, puede completarse en misiones posteriores. El hecho de no necesitar un vehículo especializado y ni siquiera tener que generar los mapas en trayectorias definidas proporciona gran flexibilidad al productor y gran versatilidad al sistema, que a la larga va a repercutir positivamente en un ahorro.

En esta tesis se ha propuesto un método de trabajo que se ha validado en campo a través de un sistema real montado en un tractor convencional. La capacidad predictiva de los modelos elaborados se ha demostrado a través de un análisis estadístico exhaustivo, y ha puesto de manifiesto la conveniencia de utilizar los mapas de cultivo según se han enunciado en la metodología. Estudios y extensiones futuras de este trabajo deberían robustecer los modelos propuestos añadiendo información de campañas sucesivas, incorporar más parámetros basados en tecnologías no invasivas y registrados automáticamente, y poner algunos prototipos al alcance de usuarios locales para que sus necesidades reales en campo se vayan incorporando al sistema y así lo hagan cada vez “más inteligente”, lo que en definitiva significa más útil para el viticultor, el usuario final que puede sacar rendimiento al sistema y dar sentido a esta investigación.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES E INVESTIGACIONES FUTURAS

6.1 CONCLUSIONES

El objetivo trazado al inicio de esta investigación fue el desarrollo de un método que mejorara la gestión de los viñedos basado en nuevas tecnologías, ya que a pesar de que el buen vino se hace en el campo y no en la bodega, gran parte de la tecnología introducida en este sector lo ha hecho exclusivamente a nivel de bodega. La Viticultura de Precisión surge, fundamentalmente, con la finalidad de suplir esta carencia, pero la complejidad en los sistemas desarrollados, en su mayor parte por investigadores y doctorandos, ha llevado a tasas de adopción muy bajas en países industrializados poseedores de grandes explotaciones, e inexistentes en el resto. Aunque el sistema propuesto dista de un producto comercial, la filosofía imbuida en su génesis la hace muy atractiva para pequeñas y medianas explotaciones vitícolas. En primer lugar se ha intentado reducir la complejidad del sistema de percepción a una cámara trabajando en el rojo e infrarrojo. Añadir más cámaras hace

el sistema más sofisticado, y si se incorporan cámaras multiespectrales, se encarecería lo suficiente para generar rechazo de inmediato. La utilización de un sistema GPS, o más propiamente dicho, de sistemas GNSS, proporciona la propiedad de inmutabilidad en el tiempo que necesitan los productores, ya que la recopilación de datos históricos para cada parcela es la clave que garantiza la solidez de los modelos. El software desarrollado, aún siendo intrínsecamente complejo, se ha diseñado de manera que su uso sea muy intuitivo. De la misma manera, los viticultores hablarán de celdas ubicadas en ejes norte y este y medidas en metros, lo que hace el sistema intuitivo para gente de campo, no habituada a situar sus vides por la latitud y longitud, que además de implicar coordenadas esféricas de uso exclusivo para especialistas, no tienen un origen bien definido; el origen de la tierra nadie sabe dónde está, pero el origen de la parcela es un punto por donde pasa el vehículo con frecuencia.

La metodología propuesta y el sistema que le proporciona un cuerpo físico, se han desarrollado entre los años 2010 y 2013, realizando pruebas de campo en cuatro parcelas ubicadas en Valencia, Turís, y Requena. La cantidad ingente de datos recopilados a lo largo de todas estas pruebas han servido para validar las hipótesis planteadas, pero se necesitarían muchos más datos para robustecer el sistema y aumentar su fiabilidad. Cada modelo predictivo elaborado en este trabajo está adaptado a una parcela en concreto, por tanto, aunque la metodología tiene carácter universal, las ecuaciones matemáticas que correlacionan variables quedan ligadas a una parcela específica; de ahí la importancia de utilizar un origen de coordenadas local. Sin embargo, cada productor debe gestionar sus parcelas, y poco interés va a mostrar en modelos predictivos ajustados a otras latitudes. Aunque los mapas de cultivo quedan personalizados para cada parcela, su resolución puede cambiarse

a discreción del usuario, en cualquier momento, y siguiendo un proceso totalmente reversible.

Además de la metodología general, se proporciona una arquitectura de sistema muy particular, donde el sensor de percepción (la cámara digital), sus complementos y parámetros (lentes, filtros, resolución, velocidad de obturación), el sensor de localización (GPS), y la integración de todos los elementos en un vehículo comercial quedan definidos. Más que los resultados concretos a los que se ha llegado, lo más importante es el procedimiento y la filosofía seguida; otro tipo de arbolado, e incluso un viñedo con diferente porte, muy probablemente necesitará modificar la arquitectura inicial, pero si se entiende y acepta cómo se ha hecho en este caso, la adaptación a otra situación debe ser plausible sin mayores esfuerzos. En nuestro caso, la vegetación exuberante funcionó bien con una lente de 8 mm, mientras que plantas menos vigorosas fueron mejor monitorizadas con la lente de 12 mm. Pero esta valoración depende, en primera instancia, de la definición de porcentaje de vegetación y de cómo se ha estimado la variación espacial del vigor. Al final, a modo de conclusión, lo más importante no es en qué medida la variable estadística vegetación se correlaciona con los demás, sino que se ha desarrollado un método que nos permite debatir y representar cómo todos los parámetros introducidos en el sistema – vegetación, desnivel, altura, rendimiento, acidez, alcohol probable, peso, y tamaño de la uva– se distribuyen en la parcela año tras año.

6.2 TRABAJO FUTURO

Como suele ocurrir siempre tras finalizar un proyecto largo de investigación, las tareas más inminentes que siempre se citan como trabajo futuro suelen ir encaminadas a resolver todas aquellas dificultades surgidas a lo largo del camino y que la falta de tiempo o

recursos no permitió atender. Este trabajo no es la excepción, y en este sentido todavía queda por resolver la discrepancia entre suelos con alta reflectancia e iluminación directa. El perfeccionamiento de la segmentación dinámica podría acometerse incorporando métodos de segmentación avanzados como los basados en agrupación de píxeles mediante algoritmos de máquinas de soporte vectorial; además, se probarán soluciones mediante la percepción RGB, en color, o bien mediante filtros multi-banda. La naturaleza de los suelos es determinante para el éxito del algoritmo; en concreto, los suelos arcillosos son altamente reflectantes mientras que los suelos calizos, frecuentes en viñedos australianos, absorben mejor la radiación solar. La percepción multiespectral queda como una posibilidad más remota por su coste, pero es de esperar un descenso en este tipo de sensores, igual que ocurre con las cámaras termográficas. También es importante optimizar el programa generador de mapas automáticos para que adapte la frecuencia de muestreo a la velocidad de avance del vehículo, de manera que cuando el vehículo está estático no se tomen imágenes, cuando navega a baja velocidad tome un número de imágenes que no se solapen en más de un 20%, pero que si el vehículo realiza labores de velocidad alta (5-12 km/h) como abonado y aplicación de fitosanitarios, el sistema de muestreo sea lo suficientemente inteligente para que no aparezcan huecos entre imágenes y la fila se monitorice al completo.

La continuidad de un trabajo aplicado como este no puede garantizarse sin la incorporación del productor en el proceso de desarrollo. Para ello se deberían construir prototipos más compactos e incluso elaborar una versión de software más simple para la iniciación de un grupo de viticultores escogido por su interés en la incorporación de tecnología. Cada viticultor confeccionaría mapas de cultivo en la medida

de sus posibilidades para establecer modelos predictivos asociados a su parcela experimental.

Una de las ventajas de esta metodología es que permite la integración de información generada automáticamente por la cámara y el receptor GPS con información obtenida por métodos tradicionales, como ha ocurrido en nuestro caso con el rendimiento, acidez, alcohol, y tamaño de los granos. Sin embargo, la idea es que en un futuro todas las medidas sean automatizadas, y por tanto mucha investigación debe encaminarse a la monitorización no invasiva y a tiempo real de los cultivos. Este proceso ya ha comenzado, y el mapa de rendimientos que en este trabajo se ha elaborado mediante pesaje parcial de la uva, cosechadoras australianas ya lo hacen automáticamente a tiempo real. De la misma manera, el Multiplex[®], es un sensor de origen francés (A-Force) que permite estimar la madurez fenólica en tiempo real. Cuando lleguen nuevos sensores para medir estos parámetros, y otros muchos que se desarrollarán en tiempos venideros, la metodología propuesta en este trabajo los integrará con la misma facilidad como lo hace ahora con los muestreos manuales, siendo los mapas nuevos totalmente compatibles con los efectuados ya previamente.

Las ecuaciones resultantes del análisis estadístico están adaptadas y ligadas a cada parcela monitorizada. No obstante, asumiendo la variabilidad propia de los sistemas biológicos, cabe preguntarse si es posible desarrollar modelos generales que proporcionen una primera aproximación a las predicciones deseadas, que posteriormente sean corregidas localmente con las ecuaciones propias de cada parcela. Sería un sistema como la localización global; la señal de origen gratuito proporciona una posición aproximada pero luego son las correcciones diferenciales las que aportan mayores precisiones. El hecho de disponer

de modelos generales puede ser útil para gestionar áreas más grandes provenientes de cooperativas agrícolas o incluso denominaciones de origen.

CAPÍTULO 7

CONTRIBUCIÓN DE ESTA INVESTIGACIÓN: PREMIOS Y ARTÍCULOS DERIVADOS DE LA TESIS DOCTORAL

7.1 ARTÍCULOS CIENTÍFICOS PUBLICADOS EN REVISTAS CON REVISIÓN POR PARES

- Sáiz-Rubio, V. y Rovira-Más, F. 2012. “Dynamic segmentation to estimate vine vigor from ground images”. Spanish Journal of Agricultural Research, 10(3): 596-604.
- Sáiz-Rubio, V. y Rovira-Más, F. 2013. “Proximal sensing mapping method to generate field maps in vineyards”. CIGR E-Journal. En proceso de edición.

7.2 ARTÍCULOS CIENTÍFICOS PRESENTADOS EN CONFERENCIAS

- Sáiz-Rubio, V. y Rovira-Más, F. “Comparative study of architectures for automatic sensing of vine vigor”. Automation Technology for Off-road Equipment Conference (ATOE), International Conference of Agricultural Engineering, CIGR-AgEng2012. Valencia, 9-12 Julio 2012. ISBN 978-84-615-9654-6.
- Sáiz-Rubio, V. y Rovira-Más, F. “Confección de mapas globales de vigor vegetativo en vid basados en visión artificial”. VI Congreso Ibérico de Agroingeniería 2011. Évora, Portugal, Septiembre 2011. ISBN 978-972-778-113-3.
- Sáiz-Rubio, V. y Rovira-Más, F. “Aplicación de la Agricultura de Precisión al viñedo: retos y soluciones”. VII Congreso Ibérico de Agroingeniería y Ciencias hortícolas 2013. Madrid, España, Agosto 2013. Enviado.

7.3 PREMIOS NACIONALES

- Certamen **VALENCIA IDEA 2011**, galardonado por el Excmo. Ayuntamiento de Valencia al proyecto de investigación “*Mejora de la calidad de los vinos valencianos mediante GPS y visión artificial*”. El premio se otorga a las ideas innovadoras de jóvenes investigadores y fue concedido dentro del apartado Tecnologías de la Información y Comunicaciones en Valencia el 28 de septiembre de 2011.

7.4 PREMIOS INTERNACIONALES

- **FARMING BY SATELLITE PRIZE - 2012 Edition.** Tercer premio concedido al proyecto “*VitiSmart, digital maps for limited-size vineyards*”. Este premio europeo se otorga a jóvenes investigadores que propongan ideas innovadoras que apliquen sistemas de posicionamiento y navegación por satélite en la agricultura europea. Está organizado por la Agencia Europea de Navegación por Satélite GSA y patrocinado por las multinacionales germanas Claas y Bayer Crop Science. Fue concedido en París el 25 de febrero de 2013.
- **ARMAND BLANC PRIZE.** Premio al artículo científico “*Comparative study of architectures for automatic sensing of vine vigor*”. Este premio está patrocinado por la CIGR (Comisión Internacional de Ingeniería Rural) y fue otorgado durante la conferencia International Conference of Agricultural Engineering, CIGR-AgEng2012, celebrada en Valencia en julio de 2012. Este premio destaca los mejores artículos escritos por jóvenes investigadores.
- **EDMUND OPTICS RESEARCH AWARD.** Galardón internacional concedido el 10 de octubre de 2011 por la multinacional estadounidense Edmund Optics, líder mundial en óptica, láser y fotónica, al proyecto de investigación “*Vigor maps from ground-based imagery for precision viticulture*” por su innovadora aplicación de la tecnología óptica a un proyecto con notable interés práctico.

REFERENCIAS

BIBLIOGRÁFICAS

- Alchanatis, V., Cohen, Y., Cohen, S., Moller, M., Meron, M., Tsipris, J., Orlov, V., Naor, A., Charit, Z. 2006. Fusion of IR and multispectral images in the visible range for empirical and model based mapping of crop water status. ASAE Paper No. 061171. ASABE Conference, 9-12 July 2006, Portland, OR.
- Aleixandre, J.L. 1999. Vinos y bebidas alcohólicas. Servicio de publicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia.
- Aranzabal, G., Beneyto, L.M., Castro Medina, E. 2008. V Encuentro Enológico. Informe técnico. Control del viñedo en los vinos de calidad. Fundación para la cultura del vino, Madrid.
- Archer, E., Hunter, J. 2005. Vine roots play an important role in determining wine quality. <http://www.wynboer.co.za/recentarticles/200503vineroots.php3>. [Acceso el 22/02/2012].
- Baumgardner, M.F., Silva, L.F., Biehl, L.L., Stoner, E.R. 1985. Reflectance properties of soils. Advances in Agronomy. Vol. 38. Academic Press, Inc.

- Baeza, P. 2008. Morfología de la planta de vid (*Vitis vinifera*, L.). Grupo de investigación en viticultura de la UPM. Libro electrónico. <http://ocw.upv.es/produccion-vegetal/viticultura/contenidos/tema1morfologia.pdf>. [Acceso el 29/06/2011].
- Barnes, E.M., Baker, M.G. 2000. Multispectral data for mapping soil texture: Possibilities and Limitations. *Applied Engineering in Agriculture*. VOL. 16(6): 731-741.
- Berchar, A. 2010. Robotics in horticultural field production. *Postharvest Review*. Vol.6(3): 1-11.
- Best, S., León, L., Claret, M. 2005. Use of precision viticulture tools to optimize the harvest of high quality grapes. *Information and Technology for Sustainable Fruit and Vegetable Production*. En proceedings de FRUTIC 05. Montpellier, France.
- Best, S., Gatica, G., León, L. 2009. Development of an assessment model of water stress of a Var. Merlot vineyard, based on the use of infrared thermography. En las actas del Congreso de Frutic Chile 2009. Concepción, Chile.
- Best, S., León, L., Flores, F., Aguilera, H., Quintana, R., Concha, V. 2011. Handbook. *Agricultura de Precisión*. Progap - INIA (Programa de Agricultura de Precisión. Manual descargado desde: <http://www.elsitioagricola.com/CultivosExtensivos/LibroIniaAP/lilib3.asp>. [Acceso el 15/09/2012].
- Blackmore, S., 2003. The role of yield maps in precision farming. Tesis doctoral. Cranfield University, Silsoe, Inglaterra.
- Blouin, J., Guimberteau, G. 2004. *Maduración y madurez de la uva*. Ediciones Mundi-Prensa. ISBN: 84-8476-159-2.

- Bodin, F., Morlat, R. 2006. Characterization of viticultural terroirs using a simple field model based on soil depth I. Validation of the water supply regime, phenology and vine vigor, in the Anjou vineyard (France). *Plant and soil*. Vol 281: 37 - 54.
- Bovet-Pla, I., López-Querol, A. 1988. *El cultivo moderno y rentable de la vid*. Editorial de Vecchi, S.A. ISBN: 84-315-0547-8.
- Bramley, R., Williams, S. 2001. A protocol for the construction of yield maps from data collected using commercially available grape yield monitors. Cooperative Research Center for Agriculture. http://www.cse.csiro.au/client_serv/resources/CRCVYield_Mapping_Protocol.pdf. [Acceso el 05/01/11].
- Bramley, R., Proffitt, A.P.B., 1999. Managing variability in viticultural production. *The Australian & New Zealand Grapegrower & Winemaker* Vol. 427: 11-16.
- Bramley, R. 2005. A protocol for the construction of yield maps from data collected using commercially available grape yield monitors. Suplemento No.1. Febrero. http://www.cse.csiro.au/client_serv/resources/protocol_supp1.pdf. [Acceso el 08/01/11].
- Bramley, R., Kleinlagel, B., Ouzman, J. 2008. A protocol for the construction of yield maps from data collected using commercially available grape yield monitors. Suplemento No.2 - Accounting for convolution in grape yield mapping. Abril. http://www.cse.csiro.au/client_serv/resources/protocol_supp2.pdf. [Acceso el 09/01/10].
- Bramley, R., Gobbet, D., Praat, J.P. 2007. A proximal canopy sensor - A tool for managing vineyard variability and adding value to

viticultural research. Grape and wine research and Development corporation. Final report. Project number CSL 06/01 (July 2007).

Bramley, R.G.V., Trought, M.C.T., Praat, J.P. 2011a. Vineyard variability in Malborough, New Zealand: characterising variation in vineyard performance and options for the implementation of Precision Viticulture. Australian Journal of Grape and Wine Research. Vol. 17: 72-78.

Bramley, R., Ouzman, J., Boss, P.K. 2011b. Variation in vine vigour, grape yield and vineyard soils and topography as indicators of variation in the chemical composition of grapes, wine and wine sensory attributes. Australian Journal of Grape and Wine Research. Vol. 17(2): 217 - 229.

Brown, R.B., Lamb, D.W., Sidahmed, M.M., 2004. Using grape leaf reflectance for spatially variable vineyard management. 2004 ASAE Annual Meeting, Paper number 041078.

Cerovic, Z. G., Goutouly, J., Hilbert, G.-P., Destrac-Irvine, A., Martinon, V., Moise, N. 2009. Mapping winegrape quality attributes using portable fluorescence-based sensors. FRUTIC 09 (S. Best ed.) Conception, Chile. Progap INIA. Chillian, Chile, Pp. 301-310.

Cetin, H., Pafford, J.T., Mueller, T.G. 2005. Precision agriculture using hyperspectral remote sensing and GIS. Recent Advances in Space Technologies. RAST 2005. En las actas de la 2^a Conferencia Internacional. Pp. 70 - 77.

Chaerle, L., Van Der Straeten, D. 2000. Imaging techniques and the early detection of plant stress. Trends in plant science. Noviembre. Vol. 5 (11): 495-501.

- Crowe, T. G., Noble, S. D. 2005. Analysis of crop and weed leaf diffuse reflectance spectra. Transactions of the ASAE. Vol. 48, (6): 2379-2387.
- Currie, D.R. 2007. Soil physical degradation due to drip irrigation in vineyards: evidence and implications. Tesis doctoral. Universidad de Adelaida (Australia), School of Earth and Environmental Sciences.
- Filella, I., Peñuelas, J. 1999. Altitudinal differences in UV absorbance, UV reflectance and related morphological traits of *Quercus ilex* and *Rhododendron ferrugineum* in the Mediterranean región. Plant Ecology. 145: 157-165.
- Gadoury, D. M., Seem, R.C., Pearson, R.C., Wilcox, W.F., Dunst, R.M. 2001. Effects of powdery mildew on vine growth, yield, and quality of concord grapes. Plant disease. Vol. 85 (2): 137-140.
- García-Escudero E., Ibáñez S., Villar M., García C., Romero I., López D., Zaballa, O., González, G. 2006. Influencia del riego sobre parámetros de calidad del mosto en las variedades Tempranillo, Garnacha tinta, Graciano y Cabernet Sauvignon. Enólogos. Vol. 41.
- García-Escudero E. 2005. El aclareo de racimos como herramienta adecuada para el manejo del potencial productivo en el cultivo de la vid. Jornada técnica del proyecto SINERGIA "Control del vigor y el rendimiento en el marco de una Viticultura de calidad". Ponencia publicada. 25 de noviembre de 2005.
- García-Pérez, A. 2008. Estadística aplicada: conceptos básicos. Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), Madrid. ISBN: 978-84-362-5563-8.

- Giles, K., Downey, D. 2001. Quality control verification and mapping system for chemical application. ASAE Meeting Paper No. 01-1049. ASABE Conferencia, 30 Julio - 1 Agosto. Sacramento, California, EEUU.
- Gobron, N. 2008. Leaf Area Index (LAI). Disponible en línea en: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/011/i0197e/i0197e15.pdf> [Acceso el 29/03/2011]
- Goutouly, J.P., Drissi, R., Forget, D., Gaudillère, J.P. 2006. Characterization of vine vigour by groundbased NDVI measurements. VI International Terroir Congress. Bordeaux, Francia. Pp. 237 - 241.
- Graeff, S., Link, J., Claupein, W. 2006. Identification of powdery mildew (*Erysiphe graminis* sp. *tritici*) and take-all disease (*Gaeumannomyces graminis* sp. *tritici*) in wheat (*Triticum aestivum* L.) by means of leaf reflectance measurements. Central European Journal of Biology. Vol. 1 (2): 275-288.
- Grifoni, D., Carreras, G., Zipoli, G., Sabatini, F., Dalla Marta, A., Orlandini, S. 2008. Row orientation effect on UV-B, UV-A and PAR solar radiation components in vineyards at Tuscany, Italy. International Journal of Biometeorology. Volume 52 (8): 755-763.
- Baeza, P. 2008. Morfología de la vid (*Vitis vinifera*, L.). Grupo de investigación en Viticultura - UPM. Universidad Politécnica de Madrid. Página web: <http://ocw.upm.es/produccion-vegetal/viticultura/contenidos/tema1morfologia.pdf>
- Guisande-González, C., Barreiro Felpeto, A., Maneiro Estraviz, I., Riveiro Alarcón, I., Vergara Castaño, A.R., Vaamonde Liste, A. 2006. Tratamiento de datos. Ed. Diaz de Santos. ISBN: 84-7978-736-8.

- Hall, A., Lamb, D.W., Holzapfel, Louis, J. 2002. Optical remote sensing applications in viticulture - a review. Australian Journal of Grape and Wine Research. Vol. 8: 36 - 47.
- Hahn, F. 2009. Actual pathogen detection: sensors and algorithms - A review. Algorithms. Vol. 2 (1): 301-338.
- Hidalgo-Togores, J. 2006. La calidad del vino desde el viñedo. Ed. Mundi-Prensa. ISBN 84-8476-279-3.
- Hossne, A.J. 2004. Evaluación terramecánica del crecimiento radical en un suelo ultisol de sabana del Estado Monagas, Venezuela. UDO Agrícola 4(1): 42-52.
- Hubble, G. 2012. Baumé and Brix. The Wine Guy. Artículo del 12 Junio de 2012. Publicado en <http://gavinhubble-wineblogs.blogspot.com.es/2012/06/baume-brix.html>. Acceso el 16 de octubre de 2012.
- Infoagro. www.infoagro.com. La Compactación De Los Suelos Agrícolas (Origen, Efectos, Prevención Y Corrección). Comisión Nacional de Riego. Último acceso el 12 de febrero de 2013.
- Johnson, L.F., Roczen, D., Yukhana, S. 2001a. Vineyard canopy density mapping with IKONOS satellite imagery. Presented at the Third International Conference on Geospatial Information in Agriculture and Forestry, Denver, Colorado, 5-7 November 2001.
- Johnson, L.F., Bosch, D. F., Williams, D.C., Lobitz, B.M. 2001b. Remote sensing of vineyard management zones: implications for wine quality. Applied Engineering in Agriculture. Vol. 17 (4): 557-560.
- Johnson, L. F., Roczenc, E., Youkhanac, S.K., Nemanid, R.R., Bosche, D.F. 2003a. Mapping vineyard leaf area with multispectral satellite

imagery. *Computers and Electronics in Agriculture*. Vol. 38 (1): 33-44.

Johnson, L. F. 2003b. Temporal stability on a NDVI-LAI relationship in a Napa Valley vineyard. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. Vol. 9: 96-101.

Kim, Y., Reid, J.F., Hansen, A., Zhang, Q., Dickson, M. 2001. Ambient Illumination effect on a spectral image sensor for detecting crop nitrogen stress. Paper ASAE number 011178. ASABE Conference. 30 Julio - 1 Agosto, Sacramento, CA, EEUU.

Kim, Y., Glenn, D.M., Park, J., Ngugi, H.K., Lehman, B.L. 2010. Active spectral sensor evaluation under varying conditions. ASABE Annual International Meeting. Pittsburg, Pennsylvania, EEUU. Paper ASAE number 1009111.

Knipling, E.B. 1970. Physical and Physiological Basis for the Reflectance of Visible and Near-Infrared Radiation from Vegetation. *Remote Sensing of Environment*. Vol 1: 155-159.

Lacar, F.M., Lewis, M.M., Grierson, I.T. 2001. Use of hyperspectral imagery for mapping grape varieties in the Barossa Valley, South Australia. *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2001. IGARSS '01. IEEE 2001 International, Sydney, Australia*. Vol 6: 2875 - 2877.

Lamb, D., Hall, A., Louis, J. 2001. Airborne remote sensing of vines for canopy variability and productivity. *Australian Grapegrower & Winemaker*. Vol 449a: 89-92.

Lamb, D.W., Weedon, M.M., Bramley, R. 2004. Using remote sensing to predict grape phenolics and colour at harvest in a Cabernet Sauvignon vineyard: Timing observations against vine phenology

and optimising image resolution. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. Vol. 10: 46-54.

D.M. Lanyon, A. Cass and D. Hansen. 2004. The effect of soil properties on vine performance. CSIRO Land and Water Technical Report No. 34/04-October 2004.

Madrid-Cenzano, J., Madrid-Vicente, A., Moreno-Tejero, G. 2003. *Análisis de vinos, mostos y alcoholes*. Ed. Mundi-Prensa. ISBN 84-8476-132-0.

McCarthy, C.L., Hancock, N.H., Raine, S.R. 2010. Applied machine vision of plants - A review with implications for field deployment in automated farming operations. *Intelligent Service Robotics*, Vol. 3(4): 209-217. ISSN 1861-2776.

Moreno-Vigara, J.J., Peinado-Amores, R.A. 2010. *Química Enológica*. Ed. Mundi-Prensa.

Möller, M., Alchanatis, V., Cohen, Y., Meron, M., Tsipris, J., Naor, A., Ostrovsky, V., Sprintsin, M., Cohen, S. 2006. Use of thermal and visible imagery for estimating crop water status of irrigated grapevine. *Journal of Experimental Botany Advance Access published September 12*: 1-12.

Ough, C.S., Berg, H.W. 1979. Powdery mildew sensory effect on wine. *American Journal of Enology and Viticulture*. Vol. 30 (4): 321.

Peña, D. 2010. *Análisis de datos multivariantes*. Ed. MC Graw Hill. ISBN: 978-84-481-3610-9.

Peñuelas, J., Filella, I. 1998. Visible and near-infrared reflectance techniques for diagnosing plant physiological status. *Trends in plant science*. Vol. 3 (4): 151-156.

- Praat, J.P., Bollen, A.F., Irie, K. 2004. New approaches to the management of vineyard variability in New Zealand. The 12th Australian Wine Industry Technical Conference Workshop 30B - Managing vineyard variation (Precision Viticulture).
- Price, R.R. 2009. Other Ways to Obtain NDVI data using Field Sensors - Greenseeker, Crop Circle, Yara, etc. [en línea]. Disponible en: <http://www.bae.ksu.edu/precisionag/Remote%20Sensing/Other%20Ways%20to%20Obtai%20NDVI%20data%20greenseeker%20etc.htm>. Referencia del 29 de marzo de 2011.
- Rees, S., Doyle, R. 2010. Effect of soil properties on Pinot Noir vine vigor and root distribution in Tasmanian vineyards. World Congress of Soil Science Soil Solutions for a Changing World (2010).
- Rius, X. 2005. Apuntes de viticultura australiana. Agro Latino, S.L. Barcelona, 2005. Viticultura y Enología, nº 5.
- Rovira-Más, F., Zhang, Q., Reid, J.F. 2005. Stereo vision three-dimensional terrain maps for precision agriculture. Computers and Electronics in Agriculture. Vol. 60 (2): 133-143.
- Rovira-Más, F. 2010. Sensor Architecture and Task Classification for Agricultural Vehicles and Environments. Sensors. Vol. 10 (12): 11226-11247.
- Rovira-Más, F., Zhang, Q., Hansen, A.C.. 2010. Mechatronics and Intelligent Systems for Off-Road Vehicles. Ed. Springer 2010.
- Rovira-Más, F., Banerjee, R. 2013. GPS data conditioning for enhancing reliability of automated off-road vehicles. Journal of Automobile Engineering. Vol. 227(4): 521-535

- Sáiz-Rubio, V., Rovira-Más, F. 2012a. Dynamic segmentation to estimate vine vigor from ground images. Spanish Journal of Agricultural Research Vol. 10(3): 596-604.
- Sáiz-Rubio, V., Rovira-Más, F. 2012b. Comparative Study of Architectures for Automatic Sensing of Vine Vigor. Conferencia paralela en la CIGR-Ageng2012: ATOE (Valencia, España). Actas de Congreso: ISBN: 978-84-615-9654-6.
- Serrano-Gallego, R. 2003. Introducción al análisis de datos experimentales: tratamiento de bioensayos. Publicaciones de la Universidad Jaume I (Castelló), D.L. Colección: Ciències experimentals, número 4.
- Sethuramasamyraja, B., Sachidhanantham, S., Yen, M., Wample, R.. 2007. Interpolation of wine grape quality indicators (Anthocyanin and Brix) and development of differential harvest attachment. ASABE Annual Meeting. Paper No. 071097. ASABE Conference. Minneapolis (MN), EEUU.
- SIGPAC .<http://sigpac.mapa.es/fega/visor>. Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrícolas. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Último acceso el 10 de febrero de 2013.
- Tardáguila, J., Barragán F., Yanguas R., Diago M.P. 2008. Estimación de la variabilidad del vigor del viñedo a través de un sensor óptico lateral terrestre. Aplicación en la viticultura de precisión. VI Foro Mundial del Vino. Logroño, 23-25 abril 2008.
- Tardáguila, J., Diago M.P. 2008. Viticultura de precisión. Principios y tecnologías aplicados en el viñedo. VI Foro Mundial del Vino. Logroño, 23-25 abril 2008

- Taylor, J., Tisseyre, B., Praat, J.P. 2005. Bottling Good Information: Mixing Tradition and Technology in vineyards Information and Technology for Sustainable Fruit and Vegetable Production. En actas de FRUTIC 05, 12 . Septiembre 2005, Montpellier Francia.
- Towers, P.C., von Martini, A.F. 2002. Conceptos iniciales de teledetección y su aplicación al Agro [en línea]. Descargado el 28 de febrero de 2012. Disponible en la página web: <http://www.elsitioagricola.com/Soft/agrisat/libroTeledeteccion.asp>
- Towers, P.C., von Martini, A.F., Bonich, R.M., Szuhi, P., Lavorano, M., Montenegro, M. 2009. AgriSat S.A. - Percepción Remota Aplicada [en línea]. Referencia del 28 de febrero de 2012. Disponible en: www.agrisat-sa.com.ar.
- Trought, M.C.T, Bramley, R.G.V. 2011. Vineyard variability in Malborough, New Zealand: characterising spatial and temporal changes in fruit composition and juice quality in the vineyard. Australian Journal of Grape and Wine Research. Vol. 17: 79-89.
- Verhoeven, G.J., Schmitt, K.D. 2010. An attempt to push back frontiers - digital near-ultraviolet aerial archaeology. Journal of Archaeological Science. Vol. 37: 833-845.
- Vila, H., Perez-Peña, J., García, M, Vallone, R., Mastrantonio, L., Olmedo, G., Rodríguez Plaza, L., Salcedo, C. 2007. Estimación de biomasa en viñedos mediante imágenes satelitales y aéreas en Mendoza, Argentina. TELEDETECCIÓN - Hacia un mejor entendimiento de la dinámica global y regional. Ed. Martin, 2007, ISBN: 978-987-543-126-3.

- Vitinote. ©2006 Cooperative Research Centre for Viticulture en <http://www.crcv.com.au/viticare/vitinotes/Viti-Notes/vineyard%20activity%20guides/Vineyard%20activities%2007%20Measuring%20soil%20strength.pdf>
- Wample, R.L., Mills, L., Davenport, J.R. 1999. Use of precision farming practices in grape production. Proceedings of IV International Conference on Precision Agriculture. St Paul, MN, USA, Julio 19-22. Pp. 897-905.
- Weekley, J. G. 2007. Multispectral imaging techniques for monitoring vegetative growth and health. Tesina de máster. Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Wehrhan, M.J.G., Selige, T.M. 1997. Airborne remote sensing to support precision farming. Geoscience and Remote Sensing. IGARSS '97. Remote Sensing - A Scientific Vision for Sustainable Development., 1997 IEEE International. Vol. 1: 101-103. 3-8 Aug 1997.
- Yuste, J. 2005. Factores de desequilibrio en la vid. Alternativas para el manejo eficaz del potencial vegetativo hacia el equilibrio del viñedo. Jornada técnica del proyecto SINERGIA “Control del vigor y el rendimiento en el marco de una Viticultura de calidad”. Ponencia publicada. 25 de noviembre de 2005.

ANEJOS

ANEJO 1: ESPECIFICACIONES DE LA CÁMARA MONOCULAR JAI CM - 140GE - UV

Specification table (CM-140GE-UV)

Specifications	CM-140GE-UV
Scanning system	Progressive scan
Frame rate full frame	16.14 frames/sec. Progressive (1052 lines/frame)
Pixel clock	33.75 MHz
Line frequency	16.978 kHz (1H = 58.9 μ s, (1988 pixel clock/line)
CCD sensor	1/2" UV sensitive Monochrome ICX407BLA
Sensing area	6.4 (h) x 4.8 (v) mm 1/2 inch diagonal
Cell size	4.65 (h) x 4.65(v) μ m
Active pixels	1392 (h) x 1040 (v)
Pixels in video output. Full Scan 2/3 partial Scan 1/2 partial Scan 1/4 partial Scan 1/8 partial Scan Vertical Binning Region-of-interest (ROI)	1392 (h) x 1040 (v) 16.14 fps. H = 16.978 kHz 1392(h) x 694 (v) 20.76 fps H= 16.978 kHz 1392 (h) x 520 (v) 24.16 fps. H = 16.978 kHz 1392 (h) x 260 (v) 32.16 fps. H = 16.978 kHz 1392 (h) x 130 (v) 38.41 fps. H = 16.978 kHz 1392 (h) x 520 (v) 25.37 fps. H = 13.370 kHz User Definable. Memory read-out
Sensitivity on sensor (minimum)	0.25 Lux (Max. gain, Shutter OFF, 50% video)
S/N ratio	More than 50 dB (0dB gain)
Digital Video output.	GigE Vision Compliant Mono8, Mono10, Mono10_Packed
Iris video output. Analogue	0.7 V p-p, enabled by internal switch
Gain	Manual -3 to +12 dB
Synchronization	Internal X-tal
GPIO Module Input/output switch Clock Generator (One) Pulse Generators (Four)	Configurable 14-in / 9-out switch 12-bit counter based on 25MHz clock or Pixel clock 20-bit counter programmable for length, start point, stop point, repeat
Hardware Trigger modes	Pre-Select (PS), Pulse Width (PW), RCT, Frame Delay and Sequence
Optical Black area transfer mode	ON / OFF
Event message	SYNC / ASYNC mode (Trigger mode status when exposure starts) Exposure start, Exposure end, Trigger IN, Video start, Video end
Electronic Shutter Preset Shutter speed Programmable exposure Exposure Time (Abs) GPIO plus Pulse Width	OFF(1/31) and 1/60 to 1/10,000 in 9 steps 2L (61.2 μ s) to 1052L (32.2ms) in 1L steps μ sec - user definable. Same range as PE Max. 2 sec (Can be set by 100 μ s unit or Pixel Clock unit)
Control interface	Register based. GigE Vision / GenICam compliant
Functions controlled via GigE Vision Interface	Shutter, Gain, Black Level, Trigger mode, Read out mode, GPIO setup ,ROI (GenICam mandatory functions)
GigE Vision Streaming Control	Packet size, Delayed (Frame) read-out, inter-packet delay Jumbo frame can be set at max. 4K (4040), Default packet size is 1428 Byte.
Indicators on rear panel	Power, Hardware trigger, GigE Link, GigE activity
Operating temperature	-5°C to +45°C
Humidity	20 - 90% non-condensing
Storage temp/humidity	-25°C to +60°C/20% to 90% non-condensing
Vibration	10G (20Hz to 200Hz, XYZ)
Shock	70G

Regulatory	CE (EN61000-6-2 and EN61000-6-3), FCC part 15 class B, RoHS, WEEE
Power	12V DC \pm 10%. 4.1 w
Lens mount	C-mount Rear protrusion on C-mount lens must be less than 10.0mm
Dimensions	44 x 29 x 75 mm (W x H x D) excluding protuberances
Weight	125 g

For stable operation within the above specifications, allow approximately 30 minutes warm up.

Note: Above specifications are subject to change without notice

ANEJO 2: ESPECIFICACIONES DE LAS LENTES

LENTE DE 6 mm DE DISTANCIA FOCAL
No. NT68-674

Edmund Optics Stock

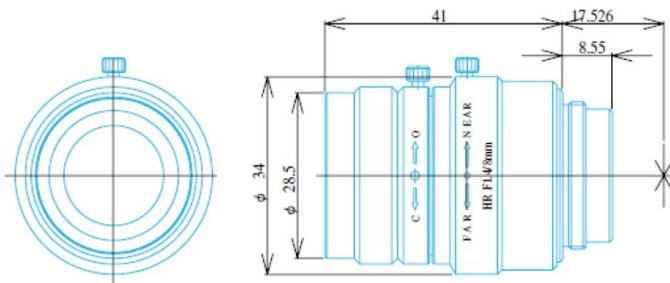
Focal Length FL (mm)	6
Maximum Camera Sensor Format	1/2"
Aperture (f/#)	F1.4 - 16C
Field of View, 1/2" Sensor (°)	57.3
Field of View at Min Working Distance (mm)	174
Working Distance (mm)	200 - ∞
Maximum Rear Protrusion (mm)	8.1
Diameter (mm)	31
Length (mm)	34
Weight (g)	60
RoHS	Compliant

LENTE DE 8 MM DE DISTANCIA FOCAL Goyo Optical Inc.

Industrial Lens

High Resolution Lenses

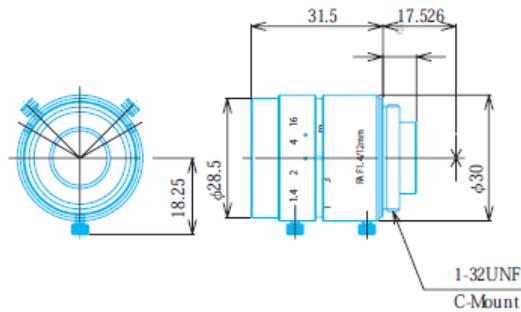
Item No. GMHR38014MCN



ITEM NO.		GMHR38014MCN
Focal Length		8.0 (mm)
Iris Range		F1.4 - Close
Angle of View (H x V x D)	1/2"	42.6° x 32.5° x 52.1°
	2/3"	56.5° x 43.9° x 67.0°
MOD		0.1 (m)
Filter Thread		M=27.5, P=0.5
Dimension (D x L)		φ 34 x 41 (mm)
Weight		83 (g)

LENTE DE 12 MM DE DISTANCIA FOCAL Goyo Optical Inc.

Item No.GMN31214MCN-1

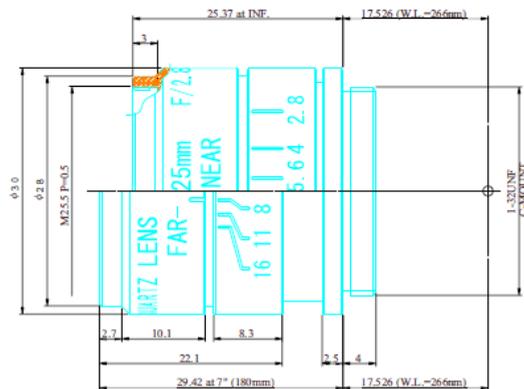


ITEM NO.	GMN31214MCN-1
Focal Length	12 (mm)
Iris Range	F1.4 - 16
Angle of View (HxV x D)	1/2" 30.7 x 23.0 x 38.5 2/3" 42.5 x 31.7 x 53.7
MOD	0.1 (m)
Filter Thread	M=27, P=0.5
Dimension (D x L)	φ 30.0 x 31.5 (mm)
Weight	55 (g)

LENTE DE 25 MM DE DISTANCIA FOCAL

Goyo Optical Inc.

Item No.GMUV42528C

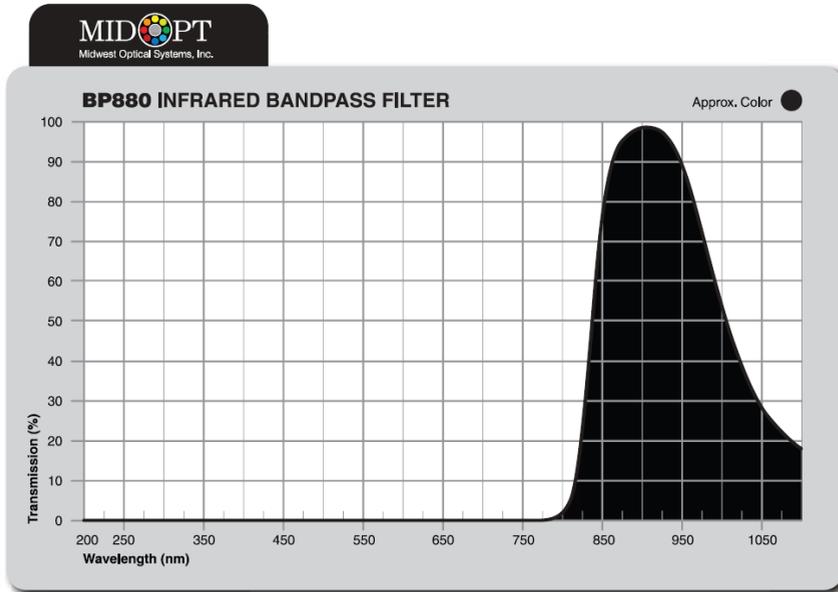


ITEM NO.	GMUV42528C
Focal Length	25 (mm)
Aperture Ratio	F2.8 - 16
Image Circle	16 (mm)
Angle of View at Infinity	29.7 x 22.2 x 37.2°
Optical Distortion	-4.05 (%) (DIAGONAL)
Filter Thread	M=25.5, P=0.5
Mount	C-Mount

All Quartz Lens(3 Groups & 3 Elements). All surface are antireflection coated. MgF2 single coat.
Transmission From UV(230nm,250nm,266nm) to NIR

ANEJO 3: ESPECIFICACIONES DE LOS FILTROS

INFRARROJO 880 nm (MidOpt Inc)



Midwest Optical Systems, Inc. 847-359-3550 www.midopt.com

BP880 Data Points (typical)

WAVELENGTH (nm)	TRANSMISSION (%)	WAVELENGTH (nm)	TRANSMISSION (%)	WAVELENGTH (nm)	TRANSMISSION (%)
1100	17.94	800	1.76	500	0.00
1090	19.38	790	0.63	490	0.00
1080	21.03	780	0.26	480	0.00
1070	23.00	770	0.12	470	0.00
1060	25.42	760	0.06	460	0.00
1050	28.32	750	0.04	450	0.00
1040	31.82	740	0.02	440	0.00
1030	36.02	730	0.00	430	0.00
1020	40.98	720	0.00	420	0.00
1010	46.69	710	0.00	410	0.00
1000	53.18	700	0.00	400	0.00
990	60.39	690	0.00	390	0.00
980	68.17	680	0.00	380	0.00
970	75.95	670	0.00	370	0.00
960	83.11	660	0.00	360	0.00
950	89.20	650	0.00	350	0.00
940	93.58	640	0.00	340	0.00
930	96.45	630	0.00	330	0.00
920	97.96	620	0.00	320	0.00
910	98.54	610	0.00	310	0.00
900	98.70	600	0.00	300	0.00
890	97.66	590	0.00	290	0.00
880	96.12	580	0.00	280	0.00
870	93.76	570	0.00	270	0.00
860	88.45	560	0.00	260	0.00
850	77.03	550	0.00	250	0.00
840	56.95	540	0.00	240	0.00
830	32.44	530	0.00	230	0.00
820	14.17	520	0.00	220	0.00
810	5.12	510	0.00	210	0.00

INFRARROJO 800 nm (Edmund Optics Inc)

800nm CWL, 10nm Bandwidth, 25mm Mounted Diameter

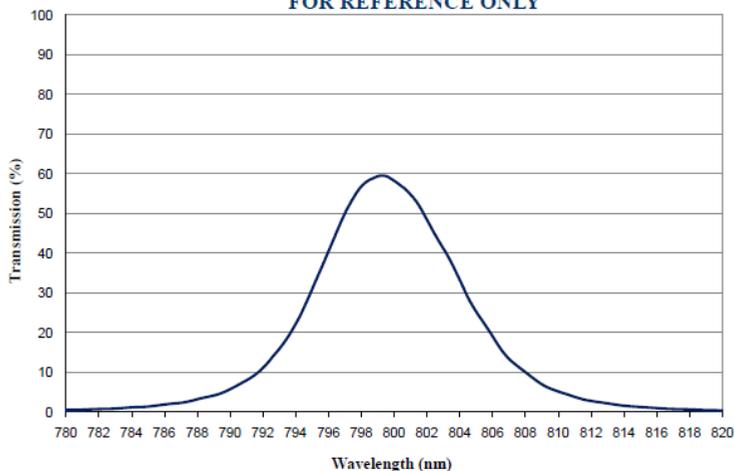
NT65-724

Type	Mounted
Diameter (mm)	25
Diameter Tolerance (mm)	+0/-0.2
Thickness of Mount (mm)	7.5
Thickness Tolerance (mm)	±0.1
Center Wavelength CWL (nm)	800
Center Wavelength CWL Tolerance (nm)	±2
Full Width-Half Max FWHM (nm)	10
Minimum Transmission (%)	≥50
Full Width-Half Max FWHM Tolerance (nm)	±2
Blocking Wavelength Range (nm)	200-1200
Optical Density OD	≥3.0
Surface Quality	80-50
Construction	Mounted in Black Anodized Ring
Operating Temperature (°C)	-50 to +75
Angle Sensitivity	Intended for Collimated Input
RoHS	Exempt

Coating Curve

Edmund Optics Inc.
USA | Asia | Europe

800nm Interference Filter: 10nm FWHM, OD > 3.0 Coating Performance
FOR REFERENCE ONLY



EO Edmund
optics | worldwide
www.edmundoptics.com

© Copyright 2009 Edmund Optics, Inc. All Rights Reserved.

INFRARROJO 750 nm (Edmund Optics Inc)

750nm CWL, 10nm Bandwidth, 25mm Mounted Diameter

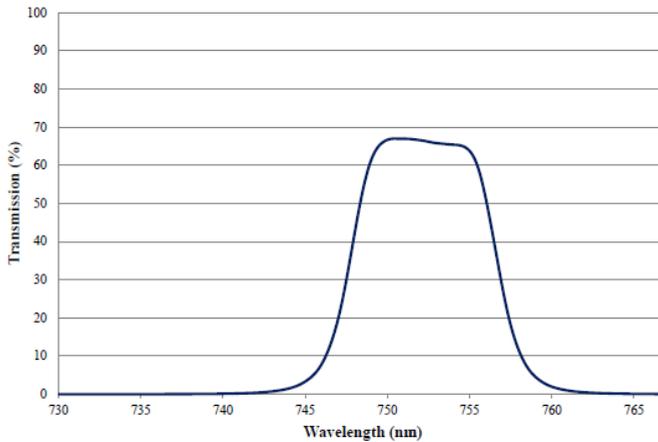
NT67-842

Type	Mounted
Diameter (mm)	25.0
Diameter Tolerance (mm)	+0.0/-0.25
Clear Aperture CA (mm)	21.00
Thickness of Mount (mm)	5.9
Center Wavelength CWL (nm)	750
Center Wavelength CWL Tolerance (nm)	+3/-0
Full Width-Half Max FWHM (nm)	10
Minimum Transmission (%)	±2
Full Width-Half Max FWHM Tolerance (nm)	>50
Blocking Wavelength Range (nm)	200-10000
Optical Density OD	≥4.0
Surface Quality	80-50
Operating Temperature (°C)	-50 to +70
Angle Sensitivity	Intended for Collimated Input
RoHS	Compliant

Coating Curve

Edmund Optics Inc.
USA | Asia | Europe

750nm Bandpass Interference Filter: 10FWHM, OD >4.0 Coating Performance FOR REFERENCE ONLY



COATING CURVE

©COPYRIGHT 2009 EDMUND OPTICS, INC. ALL RIGHTS RESERVED

EO Edmund
optics | worldwide
www.edmundoptics.com

ROJO 671 nm (Edmund Optics Inc)

671nm CWL, 10nm Bandwidth, 25mm Mounted Diameter

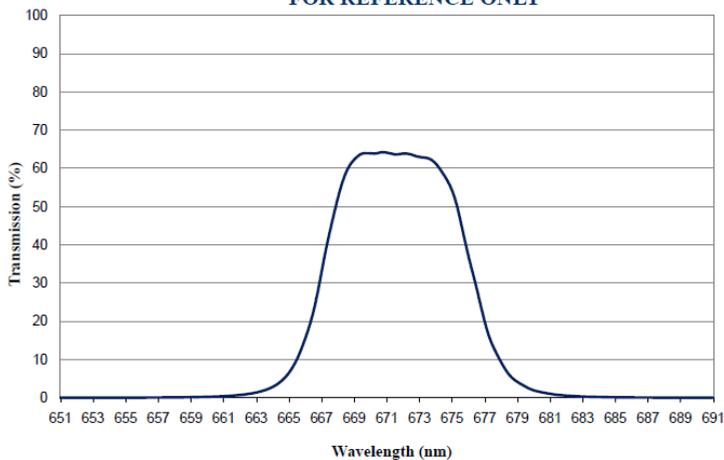
NT65-717

Type	Mounted
Diameter (mm)	25
Diameter Tolerance (mm)	+0/-0.2
Thickness of Mount (mm)	7.5
Thickness Tolerance (mm)	±0.1
Center Wavelength CWL (nm)	671
Center Wavelength CWL Tolerance (nm)	±2
Full Width-Half Max FWHM (nm)	10
Full Width-Half Max FWHM Tolerance (nm)	±2
Minimum Transmission (%)	≥50
Blocking Wavelength Range (nm)	200-1200
Optical Density OD	≥3.0
Surface Quality	80-50
Construction	Mounted in Black Anodized Ring
Operating Temperature (°C)	-50 to +75
Angle Sensitivity	Intended for Collimated Input
RoHS	Exempt

Coating Curve

Edmund Optics Inc.
USA | Asia | Europe

671nm Interference Filter: 10nm FWHM, OD > 3.0 Coating Performance FOR REFERENCE ONLY



EO Edmund
optics | worldwide
www.edmundoptics.com

© COPYRIGHT 2009 EDMUND OPTICS INC. ALL RIGHTS RESERVED

VERDE 550 nm (Edmund Optics Inc)

550nm CWL, 80nm Bandwidth, 25mm Mounted Diameter

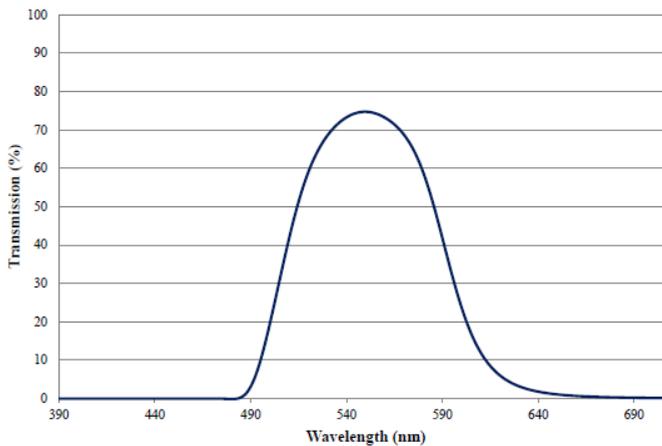
NT65-744

Type	Mounted
Diameter (mm)	25
Diameter Tolerance (mm)	+0/-0.2
Thickness of Mount (mm)	7.5
Thickness Tolerance (mm)	±0.1
Center Wavelength CWL (nm)	550
Center Wavelength CWL Tolerance (nm)	±15
Full Width-Half Max FWHM (nm)	80
Full Width-Half Max FWHM Tolerance (nm)	±25
Minimum Transmission (%)	60
Blocking Wavelength Range (nm)	200-1200
Optical Density OD	≥3.0
Surface Quality	80-50
Angle Sensitivity	Intended for Collimated Input
Operating Temperature (°C)	-50 to 75
Construction	Mounted in Black Anodized Ring
RoHS	Exempt

Coating Curve

Edmund Optics Inc.
USA | Asia | Europe

550nm Bandpass Interference Filter: 80FWHM, OD >3.0 Coating Performance FOR REFERENCE ONLY



EO Edmund
optics | worldwide
www.edmundoptics.com

COPYRIGHT 2016 EDMUND OPTICS INC. ALL RIGHTS RESERVED.

AZUL 450 nm (Edmund Optics Inc)

450nm CWL, 10nm Bandwidth, 25mm Mounted Diameter

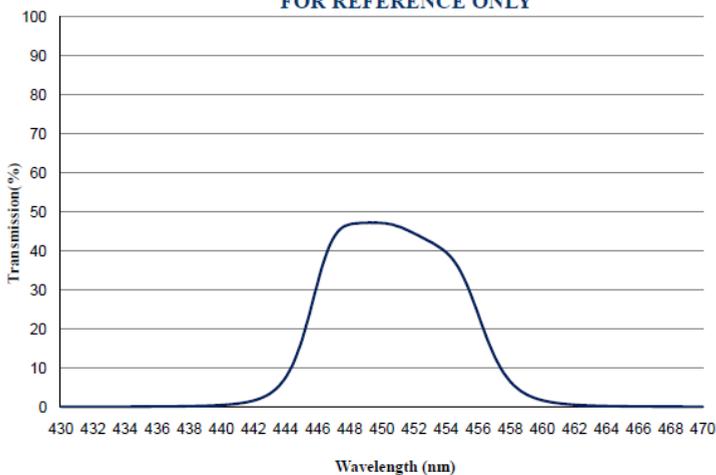
NT65-685

Type	Mounted
Diameter (mm)	25
Diameter Tolerance (mm)	+0/-0.2
Thickness of Mount (mm)	7.5
Thickness Tolerance (mm)	±0.1
Center Wavelength CWL (nm)	450
Center Wavelength CWL Tolerance (nm)	±2
Full Width-Half Max FWHM (nm)	10
Full Width-Half Max FWHM Tolerance (nm)	±2
Surface Quality	80-50
Angle Sensitivity	Intended for Collimated Input
Minimum Transmission (%)	≥45
Blocking Wavelength Range (nm)	200-1200
Optical Density OD	≥3.0
Operating Temperature (°C)	-50 to +75
Construction	Mounted in Black Anodized Ring
RoHS	Exempt

Coating Curve

Edmund Optics Inc.
USA | Asia | Europe

450nm Interference Filter: 10nm FWHM, OD > 3.0 Coating Performance
FOR REFERENCE ONLY



EO Edmund
optics | worldwide
www.edmundoptics.com

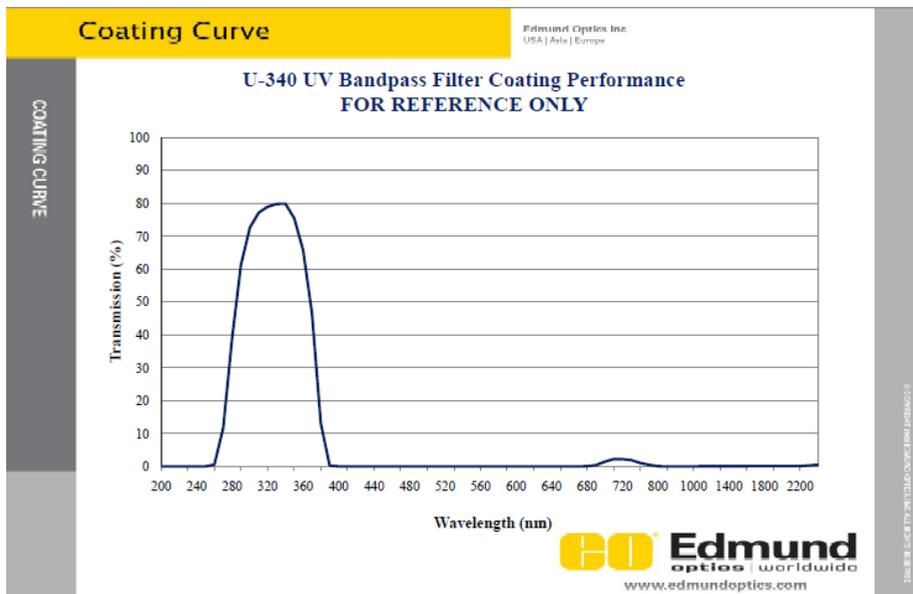
© 2019 Edmund Optics Inc. All rights reserved.

ULTRAVIOLETA 340 nm (Edmund Optics Inc)

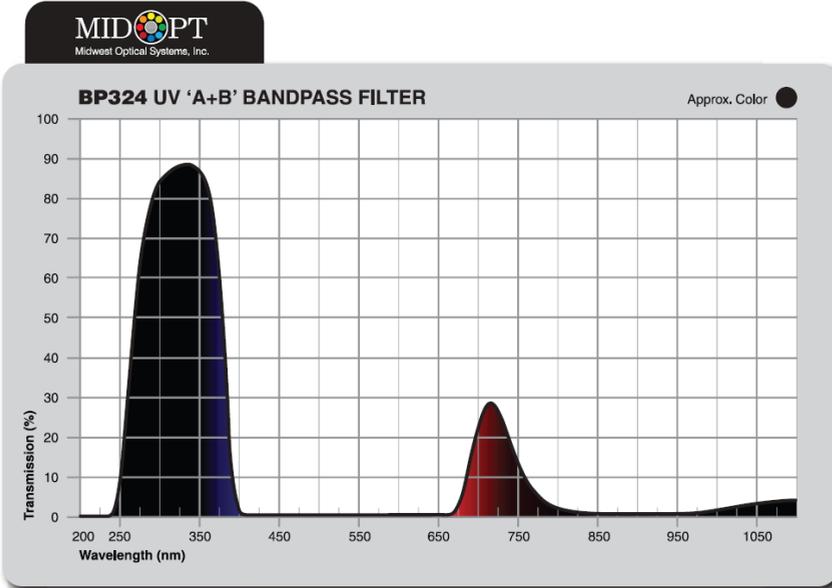
U-340 1" Diameter Bandpass Filter

NT46-439

Wavelength	UV
Glass/Filter Number	Hoya U-340
Color	Black
Thickness (mm)	2.50
Center Wavelength CWL (nm)	340.00
Full Width-Half Max FWHM (nm)	85.00
Density (g/cm ³)	2.92
Diameter (inches)	1
Dimensional Tolerance (mm)	±0.25
Thickness Tolerance (mm)	±0.2
Surface Quality	80-50
RoHS	Exempt



ULTRAVIOLETA 324 nm (MidOpt Inc)



BP324 Data Points (typical)

WAVELENGTH (nm)	TRANSMISSION (%)	WAVELENGTH (nm)	TRANSMISSION (%)	WAVELENGTH (nm)	TRANSMISSION (%)
1100	3.78	800	2.10	500	0.00
1090	3.78	790	3.02	490	0.00
1080	3.75	780	4.39	480	0.01
1070	3.54	770	6.48	470	0.01
1060	3.29	760	9.44	460	0.00
1050	3.11	750	13.39	450	0.00
1040	2.80	740	18.40	440	0.00
1030	2.40	730	23.91	430	0.00
1020	2.07	720	28.08	420	0.00
1010	1.73	710	27.35	410	0.01
1000	1.47	700	21.88	400	1.08
990	1.16	690	14.15	390	12.73
980	0.88	680	5.46	380	46.70
970	0.74	670	1.01	370	72.89
960	0.66	660	0.07	360	83.40
950	0.61	650	0.00	350	87.02
940	0.54	640	0.01	340	88.32
930	0.52	630	0.00	330	88.32
920	0.59	620	0.00	320	87.68
910	0.60	610	0.00	310	86.28
900	0.42	600	0.00	300	83.97
890	0.42	590	0.00	290	79.00
880	0.45	580	0.00	280	69.22
870	0.44	570	0.01	270	52.40
860	0.54	560	0.01	260	29.71
850	0.57	550	0.00	250	7.53
840	0.70	540	0.02	240	0.18
830	0.88	530	0.00	230	0.00
820	1.13	520	0.00	220	0.00
810	1.52	510	0.00	210	0.04

Midwest Optical Systems, Inc. 847-359-3550 www.midopt.com

ANEJO 4: ALGORITMO DE SITUACIÓN DE PUNTOS EN MUESTREOS MANUALES. (Matlab. Versión R2009b)

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%          GPS_ALGORITMO SUELO
%%          VSR_Valencia, Mayo 2011
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% Analiza un fichero de texto con coordenadas en grados y
% minutos(en mi caso, provenientes del GPS Leica y tratados según el fichero
GPS_Manual).
% Se obtiene una gráfica con las penetraciones y guarda un % fichero con
coordenadas ESTE-NORTE-ALTURA.
% Introducir a mano los siguientes valores:
% ARCHIVO DE TEXTO PARA LEER COORDENADAS LEICA

% PUNTO ORIGEN
close all;
clear all;

% Cargar fichero principal

data = load ('Malvasia_GPS_sinInicio.txt');
[np, columns] = size (data);% número puntos

%% CONVERSIÓN North-East-Down
% Columnas necesarias
index = data(:,1);% número de puntos
Lat_deg = data(:,2);
Lat_min = data(:,3);
Long_deg = data(:,4);
Long_min = data(:,5);
Alt = data(:,6);

% Creación de matrices
N = zeros(np,1);
E = zeros(np,1);
D = zeros(np,1);
X = zeros(np,1);
Y = zeros(np,1);
Z = zeros(np,1);

% Formulación
% constantes
a = 6378137;% semi-major axis (m)
b = 6356752.314;% semi-minor axis (m)
f1 = 0.00335281;% flatness
ec = 0.0818;% eccentricity

% TRANSFORMACIÓN DE COORDENADAS

%% Los parámetros que llevan (k,1) son matrices en las que sólo se hacen
cálculos componente a componente y no como matriz completa, por eso se
utiliza un bucle de repetición. Haciendo ésto, no se ocupa memoria, ya que
no se guarda la matriz resultante, sino que se van calculando los valores
uno a uno.

% Variables a cero
Lat_rad = 0;
Long_rad = 0;
No = 0;
```

```

% Encabezado del fichero de texto resumen guardado

report = fopen ('COORDENADAS.txt', 'wt');
fprintf( report, '%s \n', '--- COORDENADAS ESTE - NORTE --- ');
fprintf( report, '%s \n', '_____ ');
fprintf( report, '%s \n', ' ');
fprintf( report, '%s \t%s \t\t%s \t\t%s \n', 'Pto', 'Norte',
'Este', 'Altura');

for k = 1:np
    % Latitud y longitud a radianes
    Lat_rad = (Lat_deg(k,1) + (Lat_min(k,1)/60))*pi/180;
    Long_rad = (Long_deg(k,1) + (Long_min(k,1)/60))*pi/180;

    % Length of the normal (No)
    No = a/sqrt(1-ec^2*sin(Lat_rad)^2);

    % X Y Z (en metros)
    X(k,1) = (No + Alt(k,1))*cos(Lat_rad)*cos(Long_rad);
    Y(k,1) = (No + Alt(k,1))*cos(Lat_rad)*sin(Long_rad);
    Z(k,1) = (No*(1-ec^2) + Alt(k,1))*sin(Lat_rad);

    % N E D
    % Establecer origen
    Xo = X(1,1); % primer punto: el primero de la serie
    Yo = Y(1,1); % primer punto: el primero de la serie
    Zo = Z(1,1); % primer punto de la serie.

    % Cálculos
    N(k,1) = (-sin(Lat_rad)*cos(Long_rad)*(X(k,1)-Xo)) + (-
sin(Lat_rad)*sin(Long_rad)*(Y(k,1)-Yo)) + cos(Lat_rad)*(Z(k,1)-Zo);
    E(k,1) = (-sin(Long_rad)*(X(k,1)-Xo)) + (cos(Long_rad)*(Y(k,1)-Yo));
    D(k,1) = (-cos(Lat_rad)*cos(Long_rad)*(X(k,1)-Xo)) + (-
cos(Lat_rad)*sin(Long_rad)*(Y(k,1)-Yo)) + (-sin(Lat_rad)*(Z(k,1)-Zo));

% Grabar en fichero
fprintf( report, '%d \t%6.2f \t\t%6.2f \t\t%4.3f \n', index (k,1), N(k,1),
E(k,1), D(k,1));

end% cierra bucle for

% Cerrar fichero de texto

fprintf( report, '%s \n',
'_____ ');
fclose (report);

% Representación gráfica de las coordenadas de los puntos muestreados

figure;
plot(E, N, 'b.', 'MarkerSize', 20);
xlabel('Este [m]', 'FontSize', 14);
ylabel('Norte [m]', 'FontSize', 14);
title('MUESTRAS SUELO - MALVASÍA', 'FontSize', 16);
axis equal;
grid on;
text(E,N,num2str(index), 'HorizontalAlignment', 'left', 'FontSize', 10);

```

ANEJO 5: PRUEBA DE RESISTENCIA DE SUELO. (Matlab. Versión R2009b)

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%                               ALGORITMO DE SUELOS_RESISTENCIAS           %%
%%                               VSR_Valencia, Mayo 2011                    %%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% MAPA DE SUELOS.

close all;
clear all;

% Cargar archivos

datos = load ('Moscatel_pen.txt');% Profundidad y Resistencias en
                                % diferentes puntos de la parcela
[p, columnas] = size (datos);% profundidad y distintas penetraciones

% Columnas necesarias. Buscaremos un único valor máximo de resistencia.

prof = datos(:,1);% profundidad
pen = datos(:,2:columnas);
maxPen = zeros(1, columnas-1);% crea el vector de máximas resistencias
medPen = zeros(1, columnas-1);% vector de resistencias medias

for x = 1:columnas-1;% Que calcule para todas las columnas de penetraciones

    %pen(:,x);

    maxPen(1,x) = max(pen(6:p,x));% Desde los 5 cm hasta el final

% Hacemos a continuación la media de los valores. Para que no cuente los
valores de cero ha de hacerse mediante un bucle de suma:

    suma = 0; contador = 0;

    for t = 1:p

        if pen (t,x) > 0

            suma = suma + pen(t,x);
            contador = contador + 1;

        end% cierra el if

        %medResist (1,x) = medPen;

    end% cierra el for de t

    medPen(1,x) = suma/contador;
end% cierra bucle x

maxResist = maxPen';% transpuesta de las máximas resistencias
medResist = medPen';% transpuesta de las máximas resistencias

% Creación de un fichero de coordenadas NED con la columna nueva RESIST

% Cargar fichero de GPS (no es el de coordenadas NED)
```

```

data = load ('Moscatel_GPS_SINPUNTOINICIO.txt');% fichero ° ' ' del GPS
[np, columns] = size (data);

%% CONVERSIÓN North-East-Down añadiendo nueva columna de resistencia

% Columnas necesarias

index = data(:,1);% número de puntos
Lat_deg = data(:,2);
Lat_min = data(:,3);
Long_deg = data(:,4);
Long_min = data(:,5);
Alt = data(:,6);

% Creación de matrices

N = zeros(np,1);
E = zeros(np,1);
D = zeros(np,1);
X = zeros(np,1);
Y = zeros(np,1);
Z = zeros(np,1);

% Formulación

% constantes

a = 6378137;% semieje mayor (m)
b = 6356752.314;% semieje menor (m)
fl = 0.00335281;% aplanamiento
ec = 0.0818;% excentricidad

% TRANSFORMACIÓN DE COORDENADAS

% Variables a cero
Lat_rad = 0;
Long_rad = 0;
No = 0;

% Creación del fichero de texto resumen que queremos guardar

report = fopen ('COORDENADAS_RESIST.txt', 'wt');
fprintf( report, '%s \n', '--- COORDENADAS ESTE - NORTE Y RESISTENCIA ---
');
fprintf( report, '%s \n', '_____ ');
fprintf( report, '%s \n', ' ');
fprintf( report, '%s \t%s \t\t%s \t\t%s \t\t%s \t\t%s \n', 'Pto', 'Norte',
'Este', 'Altura', 'MaxResist', 'MedResist');

for k = 1:np

% Latitud y longitud a radianes

Lat_rad = (Lat_deg(k,1) + (Lat_min(k,1)/60))*pi/180;
Long_rad = (Long_deg(k,1) + (Long_min(k,1)/60))*pi/180;

% Longitud de la normal (No)

No = a/sqrt(1-ec^2*sin(Lat_rad)^2);

% X Y Z (en metros)

```

```

X(k,1) = (No + Alt(k,1))*cos(Lat_rad)*cos(Long_rad);
Y(k,1) = (No + Alt(k,1))*cos(Lat_rad)*sin(Long_rad);
Z(k,1) = (No*(1-ec^2) + Alt(k,1))*sin(Lat_rad);

% N E D

% Origen

Xo = X(1,1); % primer punto de la serie
Yo = Y(1,1); % primero punto de la serie
Zo = Z(1,1); % primero punto de la serie. La altura en el resto será cero

% Xo = 4.9293e+006; % fijar un origen concreto
% Yo = -2.9140e+004;
% Zo = 4.0339e+006;

% Cálculos

N(k,1) = (-sin(Lat_rad)*cos(Long_rad)*(X(k,1)-Xo)) + (-
sin(Lat_rad)*sin(Long_rad)*(Y(k,1)-Yo)) + cos(Lat_rad)*(Z(k,1)-Zo);
E(k,1) = (-sin(Long_rad)*(X(k,1)-Xo)) + (cos(Long_rad)*(Y(k,1)-Yo));
D(k,1) = (-cos(Lat_rad)*cos(Long_rad)*(X(k,1)-Xo)) + (-
cos(Lat_rad)*sin(Long_rad)*(Y(k,1)-Yo)) + (-sin(Lat_rad)*(Z(k,1)-Zo));

% Grabar en fichero (añadimos la columna nueva a las coordenadas)

fprintf( report, '%d \t%6.2f \t\t%6.2f \t\t%4.3f \t\t%2.2f \t\t%2.2f \n',
index(k,1), N(k,1), E(k,1), D(k,1), maxResist(k,1), medResist(k,1));

end% cierra bucle for del GPS

% Cerrar fichero de texto

fclose (report);

c = 4 ;% tamaño de la celda de la malla. Cuadrado de c metros de lado

maxN = max(max(N));
maxE = max(max(E));
minN = min(min(N));
minE = min(min(E));

% Resolución de la malla

h = abs(maxE - minE)/c;
v = abs(maxN - minN)/c;
% h = abs(p_este_max - p_este_min)/c;
% v = abs(p_norte_max - p_norte_min)/c;
H = ceil(h);% redondeo por arriba (Ha de ser número entero)
V = ceil(v);

Resol = H*V;

malla = zeros(V, H);% creación de la malla
mallaMed = zeros(V, H);
p_malla = zeros(V, H);

```

```

% Relleno de la malla. Transformación de LTP a malla (x, y).
countErr = 0;
countErr2 = 0;
countErr3 = 0;
countErr4 = 0;

    for k = 1:np

        x(k) = round((abs(minE)/c) + E(k)/c);% transformar coord E en x
de la malla. Redondear
        y(k) = round((abs(minN)/c) + N(k)/c);

            if x(k) == 0

                x(k) = 1;
                countErr = countErr + 1;

            end

            if y(k) == 0

                y(k) = 1;
                countErr2 = countErr2 + 1;

            end% cierra el if de E

            if malla (y(k), x(k)) ~= 0% es decir, que ya hay un valor
asignado

                malla (y(k), x(k)) = 0.5 *(maxResist(k) + malla (y(k),
x(k)));

            else

                malla (y(k), x(k)) = maxResist(k);

            end% cierra el if-else

            u(k) = round((abs(minE)/c) + E(k)/c);% transformar coord E en x
de la malla. Redondear
            v(k) = round((abs(minN)/c) + N(k)/c);

            if u(k) == 0

                u(k) = 1;
                countErr3 = countErr3 + 1;

            end

            if v(k) == 0

                v(k) = 1;
                countErr4 = countErr4 + 1;

            end% cierra el if de E

            if mallaMed (v(k), u(k)) ~= 0% es decir, que ya hay un valor
asignado

                mallaMed (v(k), u(k)) = 0.5 * (medResist(k) + mallaMed
(v(k), u(k)));

```

```

else
    mallaMed (v(k), u(k)) = medResist(k);

end% cierra el if-else

%end%cierra el if de N

    % mallaMed (u(k), v(k)) = medResist(k);

end% cierra el bucle del primero for (k)
% Representación malla

figure;
surf(malla); view (0,90);colormap(cool);axis equal;
% figure;
% surf(p_malla); view (0,90);colormap(cool);axis equal;
xlabel('Este (celdas)', 'FontSize',20);
ylabel('Norte (celdas)', 'FontSize', 20);
title ('MAPA DE SUELOS - Valores máximos', 'FontSize', 20);
barcol = [1 1 1;1 1 0.7;1 1 0.5; 1 1 0.2;0.7 1 0;0.4 1 0;0 0.9 0; 0 0.8 0;
    0 0.7 0;0 0.6 0;0 0.55 0;0 0.5 0;0 0.45 0;0 0.4 0;0 0.35 0;0 0.30 0;
    0 0.25 0;0 0.2 0;0 0.15 0;0 0.1 0;0 0 0];
barcol2 = [1 1 1;1 1 0.5;0.7 1 0;0 0.9 0;0 0.7 0;0 0.55 0;0 0.45 0;0 0.35
0;0 0 0];
barcol4 = [1 1 1;0.9 1 0.7;0.8 0 0.5;0.7 0 0.2;0.6 0 0.1;0.5 0 0;0.4 0 0;0.3
0 0;0.2 0 0];% rojos
colormap(barcol4);
colorbar('EastOutside')

figure;
surf(mallaMed); view (0,90);colormap(cool);axis equal;
xlabel('Este (celdas)', 'FontSize',20);
ylabel('Norte (celdas)', 'FontSize', 20);
title ('MAPA DE SUELOS - Valores medios', 'FontSize', 20);
barcol = [1 1 1;1 1 0.7;1 1 0.5; 1 1 0.2;0.7 1 0;0.4 1 0;0 0.9 0; 0 0.8 0;
    0 0.7 0;0 0.6 0;0 0.55 0;0 0.5 0;0 0.45 0;0 0.4 0;0 0.35 0;0 0.30 0;
    0 0.25 0;0 0.2 0;0 0.15 0;0 0.1 0;0 0 0];
barcol2 = [1 1 1;1 1 0.5;0.7 1 0;0 0.9 0;0 0.7 0;0 0.55 0;0 0.45 0;0 0.35
0;0 0 0];
barcol4 = [1 1 1;0.9 1 0.7;0.8 0 0.5;0.7 0 0.2;0.6 0 0.1;0.5 0 0;0.4 0 0;0.3
0 0;0.2 0 0];% rojos
colormap(barcol4);
colorbar('EastOutside')

```

ANEJO 6: PROGRAMA PERCEPCIÓN JAI. (Visual Studio. Versión 2005)

```
////////////////////////////////////
CAMERA JAI BASIC APPLICATION //
////////////////////////////////////

// Camera.cpp : Defines the entry point for the
// console application.
// Francisco Rovira Más
// Field Robotics Lab, Valencia, May-July 2011
// -----
// Modified in 2012

#include "stdafx.h"
#include <windows.h> // NECESSARY for wsc libraries!
#include <math.h>
#include <string> // needed for parsing strings
#include <cstring>
#include "fstream"
#include <iostream>
#include <stdio.h>
#include <direct.h> // mkdir function
#include <FL/Fl.H>
#include "C:\wsc4c\APPS\wsc.h" // GPS data
#include "C:\wsc4c\APPS\keycode.h"
#include "GUI_JAI.h"
#include "Jai_Factory.h"

// DEFINITION OF CONSTANTS -----
#define PI 3.14159265
#define GPS_HEIGHT 2.8 // height of antenna in meters
#define GPS_OFFSET_CABIN 0.2 // Distance (m) antenna to top cabin camera
#define GPS_OFFSET_NOSE 1.7 // Distance (m) antenna to front structure
tripod
#define PORT1 COM1 // serial ports labels
#define PORT2 COM2 // serial ports labels
#define PORT3 COM3 // serial ports labels
#define PORT4 COM4 // serial ports labels
#define PORT5 COM5 // serial ports labels
#define PORT6 COM6
#define PORT7 COM7
#define PORT11 COM11
#define RXQESIZE 1024
#define TXQESIZE 1024
#define Xoriginal 1392
#define Yoriginal 1040
#define Xim 696
#define Yim 520

using namespace std;

// DECLARATION OF GLOBAL VARIABLES -----
int long frameCount = 1;
THRД_HANDLE hThread;
bool nmea = false;
int delay = 75; // user-introduced delay to adjust GPS acquisition with
computer speed
int countWin = 0;
char image_name [40];
int gain = 100;
int exposure = 200;
J_STATUS_TYPE retval;
```

```

J_tIMAGE_INFO BufferInfo ;
J_tIMAGE_INFO Buffer1 ;
J_tIMAGE_INFO Buffer2 ;
J_tIMAGE_INFO Buffer3 ;
J_tIMAGE_INFO Buffer4 ; // stores thresholded image
J_STATUS_TYPE iResult;
bool conversion = false;
bool conversion2 = false;
unsigned char *lowImage; // original image
unsigned char *segImage; // segmented image
unsigned char *curve;
int *sumlevel;
int *pattern; // holds segmentation profile
int *normal; // normalizes segmentation profile for display
int *delta; // gradient in curve
int *delta2; // curvature in curve
int mapCount = 0; // counts the number of images added to the map through
the text file
int rowMIN[15]={6,8,10,1,11,1,1,2,3,3,1,4,1,0,3}; //size of GPGGA sections
in # of char for Garmin 18x
int rowMAX[15]={6,8,11,1,12,1,1,2,3,7,1,6,1,3,6}; //size of GPGGA sections
in # of char for Garmin 18x
int rowMAXv[9]={5,8,1,8,1,8,1,9,5}; //size of GPvtg sections in # of char
for Garmin 18x
int rowMINv[9]={5,4,1,0,1,4,1,4,4}; //size of GPvtg sections in # of char
for Garmin 18x
int count = 0; // Tracks # of $ in captured string as beginning and end
int count1=0; //Tracks # of $ in VTG part at end
int prev = 0; // for storing value of last section # , while cleaning array
int prev1 = 0; // for storing value of last section # , while cleaning array
int sectv = 0; // counter for sections vtg
int sect = 0; // counter for sections
int count_sect=0; // section counter
int count_sectv=0; //section counter for vtg
int minSat = 5; // minimum number of satellites allowed for saving
float maxHDOP = 3.5; // minimum HDOP allowed for saving
char sfdata[20][30] =
{"$GPGGA"," "," "," "," "," "," "," "," "," "," "," "," "," "," "," "}; //Garmin 18x USB
char sfdatav[20][30] = {"GPVTG"," "," "," "," "," "," "," "," "}; // vtg string
int dataChange = 0; // tracks the input of new data
int stuck = 0; // counts repetitions with the same data
float X0= 4923490 ; // Origin of coordinates of the local tangent plane
for Requena, Valencia
float Y0= -98499.8;
float Z0= 4027300;
/*float X0= 4922640 ; // Origin of coordinates of the local tangent plane
for UPV Valencia
float Y0= -28968.1;
float Z0= 4028410;*/
//float X0= 4922640 ; // Origin of coordinates of the local tangent plane
for UPV Valencia
//float Y0= -28968.1;
//float Z0= 4028410;
int port = 0;
int length = 1; // input string length
char input_message1[150]={'-'};
double M[32][3];
//double M[10][3];
int valid_points = 1; // points with proper satellites and HDOP
int w=0;
int w1=0;
int code = 0; // Gives error code for serial port

```

```

int l=0;
int k=0;
int a = 0;
int ofi1 = 0; // open text file 1 -full GPS data- only once
int ofi2 = 0; // open text file 2 -LTP data- only once

int p=0;
int timecount=0;
int timecount2=0;
string sf;
int satellites1 = 0 ; // These variables hold GPS data from acquisition
function
float hdop1 = 0.0;
float altitudel = 0.0;
float east1 = 0.0;
float north1 = 0.0;
float east2 = 0.0;
float north2 = 0.0;
float time1 = 0.0;
float v= 0.0; //final velocity
float vel = 0; // velocity
float eastdecimal = 0;
float northdecimal = 0 ;
float velgps = 0;
float headgps = 0;
float alt = 0;
float dist = 0;
float distsum = 0;
float distsum1 = 0;
//float velocitygps = 0.0;
//float headinggps = 0.0;
float velocitygpsprev = 0.0;
float headinggpsprev = 0.0;
bool flag = false;
bool flag1 = false;
int Hd = 0;
float latDeg1=0;
float latMin1=0;
float lonDeg1=0;
float lonMin1=0;
int gcount=0;
int cmcount=31;
int cmcount2=0;
int Hdg0=0;
int Hdg1=0;
int Hdg2=0;
int Hdg3=0;
bool BusyFlag = 1; // Added Nov 2011 to fix streaming problems as suggested
by JAI

// DEFINE CLASSES & TEXT FILES ENTRIES -----
ofstream file1; // Text file with the complete information
ofstream file2; // Text file with LTP coordinates +%vegetation

GUI_JAI *gui= new GUI_JAI; // define GUI class
_J_tIMAGE_INFO_TYPE *convImage = new _J_tIMAGE_INFO_TYPE; // Image
information class

// DECLARE FUNCTIONS -----
static void _stdcall StreamCBFunc(J_tIMAGE_INFO * convImage); // Video
streaming with JAI cam
int func(void); // Main function to capture & process GPS messages

```

```

float convert2float(char gpssect[]); //Global coordinates conversion for GPS
function
int main(int argc, char **argv) // MAIN ROUTINE STARTS HERE -----
-----
{
    gui->mainWindow->show(); // Initiate main window

    mkdir ("GPS data");// Saves localization information in text files
    mkdir ("Images");// Saves original images in specific folder
    mkdir ("Segmented");// Saves segmented images in specific folder
    mkdir ("Curves");// Saves image profiles in specific folder
    char textfile[200] = "GPS data/Map_info.txt";// holds complete
information
    char mapfile[200] = "GPS data/LTP.txt";// holds complete information
    char* message_error = new char;
    message_error = "----- System OK -----";
    int var = 0; //returned status after calling main GPS function FUNC
    FACTORY_HANDLE hFactory; // Specific variable for Factory handles
    CAM_HANDLE hCamera; //Camera specific handle
    bool bHasChanged;
    uint32_t nCameras; // Number of cameras detected
    int8_t sCameraId[J_CAMERA_ID_SIZE];
    uint32_t size;
    bool cameraOpen = false;
    BufferInfo.pImageBuffer = NULL;
    Buffer1.pImageBuffer = NULL;
    Buffer2.pImageBuffer = NULL;
    Buffer3.pImageBuffer = NULL;
    Buffer4.pImageBuffer = NULL;
    convImage->pImageBuffer = NULL;
    LPCTSTR name = (LPCTSTR)image_name;
    NODE_HANDLE hNode;
    int64_t int64Val;
    int64_t pixelFormat;
    SIZE ViewSize = {100, 100};
    int imagewidth = 0.9;

    int threshold = 127;
    int previousIm = 0;
    int resolution = 5; // increment in pixels for gradient and curvature
calculations
    int th_offset = 0; // offset in final automatic threshold

// Open the Factory Application Package for JAI cameras and search for
cameras
    retval = J_Factory_Open(" " , &hFactory); // Open Factory package
    if (retval != J_ST_SUCCESS) cout <<"The Factory package could not be
opened ..."<< endl;

    retval = J_Factory_GetNumOfCameras(hFactory, &nCameras); //Get the
number of cameras ... usually >real bc multi-driver call
    //cout <<nCameras<<" cameras were found."<< endl;

// Open all the cameras found -- aperture routine

    if (retval == J_ST_SUCCESS && nCameras > 0){
        cameraOpen = true; // At least we found one camera
        for (uint32_t indexca = 0; indexca < nCameras; indexca++){
            size = sizeof(sCameraId); // get camera ID
            retval = J_Factory_GetCameraIDByIndex(hFactory,
indexca, sCameraId, &size);
            if (retval == J_ST_SUCCESS){

```

```

//printf("Camera number%d has the ID ...%s\n",
indexca, sCameraId);
        retval = J_Camera_Open(hFactory, sCameraId,
&hCamera);
    } // Closes the opening of each camera found
}

    message_error = " Camera was properly opened.";
    gui->messageError->value(message_error);

} // end of camera aperture routine

// Create event object to be used by the aquisition engine
J_COND_WAIT_RESULT iWaitResult;
HANDLE hCondition;
int iRet = J_Event_CreateCondition(&hCondition);
EVT_HANDLE hEvent;
STREAM_HANDLE *m_hDS = NULL;
BUF_HANDLE hBuffer;
NODE_HANDLE hExposure; // to handle exposure time in manual shutter
NODE_HANDLE hGain; // to handle exposure time in manual shutter
//uint32_t iSize;
int frameX;
int frameY;

J_Camera_RegisterEvent(hCamera, EVENT_GEV_EVENT_CMD, hCondition,
&hEvent);

// Make sure that the Exposure-Mode selector is set to Programmable
Exposure
    retval = J_Camera_SetValueString(hCamera, "ShutterMode",
(int8_t*)"ProgrammableExposure");
//if (retval == J_ST_SUCCESS) cout <<" Programmable exposure ok"
<<endl;
    retval = J_Camera_GetNodeByName(hCamera, "ExposureTimeRaw",
&hExposure);
    retval = J_Node_SetValueInt64(hExposure, TRUE, (int64_t)exposure);
    retval = J_Camera_GetNodeByName(hCamera, "GainRaw", &hGain);
    retval = J_Node_SetValueInt64(hGain, TRUE, (int64_t)gain);

// In case we want to change to continuous retval =
J_Camera_SetValueString(hCamera, "ExposureMode", "Continuous");

// Get width from the camera
if (J_Camera_GetValueInt64(hCamera, "Width", &int64Val) !=
J_ST_SUCCESS) return FALSE;
    ViewSize.cx = (LONG)int64Val; // Set window size cx

// Get height from the camera
if (J_Camera_GetValueInt64(hCamera, "Height", &int64Val) !=
J_ST_SUCCESS) return FALSE;
    ViewSize.cy = (LONG)int64Val; // Set window size cy
//cout<<"Image dimensions: "<<ViewSize.cx<<" x "<<ViewSize.cy<<endl;

// Get pixelformat from the camera
retval = J_Camera_GetValueInt64(hCamera, "PixelFormat", &int64Val);
pixelFormat = int64Val;

int bpp = J_BPP(pixelFormat); // Calculate number of bytes per pixel
using macro
//cout<<bpp<<" bytes per pixel"<<endl;

```

```

// Open video stream
void *vfptr = reinterpret_cast<void*>(StreamCBFunc);
J_IMG_CALLBACK_FUNCTION *cbfptr =
reinterpret_cast<J_IMG_CALLBACK_FUNCTION*>(&vfptr);
retval = J_Image_OpenStream(hCamera, 0, NULL, *cbfptr, &hThread,
ViewSize.cx*ViewSize.cy*6);
if (retval != J_ST_SUCCESS) cout<<"Stream was NOT opened ..."<<endl;

// GPS CAPABILITY -----
int port_count = 0;
int errorPort = 0;
SioKeyCode(1896230086); // Input Wsc license code, it has to be the
first function call

errorPort = SioReset(PORT1, RXQESIZE, TXQESIZE); // initializes serial port
(-1=No such port; -2= already open;-10=hardware error)
port_count++;
//cout<<"error code for port 1: "<<errorPort<<endl; //failed ports
are typically coded as -103
if(errorPort>=1)
{
    port=1;
    gui->ShowPort->value(1);
    goto port_chosen;
}
if(errorPort==-2) // This port is already opened
{
    cout <<"Port already opened."<<endl;
    port=1;
    gui->ShowPort->value(1);
    goto port_chosen;
}
errorPort = SioReset(PORT2, RXQESIZE, TXQESIZE);
//cout<<"error code for port 2: "<<errorPort<<endl;
if(errorPort>=1 && port_count==1)
{
    port=2;
    gui->ShowPort->value(2);
    goto port_chosen;
}
if(errorPort==-2 && port_count==1) // Port 2 already opened
{
    port=2;
    gui->ShowPort->value(2);
    goto port_chosen;
}
port_count++;

errorPort = SioReset(PORT3, RXQESIZE, TXQESIZE);
//cout<<"error code for port 3: "<<errorPort<<endl;
if(errorPort>=1 && port_count==2)
{
    port=3;
    gui->ShowPort->value(3);
    goto port_chosen;
}
if(errorPort==-2 && port_count==2) // Port 3 already opened
{
    port=3;
    gui->ShowPort->value(3);
    goto port_chosen;
}

```

```

    port_count++;

errorPort = SioReset(PORT4, RXQUESIZE, TXQUESIZE);
    //cout<<"error code for port 4: "<<errorPort<<endl;
    if(errorPort>=1 && port_count==3)
    {
        port=4;
        gui->ShowPort->value(4);
        goto port_chosen;
    }
    if(errorPort===-2 && port_count==3)//Port 4 already opened
    {
        port=4;
        gui->ShowPort->value(4);
        goto port_chosen;
    }
    port_count++;

errorPort = SioReset(PORT5, RXQUESIZE, TXQUESIZE);
    //cout<<"error code for port 5: "<<errorPort<<endl;
    if(errorPort>=1 && port_count==4)
    {
        port=5;
        //cout<<"port="<<port<<endl;
        gui->ShowPort->value(5);
        goto port_chosen;
    }
    if(errorPort===-2 && port_count==4)// Port 5 already opened
    {
        port=5;
        //cout<<"port="<<port<<endl;
        gui->ShowPort->value(5);
        goto port_chosen;
    }

errorPort = SioReset(PORT6, RXQUESIZE, TXQUESIZE);
    //cout<<"error code for port 5: "<<errorPort<<endl;
    if(errorPort>=1 && port_count==4)
    {
        port=6;
        //cout<<"port="<<port<<endl;
        gui->ShowPort->value(6);
        goto port_chosen;
    }
    if(errorPort===-2 && port_count==4)// Port 5 already opened
    {
        port=6;
        //cout<<"port="<<port<<endl;
        gui->ShowPort->value(6);
        goto port_chosen;
    }

port_chosen: ; // Routine to select the port automatically between 1 and 5
    //cout<<"port identified at trial number "<<port<<endl;

    // Check if open port is not the one transferring data!

    errorPort = SioReset(PORT1, RXQUESIZE, TXQUESIZE);
    //cout<<"check for port 1: error = "<<errorPort<< " code = "<<
code<<endl;
    errorPort = SioReset(PORT2, RXQUESIZE, TXQUESIZE);

```

```

        //cout<<"check for port 2: error = "<<errorPort<< " code = "<<
code<<endl;
        errorPort = SioReset(PORT3, RXQUESIZE, TXQUESIZE);
        //cout<<"check for port 3: error = "<<errorPort<< " code = "<<
code<<endl;
        errorPort = SioReset(PORT4, RXQUESIZE, TXQUESIZE);
        //cout<<"check for port 4: error = "<<errorPort<< " code = "<<
code<<endl;
        errorPort = SioReset(PORT5, RXQUESIZE, TXQUESIZE);
        //cout<<"check for port 5: error = "<<errorPort<< " code = "<<
code<<endl;
        errorPort = SioReset(PORT6, RXQUESIZE, TXQUESIZE);
        //cout<<"check for port 6: error = "<<errorPort<< " code = "<<
code<<endl;
        errorPort = SioReset(PORT11, RXQUESIZE, TXQUESIZE);
        //cout<<" The actual port involved in data tranfer is
"<<port<<endl;
        //gui->ShowPort->value(port);

    if(errorPort==-2) {
        message_error = " The serial port was already opened ...";
        gui->messageError->value(message_error);
    }

    if(errorPort<0 && errorPort!=-2) {
        //cout<<"Error Port = "<<errorPort<<endl;
        message_error = " Error opening the serial ports";
        gui->messageError->value(message_error);
    }
    else
    {
        message_error = " Port correctly set";
        gui->messageError->value(message_error);
    }
    if(port==1)
    {
        SioBaud (PORT1, WSC_Baud19200);
        SioParms (PORT1, WSC_NoParity, WSC_OneStopBit,
WSC_WordLength8); // basic parameters
    }
    else if(port==2)
    {
        SioBaud (PORT2, WSC_Baud19200);
        SioParms (PORT2, WSC_NoParity, WSC_OneStopBit,
WSC_WordLength8); // basic parameters
    }
    else if(port==3)
    {
        SioBaud (PORT3, WSC_Baud19200);
        SioParms (PORT3, WSC_NoParity, WSC_OneStopBit,
WSC_WordLength8); // basic parameters
    }
    else if(port==4)
    {
        SioBaud (PORT4, WSC_Baud19200);
        SioParms (PORT4, WSC_NoParity, WSC_OneStopBit,
WSC_WordLength8); // basic parameters
    }
    else if(port==5)
    {
        SioBaud (PORT5, WSC_Baud19200);

```

```

        SioParms (PORT5, WSC_NoParity, WSC_OneStopBit,
WSC_WordLength8); // basic parameters
    }
    else if(port==6)
    {
        SioBaud (PORT6, WSC_Baud19200);
        SioParms (PORT6, WSC_NoParity, WSC_OneStopBit,
WSC_WordLength8); // basic parameters
    }
    else if(port==11)
    {
        SioBaud (PORT11, WSC_Baud19200);
        SioParms (PORT11, WSC_NoParity, WSC_OneStopBit,
WSC_WordLength8); // basic parameters
    }

    // End of GPS opening PORT routine

    while(Fl::check()){

        if (gui->exitButton->value()==1){ // Quit application -----
-----
            gui->mainWindow->hide();
            file1.close();
            file2.close();
            if (cameraOpen == true) retval =
J_Camera_Close(hCamera); // Close all the cameras opened
            retval = J_Factory_Close(hFactory); // Close Factory
Package
            if (m_hDS) J_DataStream_Close(m_hDS);
            //J_Image_CloseStream(hThread); // Close video stream
            if (&BufferInfo != NULL) J_Image_Free(&BufferInfo); //
Free memory
            if (&Buffer2 != NULL) J_Image_Free(&Buffer2); // Free
memory
            if (&Buffer1 != NULL) J_Image_Free(&Buffer1); // Free
memory
            if (convImage != NULL) J_Image_Free(convImage); //
Free memory
            if (&Buffer3 != NULL) J_Image_Free(&Buffer3); // Free
memory
            if (&Buffer4 != NULL) J_Image_Free(&Buffer4); // Free
memory

            // Close the serial port opened for GPS data
acquisition -----

            if(port==1)
                SioDone (PORT1); // closes serial port when
exiting application
            else if(port==2)
                SioDone (PORT2);
            else if(port==3)
                SioDone (PORT3);
            else if(port==4)
                SioDone (PORT4);
            else if(port==5)
                SioDone (PORT5);
            else if(port==6)
                SioDone (PORT6);
            else if(port==11)
                SioDone (PORT11);

```

```

                                break; // closes main window and ceases the
application
                                } // Quit application -----

                                // Pass & show input values at initiation
                                if (gui->autoThreshold->value() == 0) threshold = gui-
>threshold_Roller->value();
                                gui->ShowThreshold->value(threshold);
                                gain = gui->camera_gain->value();
                                exposure = gui->camera_exposure->value();
                                retval = J_Node_SetValueInt64(hExposure, TRUE,
(int64_t)exposure);
                                retval = J_Node_SetValueInt64(hGain, TRUE, (int64_t)gain);
                                resolution = gui->curve_resolution->value();
                                th_offset = gui->curve_offset->value();

                                // insert delay for GPS acquisition
                                delay = gui->GPS_delay->value();
                                gui->status->value(0);

                                // ADD GPS FUNCTIONALITY -----

                                if (gui->GPS_on->value() == 1){

GUI
                                minSat = gui->SetSatellites->value(); // Pass settings from

                                maxHDOP = gui->SetHDOP->value();
                                delay = gui->GPS_delay->value();

                                var = func(); // call GPS function

                                gui->ShowPort->value(port);
                                gui->ShowZ->value(altitudel);
                                gui->ShowHDOP->value(hdop1);
                                gui->ShowEast->value(east1);
                                gui->ShowNorth->value(north1);
                                gui->ShowSatellites->value(satellites1);
                                gui->velocity->value(velocitygpsprev);
                                gui->headingGPS->value(headinggpsprev);

                                //if(valid_points > 15) gui->ShowHeading->value(Hd);
                                if (satellites1 >= minSat && hdop1<= maxHDOP) gui->status-
>value(100);

                                } // closes GPS acquisition -----

                                if (gui->camera_on->value() == 1){ // Camera grabbing images
and showing in window ... CAMERA ON!

                                //// -----> Read pixel values from images & Extract
array with pixel information -----

                                retval = J_Camera_ExecuteCommand(hCamera,
"AcquisitionStart");
                                if (retval != J_ST_SUCCESS) cout <<"Camera
COULD NOT executed command for acquisition ..." <<endl;

                                message_error = " Acquiring images ...";
                                gui->messageError->value(message_error);

```

```

// Give option to save monochrome image ... full size
1392x1040
/*
if (gui->save->value()==1 && gui->save_raw->value()==1
&& conversion == true) {

    sprintf(image_name, "%s%i%s",
"Images/image_",frameCount, ".tif");
    name = (LPCTSTR)image_name;
    J_Image_SaveFile(&BufferInfo, name);
    conversion = false;
}*/

if (frameCount > 99000) frameCount = 0; //gui-
>camera_on->value(0);
gui->counter->value(frameCount);

if (Buffer1.pImageBuffer == NULL) { //allocate memory
for processed image
    retval = J_Image_Malloc(&BufferInfo, &Buffer1)
; // memory allocation for buffer
}
Buffer1.iSizeX = 696;
Buffer1.iSizeY = 520;

if (Buffer2.pImageBuffer == NULL) { //allocate memory
for processed image manually thresholded
    retval = J_Image_Malloc(&BufferInfo, &Buffer2)
; // memory allocation for buffer
}
Buffer2.iSizeX = 696;
Buffer2.iSizeY = 520;

if (Buffer3.pImageBuffer == NULL) { //allocate memory
for profile
    retval = J_Image_Malloc(&BufferInfo, &Buffer3)
; // memory allocation for buffer
}
Buffer3.iSizeX = 520;
Buffer3.iSizeY = 520;

if (Buffer4.pImageBuffer == NULL) { //allocate memory
for processed image automatically thresholded
    retval = J_Image_Malloc(&BufferInfo, &Buffer4)
; // memory allocation for buffer
}
Buffer4.iSizeX = 696;
Buffer4.iSizeY = 520;

// Reduce image resolution from (1392 x 1040) to (696
x 520)

POINT pt;
POINT pt2;
POINT pt3;
POINT pt4;
POINT pt5;
PIXELVALUE pixelValue;
PIXELVALUE pixelValue2;
PIXELVALUE pixelValue3;
PIXELVALUE pixelValue4;
PIXELVALUE pixelValue5;

```

```

int xdim = (int)ViewSize.cx;
int ydim = (int)ViewSize.cy;
int newdim = (int)(0.25*ViewSize.cx*ViewSize.cy);
int newX = (int)(0.5*ViewSize.cx);
int newY = (int)(0.5*ViewSize.cy);
lowImage = new unsigned char [newdim];
segImage = new unsigned char [newdim];
curve = new unsigned char [newdim];
sumlevel = new int [256];
pattern = new int [256];
delta = new int [256];
delta2 = new int [256];
normal = new int [256];
int i = 0;
int j = 0;
int k = 0;
int cum = 0; //cumulative greylevels
int indexCurve = 0; // curve drawing
int maxDelta = 0; // maximum gradient
int posDelta = 0; //position max gradient
int maxDelta2 = 0; // max curvature
int posDelta2 = 0; // position max curvature
int vegetation = 0; // vegetation index

// Pass & show input values within loop

if (gui->autoThreshold->value() == 0) {
    threshold = gui->threshold_Roller->value();
    gui->ShowThreshold->value(threshold);
}

// initialize vectors for profile

for (int n = 0; n < 256; n++){
    sumlevel[n] = 0;
    pattern[n] = 0;
    delta[n] = 0;
    delta2[n] = 0;
}

BusyFlag = 1; // Added Nov 21 to fix streaming issues

for (j = 0; j < ydim; j = j+2){ // Main image loop
    for (i = 0; i < xdim; i = i+2){

        pt.x = i;
        pt.y = j;

        J_Image_GetPixel(&BufferInfo, &pt, &pixelValue);
        int pix =
(int)pixelValue.PixelValueUnion.Mono8Type.Value;

        lowImage[k] = (unsigned char)pix;
        segImage[k] = (unsigned char)pix;
        curve[k] = (unsigned char) 255; //initialize profile

plot

        curve[newX*j/2] = (unsigned char) 0; // draw Y axis
        curve[newX*(newY-1) + i/2] = (unsigned char) 0; //

draw X axis in GUI

        curve[newX*j/2 + 128] = (unsigned char) 200; // draw
axis X = 64

```

```

axis X = 128           curve[newX*j/2 + 256] = (unsigned char) 200; // draw
axis X = 192           curve[newX*j/2 + 384] = (unsigned char) 200; // draw
axis X = 255           curve[newX*j/2 + 510] = (unsigned char) 200; // draw

pixelValue2.PixelValueUnion.Mono8Type.Value =
pixelValue.PixelValueUnion.Mono8Type.Value;
pixelValue5.PixelValueUnion.Mono8Type.Value =
pixelValue.PixelValueUnion.Mono8Type.Value;
pixelValue3.PixelValueUnion.Mono8Type.Value = 255;
sumlevel[pix]++; // counts the pixels that have the
same graylevel

if (pix <= threshold && gui->autoThreshold->value()==0
&& gui->image_inversion->value() == 0 ) {
    pix = 0;
    pixelValue2.PixelValueUnion.Mono8Type.Value =
0;
    segImage[k] = (unsigned char)pix;
}

// Added July 2012 for image inversion (red filters)
if (pix >= threshold && gui->autoThreshold->value()==0
&& gui->image_inversion->value() == 1) {
    pix = 255;
    pixelValue2.PixelValueUnion.Mono8Type.Value =
255;
    segImage[k] = (unsigned char)pix;
}

pt2.x = i/2;
pt2.y = j/2;
pt5.x = i/2;
pt5.y = j/2;
J_Image_SetPixel(&Buffer1, &pt2, &pixelValue); // Save
raw image at proper size
J_Image_SetPixel(&Buffer2, &pt2, &pixelValue2); //
thresholded
J_Image_SetPixel(&Buffer3, &pt2, &pixelValue3); //
curve
J_Image_SetPixel(&Buffer4, &pt5, &pixelValue5);

k++; //counts pixels in new image
} // closes i-loop
} // closes j-loop

BusyFlag = 0; // Added Nov 21 to fix streaming issues

// Show original monochrome image in GUI
if (gui->original_image->value()==1) {
    gui->imageBox->drawImageBW(lowImage, newX,
newY);
}

// Save original at operative size 696 x 520

if (gui->save->value()==1 && gui->save_raw->value()==1
&& conversion == true) {

```

```

        sprintf(image_name, "%s%i%s",
"Images/image_", frameCount, ".tif");
        name = (LPCTSTR)image_name;
        J_Image_SaveFile(&Buffer1, name);
        conversion = false;
    }
    // distsum = distsum + dist;// cumulative distance
    //distsum1= distsum;// to store the value of distsum
for saving segmented and processed images
    //cout<<"distsum.."<<distsum<<endl;
/*if (gui->save->value()==1 && gui->save_raw->value()==1 && conversion ==
true) {
        if ( distsum >= 0.8*(imagewidth))// check for distance
greater than width of image
        {
            distsum = 0;// start cumulation afresh
            sprintf(image_name, "%s%i%s",
"Images/image_", frameCount, ".tif");
            name = (LPCTSTR)image_name;
            J_Image_SaveFile(&Buffer1, name);
            conversion = false;
        }
}*/

    // Generate segmentation profile

    cum = 0;
    maxDelta = 0; posDelta = 0;
    maxDelta2 = 0; posDelta2 = 0;
    vegetation = 0;
    resolution = gui->curve_resolution->value();
    th_offset = gui->curve_offset->value();

    for (int h = 255; h >= 0 ; h--){

        pattern[h] = sumlevel[h] + cum;
        cum = pattern[h];
        normal[h] = (int) (500*pattern[h])/newdim;
        indexCurve = (int) ((510-normal[h])*696 + 2*h);
        curve[indexCurve] = (unsigned char) 0;
        curve[indexCurve + 1]= (unsigned char) 0;

        pt3.x = 2*h;
        pt3.y = 510 - normal[h];
        pixelValue3.PixelValueUnion.Mono8Type.Value =
0;// draw curve

        J_Image_SetPixel(&Buffer3, &pt3, &pixelValue3);
        pt4.x = 0;
        pt4.y = 2*h;
        pixelValue4.PixelValueUnion.Mono8Type.Value =
0;// draw Y axis

        J_Image_SetPixel(&Buffer3, &pt4, &pixelValue4);
        pt4.x = 2*h;
        pt4.y = 510;
        pixelValue4.PixelValueUnion.Mono8Type.Value =
0;// draw X axis

        J_Image_SetPixel(&Buffer3, &pt4, &pixelValue4);
        pt4.x = 128;
        pt4.y = 2*h;
        pixelValue4.PixelValueUnion.Mono8Type.Value =
200;// draw X = 64

```

```

J_Image_SetPixel(&Buffer3, &pt4, &pixelValue4);
pt4.x = 256;
pt4.y = 2*h;
pixelValue4.PixelValueUnion.Mono8Type.Value =
200;// draw X = 128

J_Image_SetPixel(&Buffer3, &pt4, &pixelValue4);
pt4.x = 384;
pt4.y = 2*h;
pixelValue4.PixelValueUnion.Mono8Type.Value =
200;// draw X = 192

J_Image_SetPixel(&Buffer3, &pt4, &pixelValue4);

if (h < 256-resolution) {
    delta[h] = abs(pattern[h]-
pattern[h+resolution]);

    delta2[h] = delta[h];// added sept 2011
    if (h< 256-2*resolution) {
        delta2[h] = abs(delta[h]-
delta[h+resolution]);

        // get max values and their positions
        if (delta[h] > maxDelta){
            maxDelta = delta[h];
            posDelta = h;
        }
        if (delta2[h] > maxDelta2){
            maxDelta2 = delta2[h];
            posDelta2 = h;
        }
    } // closes h<246
} //closes h<251

    sumlevel[h] = 0; //important to initialize the
additive engine for next use
} // closes FOR loop

// Calculate final threshold and publish

if (gui->autoThreshold->value() == 1) {
    threshold = (int) (th_offset + (posDelta +
posDelta2)/2);

    if (threshold < 0) threshold = 0;
    if (threshold > 254) threshold = 255;
    gui->ShowThreshold->value(threshold);
}

// Threshold image with AUTOMATIC value

if (gui->autoThreshold->value() == 1){

    k = 0;
    for (j = 0; j < ydim; j = j+2){ // Threshold again
with new value

        for (i = 0; i < xdim; i = i+2){

            pt2.x = i/2;
            pt2.y = j/2;
            pt5.x = i/2;
            pt5.y = j/2;

            if (lowImage[k] <= threshold && gui->image_inversion-
>value() == 0) {

                segImage[k] = (unsigned char) 0;

```

```

        pixelValue5.PixelValueUnion.Mono8Type.Value = 0;
        J_Image_SetPixel(&Buffer4, &pt5,
&pixelValue5);
    }

    // Added July 2012 for image inversion (red filters)
    if (gui->image_inversion->value() == 1 && lowImage[k]
>= threshold) {
        segImage[k] =(unsigned char)
255;

        pixelValue5.PixelValueUnion.Mono8Type.Value = 255;
        J_Image_SetPixel(&Buffer4, &pt5,
&pixelValue5);
    }

    if (k < 520){ // show threshold in display
        curve[696*k + threshold*2 ] = (unsigned char)
0; //Plot threshold in GUI
        pt4.x = 2*threshold;
        pt4.y = k;
        pixelValue4.PixelValueUnion.Mono8Type.Value =
0;
    }

    J_Image_SetPixel(&Buffer3, &pt4, &pixelValue4); //
Plot threshold in saved image

    k++; //pixel counter
    }

    //J_Image_SetPixel(&Buffer4, &pt5, &pixelValue5);
} // closes the application of AUTOMATIC threshold

// Show thresholded image in Gui window

if (gui->processed_image->value() == 1) gui->imageBox-
>drawImageBW(segImage, newX, newY);

// Give option to save processed image

if (gui->save->value() == 1 && gui->save_processed->value() == 1
&& gui->autoThreshold->value() == 0 && conversion2 == true) {
    //if ( distsum1 >= 0.8*(imagewidth))//check for
saving processed images
    //{
        sprintf(image_name, "%s%i%s",
"Segmented/segmented_", frameCount, ".tif");
        name = (LPCTSTR)image_name;
        J_Image_SaveFile(&Buffer2, name);
        conversion2 = false;
    //}
}
}

```

```

        if (gui->save->value()==1 && gui->save_processed->value()==1
&& gui->autoThreshold->value() == 1) {

                //if ( distsum1 >= 0.8*(imagewidth))
                //{
                sprintf(image_name, "%s%i%s",
"Segmented/segmented_", frameCount, ".tif");
                name = (LPCTSTR)image_name;
                J_Image_SaveFile(&Buffer4, name);
                conversion2 = false;
                //}
                }

                // Output segmentation profile

                if (gui->profile_image->value() == 1) gui->imageBox-
>drawImageBW(curve, newX, newY);

                // Give option to save segmentation profile

                if (gui->save->value()==1 && gui->save_profile->value()==1) {

                        sprintf(image_name, "%s%i%s",
"Curves/curve_", frameCount, ".tif");
                        name = (LPCTSTR)image_name;
                        J_Image_SaveFile(&Buffer3, name);
                }

                // Calculate% vegetation and publish in GUI

                vegetation = (int)(100*pattern[threshold])/newdim;

                if (gui->image_inversion->value() == 1) { // changed July 2012
for inverted images
                        vegetation = 100 - vegetation;
                        if (vegetation >100) vegetation = 100;
                        if (vegetation < 0) vegetation = 0;
                }

                gui->ShowVegetation->value(vegetation);

                // Save data in TEXT FILE

                if (gui->save->value()== 1 && gui->save_text->value()== 1 &&
gui->status->value()==100){

                        mapCount++; // image added to map

                        if (mapCount == 1) { // header & file opening
                                file1.open(textfile, ios::app);
                                file1<<"Image\t"<<"Threshold " <<"% Vegetation
"<<"East\t"<<"North\t"<< /*"distance\t"<<"cumdistance\t"<< /*/"Altitude\t"<<"Ve
locityVTG\t"<<"HeadingVTG\t"<<"Satellites\t"<<"HDOP"<<endl;
                                file1<<"-----
-----" <<endl;

                                file2.open(mapfile, ios::app);
                                } // closes header of text file

                                if (frameCount != previousIm /*&& (satellites>=minSat
&& hdop<=maxHDOP && dataChange ==1*/ ) {

```

```

        file1<<frameCount<<"\t"<<threshold<<"\t\t"<<vegetation<<"\t"<<east1<<
"\t"<<north1<<"\t"<<dist<<"/*\t"<<distsum<<"\t"<<*/altitude1<<"\t"<<*/vel<<"
\t"<<*/velocitygpsprev<<"\t"<<headinggpsprev<<"/*\t"<<Hd<<*/"\t"<<satellites
1<<"\t"<<hdopl<<endl;

        file2<<mapCount<<"\t"<<frameCount<<"\t"<<vegetation<<"\t"<<east1<<"\t
"<<north1<<"\t"<<altitude1<<endl;
    }

    } // close text file recording routine

    previousIm = frameCount;

    delete[] lowImage;
    delete[] segImage;
    delete[] sumlevel;
    delete[] pattern;
    delete[] curve;
    delete[] normal;
    delete[] delta;
    delete[] delta2;

    } // Closes camera ON!

    else{ // when turning camera off

        J_Camera_ExecuteCommand(hCamera, "AcquisitionStop") ;
        gui->imageBox->clearImage();
        gui->save->value(0);
        //J_Image_CloseStream(hThread); // Close video stream

        message_error = " Camera is off -- Acquisition
stopped";

        gui->messageError->value(message_error);

    }

    } // Closes WHILE LOOP

    return 0; // Closes MAIN
}
//////////////////////////////////////
//                                     //
//             F U N C T I O N S         //
//                                     //
//////////////////////////////////////
FUNCTION FOR JAI CAMERA                ///
//////////////////////////////////////

static void _stdcall StreamCBFunc(J_tIMAGE_INFO * convImage){

    if (convImage->pImageBuffer == NULL){
        cout<<"primary buffer is empty"<< endl;
    }
    else {
        //cout<<"Image size: "<<convImage->iImageSize<<
endl;
    }
}

```

```

        if (BufferInfo.pImageBuffer == NULL) {
            //cout <<"Buffer for converted image is
empty!"<<endl;
            retval = J_Image_Malloc(convImage, &BufferInfo)
; // memory allocation for buffer
            //if (retval == J_ST_SUCCESS) cout<<"Second
buffer was empty and memory allocation worked ..."<<endl;
        }

        //cout<<"size convImage buffer: "<<sizeof(convImage-
>pImageBuffer)<<endl; // size = 4!
        //cout<<"size BufferInfo buffer:
"<<sizeof(BufferInfo.pImageBuffer)<<endl; // size = 4!

        if (BusyFlag == 1) return; // Added Nov 21 to fix
streaming issues
        iResult = J_Image_FromRawToImage(convImage,
&BufferInfo) ; // Convert the raw image to image format

        if (iResult == J_ST_SUCCESS){
            //cout <<"Image "<<frameCount<<" was properly
converted."<<endl;
            conversion = true;
            conversion2 = true;
            frameCount++; // count number of images
            //cout <<"Image "<<frameCount<<" was properly
converted."<<endl;
            actually grabbed
            current frame number
            gui->counter->value(frameCount); // Output
            return;
        }
    }
    return;
}
////////////////////////////////////
//
//          OTHER FUNCTIONS          //
//          //
////////////////////////////////////
//      FUNCTION 1: Capture & conditioning of NMEA strings //
////////////////////////////////////

int func()
{
    // cout<<"cm count"<<cmcount<<endl;
    gcount++;
    //cout<<"inside function ..."<<endl;
    int currentPORT = port;
    bool changePORT = false;
    char input_message[300]='-';
    char sfl[186] = {'-'};
    char buffer[150]='-';
    char* message_error2 = new char;
    message_error2 = "----- inside calculating function -----
";
    int codecheck = 0;
    bool port_ok = false;
    int sections = 15; // there are 15 sections in GPGGA string
    sect = 0; // counter for sections from 0 to 14
    // In reality indices are shifted: sfddata[15 sections][12 characters]
    count_sect = 0; // section counter

```

```

float latitude = 0;
float longitude = 0;
bool st; // status of transformation geodesic 2 ltp
char *nameFileBase= "SF2_GPS";
char gpsfile[20]; // composed name
char startCondition[1];
int startC = 1;
//count = 0; // Tracks # of $ in captured string as beginning and end ...
defined global
int incorrect = 0;
int matrix_filled = 0;
int x=0; // characters forming the newly-assembled string of 79 char
int sect_copy=0;
int count_sect_copy=0;
int sect_copyv=0;
int count_sect_copyv=0;
int satellites = satellites1 ; // Do not initialize to zero ... needs to
keep current values to show a stable display
float hdop = hdop1;
float altitude = altitudel;
float east = east1;
float north = north1;
east2 = east1;
north2 = north1;
float time = timel;
float v= 0;
dataChange = 0;
float latDeg= latDeg1;
float latMin= latMin1;
float lonDeg= lonDeg1;
float lonMin= lonMin1;
float latRad=0;
float lonRad=0;
int value =0;
float Xm=0;
float Ym=0;
float Zm=0;
float Xr;
float Yr;
float Zr;
float N=0;
float diff=10; //Time differences appear in denominators and should never be
0
float diff1_4=10;
float diff2_5=10;
float dist1_4=0;
float dist2_5=0;
float dist1_5=0;
int Mhh;
int Mmm1=0;
int Mmm;
float Mss;
float time_s;
float H1=0;
float H2=0;
float H3=0;
float H4=0;
//float dist=0;
float previous_vector=0;
float difference_vector=0;
float previous=0;
float sum=0;

```

```

int error=0;
int threshold=20;
float minDist=0.4;
int curvature=0;
int count_curv=0;
int jump=0;
int q1=0;
int q2=0;
int q3=0;
int q4=0;
int numbervtg = 0;
int numbergga = 0;
int count2 = 0;
int b = 0;
int m = 0;
int k1 = 0;
int q = 0;
float velocitygps = velocitygpsprev;
float headinggps = headinggpsprev;
//cout<<"cm count1"<<cmcount<<endl;
// insert delay for GPS acquisition
delay = gui->GPS_delay->value();
//gui->Show_delay->value(delay);
//gui->delay_status->value(delay);

//if(k< length) // k & length initialized as global variables. length = #
characters in patched string
// {
//cout <<"Jumped to LOOP because k="<<k<<" is less than the string length
"<<length<<endl;
//goto loop;
//}
//else if(k==length && w<code) // already cancelled in current
code
//{
// l=0;
// goto copy2;
//}

// Check if open port is not the one transferring data!

codecheck = SioGets (PORT1, buffer, 130);
if (codecheck > 0 && currentPORT != 1) {
//cout<<"Port 1 positive code of "<<codecheck <<endl ;
port = 1;
code = codecheck;
gui->ShowPort->value(port);
SioBaud (PORT1, WSC_Baud19200);
SioParms (PORT1, WSC_NoParity, WSC_OneStopBit,
WSC_WordLength8);

strcpy(buffer, ""); // clear buffer
changePORT = true;
message_error2 = " Change port to number 1";
gui->messageError->value(message_error2);
}

codecheck = SioGets (PORT2, buffer, 130);
if (codecheck > 0 && currentPORT != 2) {
//cout<<"Port 2 positive code of "<< codecheck <<endl ;
port = 2;
code = codecheck;
gui->ShowPort->value(port);
}

```

```

        SioBaud (PORT2, WSC_Baud19200);
        SioParms (PORT2, WSC_NoParity, WSC_OneStopBit,
WSC_WordLength8);
        strcpy(buffer, ""); // clear buffer
        changePORT = true;
        message_error2 = " Change port to number 2";
        gui->messageError->value(message_error2);
    }

    codecheck = SioGets (PORT3, buffer, 130);
    if ( codecheck > 0 && currentPORT != 3) {
        //cout<<"Port 3 positive code of "<< codecheck <<endl ;
        port = 3;
        code = codecheck;
        gui->ShowPort->value(port);
        SioBaud (PORT3, WSC_Baud19200);
        SioParms (PORT3, WSC_NoParity, WSC_OneStopBit,
WSC_WordLength8);
        strcpy(buffer, ""); // clear buffer
        changePORT = true;
        message_error2 = " Change port to number 3";
        gui->messageError->value(message_error2);
    }

    codecheck = SioGets (PORT4, buffer, 130);
    if (codecheck > 0 && currentPORT != 4) {
        //cout<<"Port 4 positive code of "<< codecheck <<endl ;
        port = 4;
        code = codecheck;
        gui->ShowPort->value(port);
        SioBaud (PORT4, WSC_Baud19200);
        SioParms (PORT4, WSC_NoParity, WSC_OneStopBit,
WSC_WordLength8);
        strcpy(buffer, ""); // clear buffer
        changePORT = true;
        message_error2 = " Change port to number 4";
        gui->messageError->value(message_error2);
    }

    codecheck = SioGets (PORT5, buffer, 130);
    if (codecheck > 0 && currentPORT != 5) {
        //cout<<"Port 5 positive code of "<< codecheck <<endl ;
        port = 5;
        code = codecheck;
        gui->ShowPort->value(port);
        SioBaud (PORT5, WSC_Baud19200);
        SioParms (PORT5, WSC_NoParity, WSC_OneStopBit,
WSC_WordLength8);
        strcpy(buffer, ""); // clear buffer
        changePORT = true;
        message_error2 = " Change port to number 5";
        gui->messageError->value(message_error2);
    }

    codecheck = SioGets (PORT6, buffer, 130);
    if (codecheck > 0 && currentPORT != 6) {
        //cout<<"Port 6 positive code of "<< codecheck <<endl ;
        port = 6;
        code = codecheck;
        gui->ShowPort->value(port);
        SioBaud (PORT6, WSC_Baud19200);
        SioParms (PORT6, WSC_NoParity, WSC_OneStopBit,
WSC_WordLength8);

```

```

        strcpy(buffer, ""); // clear buffer
        changePORT = true;
        message_error2 = " Change port to number 6";
        //cout<< " Change port to number 6" << endl;
        gui->messageError->value(message_error2);
    }
    codecheck = SioGets (PORT7, buffer, 130);
    if (codecheck > 0 && currentPORT != 7) {
        //cout<<"Port 6 positive code of "<< codecheck <<endl ;
        port = 7;
        code = codecheck;
        gui->ShowPort->value(port);
        SioBaud (PORT7, WSC_Baud19200);
        SioParms (PORT7, WSC_NoParity, WSC_OneStopBit,
WSC_WordLength8);
        strcpy(buffer, ""); // clear buffer
        changePORT = true;
        message_error2 = " Change port to number 11";
        //cout<< " Change port to number 6" << endl;
        gui->messageError->value(message_error2);
    }
    codecheck = SioGets (PORT11, buffer, 130);
    if (codecheck > 0 && currentPORT != 6) {
        //cout<<"Port 6 positive code of "<< codecheck <<endl ;
        port = 11;
        code = codecheck;
        gui->ShowPort->value(port);
        SioBaud (PORT11, WSC_Baud19200);
        SioParms (PORT11, WSC_NoParity, WSC_OneStopBit,
WSC_WordLength8);
        strcpy(buffer, ""); // clear buffer
        changePORT = true;
        message_error2 = " Change port to number 11";
        //cout<< " Change port to number 6" << endl;
        gui->messageError->value(message_error2);
    }
}
//cleaning gga
    for ( int j = 0; j < prev ; j++)
    {
    for ( int i = 0; i < 12 ; i++)
    { sfdata[j][i] = ' ';
    }
    }
// cleaning the vtg array sfdatav
for ( int j = 0; j < prev1 ; j++)
{
for ( int i = 0; i < 6 ; i++)
{ sfdatav[j][i] = ' ';
}
}
sio: if(port==1) //          --- FP1 FlowPoint 1: READ MORE DATA -----
    SioTxClear (PORT1);
else if(port==2)
    SioTxClear (PORT2);
else if(port==3)
    SioTxClear (PORT3);
else if(port==4)
    SioTxClear (PORT4);
else if(port==5)

```

```

        SioTxClear (PORT5);
else if(port==6)
    SioTxClear (PORT6);
else if(port==7)
    SioTxClear (PORT7);
else if(port==11)
    SioTxClear (PORT11);

//cout <<"current port is "<< port << endl;

l= 0; // Counters initialized every time we read more data from port
w1= 0;

strcpy(input_message1, ""); // clear ONLY recipient array, never
input_message(x) as x remains

if(port==1)
code = SioGets (PORT1, input_message1, 186); // incomig data stored in
string input_message1 of any size in range 1 ... 79
else if(port==2)
code = SioGets (PORT2, input_message1, 186);
else if(port==3)
code = SioGets (PORT3, input_message1, 186);
else if(port==4)
code = SioGets (PORT4, input_message1, 186);
else if(port==5)
code = SioGets (PORT5, input_message1, 186);
else if(port==6)
code = SioGets (PORT6, input_message1, 186);
else if(port==7)
code = SioGets (PORT7, input_message1, 186);
else if(port==11)
code = SioGets (PORT11, input_message1, 186);

//cout<<"got chunk from receiver....."<<input_message1<<endl;//cout
<<"code after acquisition is ... "<< code << endl;

if (code == 0) // The port is open but nothing is coming, probably not
enough satellites
{
    //cout<<"waiting for new string   code="<<code<<endl;
message_error2 = " No data coming in ... waiting ...";
//gui->messageError->value(message_error2);

    timecount2++;
//cout<<timecount2<<endl;
//if(timecount2 > 150*delay)
if(timecount2 > 150*delay)
{
    gui->status->value(0);
matrix_filled = 0;
count = 0;
message_error2 = " Time out, no data coming in ... introduced delay
? ";

    //cout<<" Time out, returns handle with loop "<< gcount << endl;
gui->messageError->value(message_error2);

    goto endoffunc; //Output current data and return handle
} // closes timing counter

goto sio; // keep on trying
}

```

```

if (code<0 && code !=-2) {
    //cout <<"ERROR OPENING PORT ... code is "<<code<<endl;
    message_error2 = " Error opening the serial ports";
    gui->messageError->value(message_error2);

    //gui->port_status->value(0);
    gui->status->value(0);
}

if(code>0) // data is incoming and must be processed!
{
    timecount2 = 0;
    //cout<<" Inside processing routine ... code ="<< code <<endl;//
Outputs # characters acquired at every call...gives an idea of the info flow

copy2: //      --- FP2  FlowPoint 2:  COMPOSE 79-CHARACTER STRINGS FROM
SHORTER STRINGS -----

    //cout<<"w1 before passing pieces of message is "<<w1<<endl; // ...is
always 0
    for(w=w1;w<code && x<186;w++,x++) // x indicates position in new
string of 186 char
    {
        w1=w;
        input_message[x]=input_message1[w]; //copy whatever available into
input_message
        //if (code < 85) cout<<input_message<<endl;
    }
    //cout<<"assembles chunk ....."<<input_message<<endl;
    if(w==code && x<186) //conditions to ensure that control moves
forward only after a string of length 79 fills input_message
    {
        w1=0; // we have transfered all data to the new string but
there is still space for more ... get more data -> FP-1
        //cout<<"Went to get data: w = "<<w<<" x = "<<x<<endl;
        goto sio;
    }
    if(x==186) //as soon as 186 characters are acquired -and only
then- we go to the copying part
    {
        x=0; // Get ready for composing next operative string of 186
char
        timecount2=0; // set waiting-for-data counter to zero
        timecount++;
        //cout<<"186 characters obtained
timecount="<<timecount<<endl;
        if(timecount>10){
            goto endoffunc;
            //cout<<" getting out of FP2"<<endl;
        }
        //cout<<"186 characters obtained"<<endl;

        goto copy; // Proceed with tha analysis of the 79-char string -> FP3
    } // closes x == 186

} // closes code>0

copy: // --- FP3  FlowPoint 3:  COPY 79-CHARACTER STRINGS INTO OPERATING
GLOBAL STRING -----

sf = input_message; // copy the 186-char message into the global string sf

```

```

length = sf.length();

loop: // --- FP4 FlowPoint 4: ANALYSIS OF THE GLOBAL STRING SF -----
int n = strlen(sfdata[0]);
//cout<<"length is "<<n<<endl;
for (k = 0; k < length; k++) {
    if( sf[k]=='G' && sf[k+1]=='P' && sf[k+2]=='V' && sf[k+3]=='T' &&
sf[k+4]=='G')
        { numbervtg ++;
        }
    if( sf[k]=='$' && sf[k+1]=='G' && sf[k+2]=='P' && sf[k+3]=='G' &&
sf[k+4]=='G' && sf[k+5]=='A')
        { numbergga ++;
        }
}

if( numbervtg >= numbergga)
{ //cout<<"sf before..."<<sf<<endl;
  m = 0;
b = 0;
count2= 0;
//sf1[0] = '$';
  for ( k1 = 0 ; k1 < length ; k1++)
    { //if ( l == (k1+71)) goto skip1;
      if(/* input_message[k1]=='$' && */input_message[k1]=='G' &&
input_message[k1+1]=='P' && input_message[k1+2]=='V' &&
input_message[k1+3]=='T' && input_message[k1+4]=='G')
        { count2 ++;
          //cout<<"count2..."<<count2<<endl;
          if( count2 == 1)
            { b = k1;
              //cout<<"b.."<<b<<endl;
            }
          //else//if (count2 == 2)
          //{ goto skip1;
          //}
        }
      if( input_message[k1]=='$' && input_message[k1+1]=='G' &&
input_message[k1+2]=='P' && input_message[k1+3]=='G' &&
input_message[k1+4]=='G' && input_message[k1+5]=='A')
        {
          for ( int l1 = k1 ; l1 < /*(k1+69)*/186 ; l1++)
            {
              sf1[m] = input_message[l1];
              m++;
              if(input_message[l1] == '*') break;
            }
          //cout<<"sf1("<<m-1<<") ="<<sf1[m-1]<<endl;
          for ( q = b; q < /*( b + 42)*/186 ; q++)
            {
              sf1[m] = input_message[q];
              //cout<<"sf1("<<m<<") ="<<sf1[m]<< " = "<< "sf("<<q<<")
="<<input_message[q]<< endl;
              m++;
              if(input_message[q] == '*') break;
              //cout<<"sf("<<q<<") ="<<sf[q]<<endl;
            }
          goto skip1;
        }
    } // close if gpgga
}

```

```

        } // close for loop for scanning the string

    skip1:
        //cout<<" m ...."<<m<<endl;

    sf = sf1;
    cout<<"sf.."<<sf<<endl;
    length = m;
    }

    for ( int j = 0; j < prev ; j++)
    {
        for ( int i = 0; i < 12 ; i++)
        { sfdata[j][i] = ' ';
        }
    }
    // cleaning the vtg array sfdatav

    for ( int j = 0; j < prev1 ; j++)
    {
        for ( int i = 0; i < 6 ; i++)
        { sfdatav[j][i] = ' ';
        }
    }
    //cout<<"cm count1 is .. "<<cmcount<<endl;
    for (k = a ; k < length; k++){//parsing routine

        if( sf[k]=='G' && sf[k+1]=='P' && sf[k+2]=='V' && sf[k+3]=='T' &&
sf[k+4]=='G')
        {
beginning:
            while (k < length)
            {
                if(sf[k]=='$')
                { //cout<<"sectv is"<<sectv<<endl;
                    count1 ++; // counts # of $ to mark beginning and end of GPvtg
standard string
                }
                if( /*count1 == 1 ||*/sectv == 8) //STRING IS CORRECT = GPVTG
                {

                    gui->status->value(100);
                    matrix_filled = 1;
                    prev1 = sectv;
                    sectv=0; // init. number of sections
                    count_sectv=0; // init. char per section
                    count1 = 0; // init. number of $ for GPVTG messages
                    l=k; // track the remainder of the 190-char message for later use ...
do not discard good data
                    nmea = false; // initialize nmea for the next good

                //
                    sfdatav = {"GPVTG","", "", "", "", "", "", "", ""};
                    goto disp; //there is a complete GPGGA message within SF ...
extract sections -> FP5

                }
            }
        }
    }
}

```

```

        //if(count1==0 /*&& nmea == true*/ ) // We are inside the string ...
parsing sections ... until we hit the last $
        //{
            if (sf.compare(k,1,",") != 0){// character different to comma
... fill section
                sfdatav[sectv][count_sectv]= sf[k];
                //cout<<"k is "<<k<<endl;
                //cout<<"dealing with section "<< sectv<<" , inner char number
" << count_sectv<< " and char is: "<<sf[k]<< endl;
                count_sectv++;
                // partial counter inside each section (maximum 12 char)
            }

            else if (sf.compare(k,1,",")==0 && count_sectv>=rowMINv[sectv]
&& count_sectv<=rowMAXv[sectv] ){// found a comma and section has been
filled ok ... move to next section
                count_sectv = 0; // start counter for next section
                cout<<"section "<< sectv <<" = "<<sfdatav[sectv]<<endl;
                sectv++; // move to the following section
            }

            else if ((sf.compare(k,1,",")==0 && sectv < 8 &&
count_sectv>rowMAXv[sectv] || ((sf.compare(k,1,",")==0 && sectv < 8 &&
count_sectv<rowMINv[sectv]))){
                flag1 = true;
                k++;
                //cout<<k<<endl;
                l=k;
                sect_copyv = sectv;
                count_sect_copyv = count_sectv;
                count_sectv=0;
                //cout<<"count="<<count<<endl;
                count1=0;

                sectv=0; // start all over

                incorrect =1;
                gui->status->value(0);

                if(k==length)
                    {
                        cout<<"end of string without completing all the
sections ..."<<endl;
                        goto sio;
                    }
                }// closes second else-if*/
k++;// to increase k counter , rather than going back to end of loop
    //} // closes count1==0 ... inside one of vtg fields

    //cout<<" just after skip ... section "<< sect <<" =
"<<sfdata[sect]<<endl;

    goto beginning;
    } //ends whileloop

} // ends IF statement of VTG

here: incorrect = 0; //

if(sf[k]=='$')
{

```

```

        // counts # of $ to mark beginning and end of GPGGA standard
string
        //cout<<"$ obtained ... count="<<count<<endl;
        // Remove any message that is not GPGGA ... when using lab-
testing unit Garmin ... later adapt for GPVTG
        if( sf[k+1]=='G'&& sf[k+2]=='P' && sf[k+3]=='G' &&
sf[k+4]=='G' && sf[k+5]=='A'){//&& sf[k+3]!='V'&& sf[k+4]!='T'&&
sf[k+5]!='G'

                nmea = true;
                count ++;

                //cout<< "GPGGA message found"<<endl;

                //gui->ShowNMEA->value(sfdata[0]);
        } // closes GPGGA identification

    } // closes $ identification

if(count == 2|| sect>11/*&& nmea == true*/) //STRING IS CORRECT =
GPGGA
{
    message_error2 = " Correct gga string assembled ...";
    gui->messageError->value(message_error2);
    //cout<<" *** correct string processed and published for point
"<<valid_points<< endl;
    gui->status->value(100);
    matrix_filled = 1;
    prev = sect ;
    sect=0; // init. number of sections
    count_sect=0; // init. char per section
    count = 0; // init. number of $
    l=k; // track the remainder of the 145-char message for later use ...
do not discard good data
    nmea = false;

    strcpy(input_message,"");// clear recipient array
    strcpy(input_message1, ""); // clear recipient array

    //goto beginning;//there is a complete GPGGA message within SF ,
now start searching for vtg string in sf
}

    if(count==1 /*&& nmea == true*/ ) // We are inside the string ...
parsing sections ... until we hit the second $
    {
        if (sf.compare(k,1,",") != 0){// character different to comma
... fill section
            sfdata[sect][count_sect]= sf[k];
            //cout<<"dealing with section "<< sect<<" , inner char number "
<< count_sect<< " and char is: "<<sf[k]<< endl;
            //cout<<"k is"<<k<<endl;
            count_sect++; // partial counter inside each section (maximum
12 char)
        }

        else if (sf.compare(k,1,",")==0 && count_sect>=rowMIN[sect] &&
count_sect<=rowMAX[sect] ){// found a comma and section has been filled ok
... move to next section
            count_sect = 0; // start counter for next section
            cout<<"section "<< sect <<" = "<<sfdata[sect]<<endl;
            sect++; // move to the following section
        }
    }

```

```

        else if ((sf.compare(k,1,",")==0 && sect < 12 &&
count_sect>rowMAX[sect]) || ((sf.compare(k,1,",")==0 && sect < 12 &&
count_sect<rowMIN[sect]))){// PROBLEM: found next comma but section is not
ok
        //sfdata[][15] =
{"$GPGGA","112633.0","3928.995234","N","00020.233222","W","2","10","1.0","3.
911","M","52.122","M","10.0","207*6D"};
        message_error2 = " Some internal section of the message is not
correct ...";
        gui->messageError->value(message_error2);
        cout<<"The string has a problem with section "<< sect<< " ...
" << sfdata[sect]<<"....." <<endl;
        //cout<<input_message<<endl;
        //cout<<" Counter for the comma is "<< count_sect <<" and
should be "<< row2[sect]<< endl;

        k++;
        //cout<<k<<endl;
        l=k;
        sect_copy = sect;
        count_sect_copy = count_sect;
        count_sect=0;
        //cout<<"count="<<count<<endl;
        count=0;
        //cout<<"k= "<< k<<endl;
        //cout<<"incorrect string-section: "<<sect<<" ...
count= "<<count<<endl;
        sect=0; // start all over

        incorrect =1;
        gui->status->value(0);

        if(k==length)
        {
            cout<<"end of string without completing all the
sections ..."<<endl;
            goto sio;
        }

        } // closes second else-if

    } // closes count==1

    //cout<<" just after skip ... section "<< sect <<" =
"<<sfdata[sect]<<endl;
    //} // closes GPGGA identification
    //} // closes $ identification

} //closes FOR loop

if (k ==length && count1<1 && nmea == true ){
    //timecount=0;
    //cout<<"count1 is still 0 and going for the next 89 ...k = length = "<<
k <<endl;
    goto sio;
}

//cout<<"cm count1....."<<cmcount<<endl;
disp: // --- FP5 FlowPoint 5: SF IS OK, EXTRACT INDIVIDUAL COMPONENTS AND
PUBLISH -----

```

```

//gui->ShowNMEA->value(sfdata[0]);
//gui->ShowVTG->value(sfdatav[0]);
//cout<<"Type of NMEA message: "<<sfdata[0]<<endl;
time = convert2float(sfdata[1]);
//cout<<" current time= "<< time<< "Previous time: "<< time1<<endl;
scanf (sfdata[2], "%f", &latitude);
latitude = convert2float(sfdata[2]);
//string lat_dir(sfdata[3]);
longitude = convert2float(sfdata[4]);
//string lon_dir(sfdata[5]);
satellites = atoi(sfdata[7]);

//cout<<"SATELLITES = "<< satellites<<endl;
hdop = convert2float(sfdata[8]);
altitude = convert2float(sfdata[9]);
//cout<<"altitude.."<<altitude<<endl;
alt = altitude*1000;
altitude = floor(alt);
altitude = altitude/1000;
//cout<<"altitude.."<<altitude<<endl;
//cout<<latitude<<endl<<longitude<<endl;
// Transform from geodesic to LTP
latDeg= floor (latitude/100);
latMin= latitude-(latDeg*100);
lonDeg= floor (longitude/100);
lonMin= longitude-(lonDeg*100);
//velocitygps = convert2float(sfdatav[7]);
velgps = velocitygps*10;
velocitygps = floor(velgps);
velocitygps = velocitygps/10;

//headinggps = convert2float(sfdatav[1]);
headgps = headinggps*10;
headinggps = floor(headgps);
headinggps = headinggps/10;
if(flag1 == false )
{
    velocitygps = convert2float(sfdatav[7]);
    headinggps = convert2float(sfdatav[1]);
}
else
{
    headinggps = headinggpsprev ;
    velocitygps = velocitygpsprev;
    flag1 = false;
}
//cout<<" velocity from gps = "<<velocitygps<<" kmph"<<endl;
//cout<<" heading from gps = "<<headinggps<<" degrees"<<endl;
//gui->velocityGPS->value(velocitygps);
//gui->ShowCourse->value(headinggps);

if(satellites>12 || satellites<1)
{
    message_error2 = " *** Impossible number of satellites ***";
    gui->messageError->value(message_error2);
    count_sect=0;
    count=0;
    sect=0;
    cout<<"1st filter: satellites more than 12 or less than 1"<<endl;
}

```

```

gui->status->value(0);
matrix_filled = 0;
strcpy(input_message, ""); // clear recipient array
strcpy(input_message1, ""); // clear recipient array
//goto endofloop;
goto sio;
}
if(satellites<minSat && hdop>maxHDOP)
{
    message_error2 = " NOT meeting constraints for satellites or HDOP";
    gui->messageError->value(message_error2);
    cout<<"2nd filter: satellites less than minimum set & HDOP over max
set"<<endl;
    gui->status->value(0);
        //count_sect=0;
        //count=0;
        //sect=0;
        //goto endofloop;
}
if(altitude< -100 || altitude>2000)
{
    message_error2 = " *** Impossible ALTITUDE *** ";
    gui->messageError->value(message_error2);
    cout<<"3rd filter: altitude too low or excessive ..."<<
altitude<<endl;
    gui->status->value(0);
        count_sect=0;
        count=0;
        sect=0;
        //goto endofloop;
        matrix_filled = 0;
        strcpy(input_message, ""); // clear recipient array
        strcpy(input_message1, ""); // clear recipient array
        goto sio;
}

N = 6378137/(sqrt(1-(0.0818192*0.0818192)*sin(latRad)*sin(latRad)));

latRad=(latDeg+(latMin/60))*(PI/180);

lonRad=(lonDeg+(lonMin/60))*(-PI/180);

Xm=(N+altitude)*cos(latRad)*cos(lonRad);

Ym=(N+altitude)*cos(latRad)*sin(lonRad);

Zm=(N*(1-0.0818192*0.0818192)+altitude)*sin(latRad);

if(gui->set_origin->value()==1)
{
    X0=Xm;
    Y0=Ym;
    Z0=Zm;
    gui->set_origin->value(0);
}

Xr= Xm - X0;

Yr= Ym - Y0;

Zr= Zm - Z0;

```

```

east= (Yr*cos(lonRad)-Xr*sin(lonRad));
//cout<<east<<endl;
north= (-Xr*sin(latRad)*cos(lonRad)-
Yr*sin(latRad)*sin(lonRad)+Zr*cos(latRad));
//cout<<north<<endl;

if (time != time1 || east != east1 || north != north1){//check if fresh data
is not coming
    dataChange = 1;}
    else
    {dataChange = 0;
    //cout<< "Values are being repeated and counter halted !!!!"<< endl;
    message_error2 = " Values are being repeated and counter halted ! ";
    gui->messageError->value(message_error2);
    //stuck++;
    }

//cout<< "Data Change =" << dataChange<< /*<< " repetitions = "<< stuck<<*/
endl;

//cout<<"e<east before..."<<east<<endl;
eastdecimal = east*1000 ;
east = floor(eastdecimal);
east = east/1000 ;
//cout<<"east..."<<east<<endl;

//cout<<"north before.."<<north<<endl;
northdecimal = north*1000 ;
north = floor(northdecimal);
north = north/1000 ;
//cout<<"north..."<<north<<endl;

gui->ShowEast->value(east);
gui->ShowNorth->value(north);

east2 = east1;
north2 = north1;

if (satellites>=minSat && hdop<=maxHDOP && dataChange ==1 /*&&
time>time1*/) {
    //cout<<"Added new point "<<valid_points+1<<" because
we have more than "<<minSat<<" satellites and HDOP <= "<<maxHDOP<<endl;
    valid_points++;
    gui->status->value(100);
    Mhh=time/10000;
    Mmm1=time/100;
    Mmm=Mmm1%100;
    Mss=time-(Mmm1*100);
    time_s=(Mhh*3600)+(Mmm*60)+(Mss);

if(valid_points > 2)
{
    dist = sqrt((east2-east)*(east2-east)+(north2-
north)*(north2-north));
    //cout<<"dist..."<<dist<<endl;
}

time1=time;
latDeg1=latDeg;
latMin1=latMin;
lonDeg1=lonDeg;
lonMin1=lonMin;

```

```

altitudel=altitude;
satellites1=satellites;
hdop1=hdop;
east2 = east1;
east1=east;
north2 = north1;
north1=north;
headinggpsprev = headinggps ;
velocitygpsprev = velocitygps;
//vel = v;
//Hd=Hdg0;
//cout <<" all values have been calculated and now we move to end of
function"<<endl;
//}
goto endoffunc;

endoffloop: ; // Things did not work out well ...

//cout <<" End of loop with k = " <<k<<" and length = "<<length<<endl;

if(k<length){
    goto loop;
    //cout<<"Went to loop because k<length"<<endl;
}
if(w<code){ //if something is leftover in input_message1..this will ensure
that we don't miss it
    goto copy2;
    //cout<<"Went to copy2 because w<code: w="<<w<<" and
code="<<code<<endl;
}
endoffunc:   timecount=0;
            timecount2=0;

            if(matrix_filled == 1 && satellites>=minSat &&
hdop<=maxHDOP){
                gui->status->value(100);

                //cout <<"The GPS values have been correctly
identified for point "<<valid_points<<endl;
            }
            else{
                gui->status->value(0);
            }

time1=time;
latDeg1=latDeg;
latMin1=latMin;
lonDeg1=lonDeg;
lonMin1=lonMin;
altitudel=altitude;
satellites1=satellites;
hdop1=hdop;

east1=east;
north2 = north1;
north1=north;
headinggpsprev = headinggps ;
velocitygpsprev = velocitygps;
//vel = v;
//Hd=Hdg0;
nmea = false;
// delete[] sfdata;

```

```

//cout<< "return handle after point "<<valid_points<<endl;
return matrix_filled;
}
////////////////////////////////////
//      //      FUNCTION 2: Conditioning geodetic coordinates      //
//
////////////////////////////////////

float convert2float(char gpssect[]){

float value = 0.0;
float integerPart = 0;
int markpoint = 1;
int decimals = 0;
float decimalPart = 0.0;
float cumulative = 0.0;
int length2 = 0;
int denom = 1;
float joker = 0.0;
char *sf3= new char;

string sf2(gpssect);
length2 = sf2.length();

for (int k = 0; k < length2; k++){//parsing routine

        if (sf2.compare(k,1,".")==0){
                markpoint = k+1;

        }

}
decimals = length2 - markpoint;

for (int h = 1; h < decimals+1; h++){

        denom = 10 * denom;
        sf3[0] = sf2[markpoint+h-1];

        joker = atof(sf3);
        if (denom !=0) decimalPart = float ((joker/denom));
        cumulative = cumulative + decimalPart;

}

integerPart = (float) atoi(gpssect);

value = (integerPart + cumulative);

return value;
} // end function

////////////////////////////////////

```

ANEJO 7: MAPAS DE VEGETACIÓN. (Matlab. Versión R2009b)

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%                               ALGORITMO GPS_VEGEAT_ALT                               %%
%%                               V.Sáiz Rubio_Valencia, Actualizado Octubre 2012      %%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Creación de malla con celdas rellenas por el porcentaje de vegetación y la
altura de la parcela.
% Representa también la trayectoria del GPS
% Se le introducen las coordenadas ya en ESTE - NORTE

close all;
clear all;

% Cargar fichero de coordenadas LTP (con Altitud)

data = load ('LTP_NIR8_Def.txt');% PARA ARCHIVO NIR
data1 = load ('LTP_ROJO12_Def.txt');% PARA ARCHIVO ROJO

[np, columns] = size (data);% number of points

% Columnas necesarias

index = data(:,1);% número de puntos
Image = data(:,2);% número de imagen registrada por el programa
Veget = data(:,3);% porcentaje de vegetación
East = data(:,4);
North = data(:,5)+ 4;% ajuste del GPS para poder contrastar las demás mallas
Altitud = data(:,6);

index1 = data1(:,1);% número de puntos
Image1 = data1(:,2);% número de imagen registrada por el programa
Veget1 = data1(:,3);% porcentaje de vegetación
East1 = data1(:,4);
North1 = data1(:,5)+ 4;% ajuste del GPS para poder contrastar las demás
mallas
Altitud1 = data1(:,6);

[np1, columns1] = size (data1);% number of points

% CREACIÓN MALLA Y RELLENADO

c = 4 ;% tamaño de la celda de la malla. Cuadrado de c metros de lado

maxN = 48;
maxE = 128;
minN = -2;
minE = -13;

% Resolución de la malla

h = abs(maxE - minE)/c;
v = abs(maxN - minN)/c;
H = ceil(h);% redondeo por arriba (Ha de ser número entero)
V = ceil(v);

Resol = H*V;

mallaNIR8 = zeros(V, H);% creación de la malla
mallaR12 = zeros(V, H);
mallaAltitud = zeros(V,H);% para la altitud
```

```

% Rellenado de la malla
countErr = 0;
countErr2 = 0;
countErr3 = 0;
countErr4 = 0;
countErr5 = 0;
countErr6 = 0;

%Creación de malla NIR8

for k = 1:np
    if North(k) <= maxN && East(k) <= maxE && North(k) > minN &&
East(k) > minE

        u(k) = round((abs(minE)/c) + East(k)/c);
        v(k) = round(-(minN/c) + North(k)/c);

        if u(k) == 0
            u(k) = 1;

            countErr3 = countErr3 + 1;

        end

        if v(k) == 0

            v(k) = 1;
            countErr4 = countErr4 + 1;

        end

        if mallaNIR8 (v(k), u(k)) ~= 0% es decir, que ya hay un valor
asignado
            mallaNIR8 (v(k), u(k)) = 0.5 * (Veget(k) + mallaNIR8
(v(k), u(k)));

        else
            mallaNIR8 (v(k), u(k)) = Veget(k);
        end

        if mallaAltitud (v(k), u(k)) ~= 0% es decir, que ya hay un valor
asignado
            mallaAltitud (v(k), u(k)) = 0.5 * (Altitud(k) +
mallaAltitud (v(k), u(k)));

        else
            mallaAltitud (v(k), u(k)) = Altitud(k);
        end% cierra el if-else

        end% cierra el if
    end% cierra el bucle del primer for (k)

% Malla R12

for k1 = 1:np1

    if North1(k1) <= maxN && East1(k1) <= maxE && North1(k1) > minN &&
East1(k1) > minE

        u(k1) = round((abs(minE)/c) + East1(k1)/c);

```

```

v(k1) = round(-(minN/c) + North1(k1)/c);

    if u(k1) == 0
        u(k1) = 1;

        countErr3 = countErr3 + 1;

    end

    if v(k1) == 0

        v(k1) = 1;
        countErr4 = countErr4 + 1;

    end

    if mallaR12 (v(k1), u(k1)) ~= 0% es decir, que ya hay un valor
asignado
        mallaR12 (v(k1), u(k1)) = 0.5 * (Veget1(k1) + mallaR12
(v(k1), u(k1)));

    else
        mallaR12 (v(k1), u(k1)) = Veget1(k1);

    end% cierra el if-else

    end% cierra el if
end% cierra el bucle del primer for (k1)

% Representación gráfica de las coordenadas de los puntos muestreados

figure;
plot(East, North,'b.','MarkerSize',19);
xlabel('Este [m]','FontSize', 14);
ylabel('Norte [m]','FontSize', 14);
title('Trayectoria del vehículo','FontSize', 16);
grid on;

%% Representación mallas

figure;
surf(mallaNIR8); view (0,90);%colormap(cool);
axis equal;
axis ([0 H+1 0 V+1]);
xlabel('Este (celda = 4 metros)', 'FontSize',20);
ylabel('Norte (celda = 4 metros)', 'FontSize', 20);
title ('VEGETACIÓN NIR 8 mm [% en las imágenes]', 'FontSize', 20);
barcol2 = [1 1 1;1 1 0.5;0.7 1 0;0 0.9 0;0 0.7 0;0 0.55 0;0 0.45 0;0 0.35
0;0 0 0];caxis([0 100])%verdes. El caxis es para la leyenda (ahora tiene 100
niveles)
colormap(barcol2);
colorbar('EastOutside')

figure;
surf(mallaR12); view (0,90);%colormap(cool);
axis equal;
axis ([0 H+1 0 V+1]);
xlabel('Este (celda = 4 metros)', 'FontSize',20);
ylabel('Norte (celda = 4 metros)', 'FontSize', 20);
title ('VEGETACIÓN Rojo 12 mm [% en las imágenes]', 'FontSize', 20);

```

```

barcol2 = [1 1 1;1 1 0.5;0.7 1 0;0 0.9 0;0 0.7 0;0 0.55 0;0 0.45 0;0 0.35
0;0 0 0];caxis([0 100])%verdes. El caxis es para la leyenda (ahora tiene 100
niveles)
colormap(barcol2);
colorbar('EastOutside')

figure;
surf(mallaAltitud); view (0,90);
axis equal;
axis ([0 H+1 0 V+1]);
xlabel('Este (celda = 4 metros)', 'FontSize',20);
ylabel('Norte (celda = 4 metros)', 'FontSize', 20);
title ('ALTITUD [metros]', 'FontSize', 20);
barcol7 = [0.95 0.95 0.95;0 0 1; 0 0.2 1;0 0.4 1;0 0.6 1;0 0.8 1];
caxis([642 647]);%azul inverso, de forma que donde más se acumula el agua
(menor altitud) tiene un azul más oscuro). Al límite inferior de altitud se
le baja uno para que no se confunda el blanco de sin-datos con baja altitud.
colormap(barcol7);
colorbar('EastOutside')

```

ANEJO 8: PESOS Y COORDENADAS. RECOGIDA MANUAL

Fila	Tramo	Coordenadas							Peso total
		Latitud (N)			Longitud (O)			Altitud	
		Grados	Min	Seg	Grados	Min	Seg	m	
1	1-2	39	27	55,49	1	8	45,72	646,6	2,47
	2-3	39	27	55,49	1	8	45,52	646,5	3,95
	3-4	39	27	55,51	1	8	45,31	646,3	4,16
	4-5	39	27	55,54	1	8	45,11	646,0	2,59
	5-6	39	27	55,55	1	8	44,92	645,7	2,59
	6-7	39	27	55,57	1	8	44,70	645,4	5,39
	7-8	39	27	55,60	1	8	44,49	645,1	4,12
	8-9	39	27	55,62	1	8	44,28	644,7	5,18
	9-10	39	27	55,65	1	8	44,08	644,4	3,97
	10-11	39	27	55,67	1	8	43,89	644,2	7,41
	11-12	39	27	55,69	1	8	43,68	644,1	6,75
	12-13	39	27	55,72	1	8	43,46	644,0	7,94
	13-14	39	27	55,74	1	8	43,27	643,9	10,04
	14-15	39	27	55,76	1	8	43,06	643,9	9,09
	15-16	39	27	55,79	1	8	42,85	643,9	7,28
	16-17	39	27	55,81	1	8	42,65	643,8	7,09
	17-18	39	27	55,83	1	8	42,44	643,8	8,48
	18--19	39	27	55,85	1	8	42,23	643,8	7,74
	19-20	39	27	55,87	1	8	42,03	643,8	4,94
	20-21	39	27	55,90	1	8	41,82	643,8	8,40
	21-22	39	27	55,92	1	8	41,61	643,8	9,34
	22-23	39	27	55,95	1	8	41,40	643,7	8,37
	23-24	39	27	55,97	1	8	41,20	643,8	7,37
	24-25	39	27	55,99	1	8	41,00	643,8	8,07
	25-26	39	27	56,02	1	8	40,79	643,9	4,81
6	1-2	39	27	56,66	1	8	40,80	643,8	8,60
	2-3	39	27	56,64	1	8	41,00	643,8	8,07
	3-4	39	27	56,61	1	8	41,20	643,8	6,13
	4-5	39	27	56,54	1	8	41,39	643,8	5,80
	5-6	39	27	56,52	1	8	41,61	643,8	5,93
	6-7	39	27	56,50	1	8	41,81	643,9	6,67

	7-8	39	27	56,47	1	8	42,02	643,9	6,83
	8-9	39	27	56,45	1	8	42,22	643,9	5,60
	9-10	39	27	56,42	1	8	42,43	643,9	6,25
	10-11	39	27	56,40	1	8	42,63	643,9	8,52
	11-12	39	27	56,38	1	8	42,84	643,9	7,41
	12-13	39	27	56,35	1	8	43,06	643,9	7,20
	13-14	39	27	56,33	1	8	43,26	643,9	6,30
	14-15	39	27	56,31	1	8	43,47	643,9	5,64
	15-16	39	27	56,29	1	8	43,67	644,0	7,65
	16-17	39	27	56,26	1	8	43,87	644,1	6,38
	17-18	39	27	56,24	1	8	44,06	644,2	5,31
	18--19	39	27	56,22	1	8	44,28	644,4	4,94
	19-20	39	27	56,20	1	8	44,49	644,7	2,76
	20-21	39	27	56,18	1	8	44,70	645,1	4,86
	21-22	39	27	56,16	1	8	44,90	645,4	5,31
	22-23	39	27	56,13	1	8	45,10	645,7	5,76
	23-24	39	27	56,11	1	8	45,33	646,0	7,00
	24-25	39	27	56,09	1	8	45,53	646,3	4,20
	25-26	39	27	56,07	1	8	45,74	646,5	6,95
	26-27	39	27	56,04	1	8	45,94	646,6	5,23
2	1-2	39	27	55,55	1	8	45,77	646,6	3,42
	2-3	39	27	55,58	1	8	45,56	646,5	6,03
	3-4	39	27	55,60	1	8	45,34	646,3	5,23
	4-5	39	27	55,62	1	8	45,13	646,0	5,47
	5-6	39	27	55,65	1	8	44,94	645,7	3,66
	6-7	39	27	55,67	1	8	44,74	645,4	4,36
	7-8	39	27	55,69	1	8	44,53	645,1	4,28
	8-9	39	27	55,71	1	8	44,32	644,7	5,02
	9-10	39	27	55,73	1	8	44,11	644,4	5,43
	10-11	39	27	55,76	1	8	43,91	644,2	4,90
	11-12	39	27	55,78	1	8	43,69	644,1	5,39
	12-13	39	27	55,80	1	8	43,50	644,0	8,48
	13-14	39	27	55,83	1	8	43,30	643,9	7,86
	14-15	39	27	55,85	1	8	43,09	643,9	8,35
	15-16	39	27	55,87	1	8	42,88	643,8	7,24

	16-17	39	27	55,90	1	8	42,67	643,8	7,37
	17-18	39	27	55,92	1	8	42,46	643,8	8,93
	18--19	39	27	55,95	1	8	42,25	643,8	6,23
	19-20	39	27	55,97	1	8	42,05	643,8	6,71
	20-21	39	27	55,99	1	8	41,85	643,8	6,30
	21-22	39	27	56,02	1	8	41,64	643,8	9,14
	22-23	39	27	56,04	1	8	41,44	643,8	6,13
	23-24	39	27	56,06	1	8	41,23	643,8	6,21
	24-25	39	27	56,08	1	8	41,03	643,9	5,84
	25-26	39	27	56,11	1	8	40,81	644,0	3,29
	26-27	39	27	56,13	1	8	40,63	644,0	4,03
7	1-2	39	27	56,70	1	8	40,81	644,1	11,28
	2-3	39	27	56,66	1	8	41,01	644,2	11,93
	3-4	39	27	56,64	1	8	41,22	644,1	9,09
	4-5	39	27	56,62	1	8	41,42	644,0	7,08
	5-6	39	27	56,60	1	8	41,63	643,9	8,39
	6-7	39	27	56,58	1	8	41,85	643,9	6,13
	7-8	39	27	56,56	1	8	42,04	643,9	6,34
	8-9	39	27	56,54	1	8	42,25	643,9	6,67
	9-10	39	27	56,52	1	8	42,46	643,9	6,75
	10-11	39	27	56,50	1	8	42,67	643,9	7,49
	11-12	39	27	56,48	1	8	42,89	644,0	6,58
	12-13	39	27	56,46	1	8	43,10	644,0	7,37
	13-14	39	27	56,43	1	8	43,29	644,0	10,33
	14-15	39	27	56,41	1	8	43,50	644,0	6,71
	15-16	39	27	56,39	1	8	43,71	644,0	6,25
	16-17	39	27	56,37	1	8	43,92	644,1	4,81
	17-18	39	27	56,34	1	8	44,12	644,2	6,54
	18--19	39	27	56,32	1	8	44,31	644,4	5,97
	19-20	39	27	56,30	1	8	44,53	644,7	3,91
	20-21	39	27	56,28	1	8	44,73	645,1	4,16
	21-22	39	27	56,25	1	8	44,94	645,4	4,24
	22-23	39	27	56,23	1	8	45,16	645,7	2,96
	23-24	39	27	56,21	1	8	45,35	646,0	6,34
	24-25	39	27	56,19	1	8	45,56	646,3	5,14

	25-26	39	27	56,16	1	8	45,77	646,5	3,05
	26-27	39	27	56,14	1	8	45,97	646,6	2,80
	27-28	39	27	56,12	1	8	46,17	646,8	3,79
3	1-2	39	27	55,65	1	8	45,89	646,6	4,61
	2-3	39	27	55,67	1	8	45,68	646,5	5,68
	3-4	39	27	55,70	1	8	45,47	646,3	4,65
	4-5	39	27	55,72	1	8	45,26	646,0	5,60
	5-6	39	27	55,74	1	8	45,04	645,7	8,97
	6-7	39	27	55,77	1	8	44,84	645,4	5,93
	7-8	39	27	55,79	1	8	44,65	645,1	4,86
	8-9	39	27	55,81	1	8	44,44	644,7	4,65
	9-10	39	27	55,83	1	8	44,24	644,4	7,08
	10-11	39	27	55,86	1	8	44,02	644,2	5,35
	11-12	39	27	55,88	1	8	43,81	644,1	4,81
	12-13	39	27	55,91	1	8	43,61	644,0	6,21
	13-14	39	27	55,93	1	8	43,39	643,9	10,21
	14-15	39	27	55,95	1	8	43,20	643,9	7,98
	15-16	39	27	55,97	1	8	42,94	643,9	8,97
	16-17	39	27	56,00	1	8	42,77	643,9	8,35
	17-18	39	27	56,02	1	8	42,57	644,0	7,90
	18--19	39	27	56,05	1	8	42,36	643,9	8,72
	19-20	39	27	56,07	1	8	42,15	643,9	6,71
	20-21	39	27	56,09	1	8	41,95	643,9	6,09
	21-22	39	27	56,11	1	8	41,74	643,9	8,19
	22-23	39	27	56,14	1	8	41,53	643,9	8,07
	23-24	39	27	56,16	1	8	41,33	643,9	5,76
	24-25	39	27	56,18	1	8	41,13	643,9	7,57
	25-26	39	27	56,21	1	8	40,92	644,0	4,65
	26-27	39	27	56,23	1	8	40,72	644,0	4,36
8	1-2	39	27	56,80	1	8	40,81	644,2	10,25
	2-3	39	27	56,78	1	8	41,01	644,3	9,18
	3-4	39	27	56,76	1	8	41,21	644,2	8,85
	4-5	39	27	56,74	1	8	41,43	644,1	7,74
	5-6	39	27	56,72	1	8	41,64	644,1	8,02
	6-7	39	27	56,69	1	8	41,85	644,1	7,74

	7-8	39	27	56,67	1	8	42,06	644,1	5,14
	8-9	39	27	56,65	1	8	42,25	644,1	4,36
	9-10	39	27	56,63	1	8	42,43	644,1	8,19
	10-11	39	27	56,60	1	8	42,69	644,1	8,11
	11-12	39	27	56,58	1	8	42,89	644,1	7,45
	12-13	39	27	56,56	1	8	43,09	644,1	7,04
	13-14	39	27	56,54	1	8	43,29	643,9	7,32
	14-15	39	27	56,52	1	8	43,51	643,9	6,87
	15-16	39	27	56,50	1	8	43,72	644,0	5,64
	16-17	39	27	56,47	1	8	43,91	644,1	5,72
	17-18	39	27	56,45	1	8	44,11	644,2	3,25
	18--19	39	27	56,43	1	8	44,31	644,4	3,70
	19-20	39	27	56,40	1	8	44,52	644,7	6,42
	20-21	39	27	56,38	1	8	44,73	645,1	5,71
	21-22	39	27	56,36	1	8	44,93	645,4	4,61
	22-23	39	27	56,33	1	8	45,14	645,7	3,74
	23-24	39	27	56,31	1	8	45,35	646,0	3,13
	24-25	39	27	56,28	1	8	45,56	646,3	5,10
	25-26	39	27	56,26	1	8	45,76	646,5	2,72
	26-27	39	27	56,24	1	8	45,98	646,6	6,01
	27-28	39	27	56,22	1	8	46,19	646,8	2,96
4	1-2	39	27	55,79	1	8	45,89	646,6	2,06
	2-3	39	27	55,81	1	8	45,69	646,5	5,68
	3-4	39	27	55,82	1	8	45,48	646,3	5,80
	4-5	39	27	55,83	1	8	45,25	646,0	5,02
	5-6	39	27	55,85	1	8	45,04	645,7	6,50
	6-7	39	27	55,87	1	8	44,83	645,4	3,70
	7-8	39	27	55,88	1	8	44,63	645,1	3,37
	8-9	39	27	55,90	1	8	44,43	644,7	4,69
	9-10	39	27	55,92	1	8	44,22	644,4	6,21
	10-11	39	27	55,94	1	8	44,02	644,2	4,40
	11-12	39	27	55,97	1	8	43,80	644,1	3,95
	12-13	39	27	55,99	1	8	43,61	644,0	6,46
	13-14	39	27	56,01	1	8	43,39	643,9	7,08
	14-15	39	27	56,04	1	8	43,19	643,9	7,78

	15-16	39	27	56,06	1	8	42,99	643,9	9,94
	16-17	39	27	56,08	1	8	42,78	644,0	7,70
	17-18	39	27	56,10	1	8	42,57	644,0	6,71
	18--19	39	27	56,13	1	8	42,36	644,0	6,79
	19-20	39	27	56,15	1	8	42,16	644,0	7,08
	20-21	39	27	56,18	1	8	41,95	644,0	6,30
	21-22	39	27	56,20	1	8	41,74	644,0	6,09
	22-23	39	27	56,22	1	8	41,54	644,0	8,97
	23-24	39	27	56,25	1	8	41,34	644,0	6,58
	24-25	39	27	56,27	1	8	41,12	644,0	6,52
	25-26	39	27	56,29	1	8	40,92	644,0	6,47
	26-27	39	27	56,31	1	8	40,72	644,1	4,77
9	1-2	39	27	56,94	1	8	40,86	644,2	10,90
	2-3	39	27	56,91	1	8	41,07	644,3	8,81
	3-4	39	27	56,88	1	8	41,29	644,4	9,79
	4-5	39	27	56,85	1	8	41,50	644,3	10,04
	5-6	39	27	56,82	1	8	41,70	644,2	7,16
	6-7	39	27	56,80	1	8	41,90	644,2	5,76
	7-8	39	27	56,78	1	8	42,11	644,2	4,77
	8-9	39	27	56,76	1	8	42,31	644,1	3,87
	9-10	39	27	56,73	1	8	42,54	644,1	5,93
	10-11	39	27	56,71	1	8	42,73	644,3	5,97
	11-12	39	27	56,68	1	8	42,93	644,2	7,90
	12-13	39	27	56,66	1	8	43,14	644,1	7,08
	13-14	39	27	56,64	1	8	43,35	644,1	6,21
	14-15	39	27	56,61	1	8	43,56	644,1	4,90
	15-16	39	27	56,59	1	8	43,76	644,0	4,38
	16-17	39	27	56,57	1	8	43,97	644,1	4,32
	17-18	39	27	56,54	1	8	44,17	644,2	3,54
	18--19	39	27	56,52	1	8	44,38	644,4	5,10
	19-20	39	27	56,49	1	8	44,59	644,7	5,39
	20-21	39	27	56,47	1	8	44,79	645,1	4,71
	21-22	39	27	56,45	1	8	45,00	645,4	5,23
	22-23	39	27	56,43	1	8	45,20	645,7	3,05
	23-24	39	27	56,41	1	8	45,41	646,0	3,83

	24-25	39	27	56,38	1	8	45,62	646,3	5,31
	25-26	39	27	56,36	1	8	45,83	646,5	4,27
	26-27	39	27	56,34	1	8	46,05	646,6	3,33
	27-28	39	27	56,32	1	8	46,25	646,8	3,00
5	1-2	39	27	55,85	1	8	45,93	646,6	3,50
	2-3	39	27	55,87	1	8	45,75	646,5	4,53
	3-4	39	27	55,89	1	8	45,53	646,3	3,37
	4-5	39	27	55,92	1	8	45,31	646,0	4,44
	5-6	39	27	55,94	1	8	45,11	645,7	5,47
	6-7	39	27	55,96	1	8	44,91	645,4	4,49
	7-8	39	27	55,98	1	8	44,70	645,1	4,20
	8-9	39	27	56,00	1	8	44,49	644,7	4,03
	9-10	39	27	56,03	1	8	44,28	644,4	4,07
	10-11	39	27	56,05	1	8	44,09	644,2	4,77
	11-12	39	27	56,07	1	8	43,88	644,1	5,18
	12-13	39	27	56,10	1	8	43,66	644,0	6,58
	13-14	39	27	56,12	1	8	43,46	643,9	5,60
	14-15	39	27	56,14	1	8	43,25	643,9	5,68
	15-16	39	27	56,17	1	8	43,04	643,9	8,81
	16-17	39	27	56,19	1	8	42,84	643,9	7,20
	17-18	39	27	56,22	1	8	42,63	643,9	7,70
	18--19	39	27	56,24	1	8	42,43	643,9	6,71
	19-20	39	27	56,26	1	8	42,21	643,9	5,18
	20-21	39	27	56,29	1	8	42,02	643,9	5,60
	21-22	39	27	56,31	1	8	41,81	643,9	7,00
	22-23	39	27	56,34	1	8	41,61	643,9	7,04
	23-24	39	27	56,36	1	8	41,40	643,9	5,18
	24-25	39	27	56,38	1	8	41,19	643,9	5,43
	25-26	39	27	56,40	1	8	40,99	644,1	7,20
	26-27	39	27	56,43	1	8	40,77	644,2	4,12
	27-28	39	27	56,45	1	8	40,57	644,3	3,17
10	1-2	39	27	57,01	1	8	40,86	644,4	7,49
	2-3	39	27	56,98	1	8	41,05	644,3	7,82
	3-4	39	27	56,96	1	8	41,26	644,2	8,60
	4-5	39	27	56,93	1	8	41,47	644,2	8,15

	5-6	39	27	56,91	1	8	41,68	644,2	4,94
	6-7	39	27	56,89	1	8	41,88	644,2	5,97
	7-8	39	27	56,87	1	8	42,10	644,1	4,57
	8-9	39	27	56,84	1	8	42,30	644,1	4,65
	9-10	39	27	56,82	1	8	42,50	644,1	3,54
	10-11	39	27	56,80	1	8	42,72	644,1	5,35
	11-12	39	27	56,78	1	8	42,92	644,0	5,84
	12-13	39	27	56,75	1	8	43,14	644,0	5,88
	13-14	39	27	56,73	1	8	43,34	644,1	7,32
	14-15	39	27	56,70	1	8	43,55	644,1	6,42
	15-16	39	27	56,68	1	8	43,75	644,1	3,50
	16-17	39	27	56,66	1	8	43,94	644,2	3,25
	17-18	39	27	56,63	1	8	44,16	644,2	4,12
	18--19	39	27	56,61	1	8	44,37	644,4	4,77
	19-20	39	27	56,59	1	8	44,57	644,7	6,17
	20-21	39	27	56,57	1	8	44,78	645,1	3,42
	21-22	39	27	56,54	1	8	44,97	645,4	4,94
	22-23	39	27	56,52	1	8	45,19	645,7	2,88
	23-24	39	27	56,50	1	8	45,40	646,0	3,25
	24-25	39	27	56,47	1	8	45,61	646,3	4,53
	25-26	39	27	56,45	1	8	45,82	646,5	3,25
	26-27	39	27	56,43	1	8	46,03	646,6	2,84
	27-28	39	27	56,41	1	8	46,21	646,8	2,76

NOTAS

Peso del capazo modelo: 1,89 kg.

Se va poniendo Metabisulfito de potasio para que no proliferen las levaduras antes de llegar a bodega.

ANEJO 9: RENDIMIENTO. (Matlab. Versión R2009b)

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
%                               MAPA DE RENDIMIENTOS
%                               VSR_Valencia, Octubre 2011           %%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

close all;
clear all;

% Cargar fichero de coordenadas NED con la columna nueva PESOS

data = load ('CoordPesos_ORIG.txt');% fichero en grados y minutos sexag del
GPS
[np, columns] = size (data);

%% CONVERSIÓN North-East-Down con columna de PESOS

% Columnas necesarias

index = data(:,1);% número de puntos
Lat_deg = data(:,2);
Lat_min = data(:,3);
Long_deg = data(:,4);
Long_min = data(:,5);
Alt = data(:,6);
peso = data(:,7);% peso de la uva sin el capazo

% Creación de matrices

N = zeros(np,1);
E = zeros(np,1);
D = zeros(np,1);
X = zeros(np,1);
Y = zeros(np,1);
%Z = zeros(np,1);

% Formulación
% constantes
a = 6378137;% semieje mayor (m)
b = 6356752.314;% semieje menor (m)
fl = 0.00335281;% aplanamiento
ec = 0.0818;% excentricidad

% TRANSFORMACIÓN DE COORDENADAS
Los parámetros que llevan (k,1) son matrices en las que sólo se hacen
cálculos componente a componente y no como matriz completa, por eso
utilizamos un bucle de repetición. Haciendo ésto, no se ocupa memoria, ya
que no se guarda la matriz resultante, sino que se van calculando los
valores uno a uno.

% Variables a cero
Lat_rad = 0;
Long_rad = 0;
No = 0;

% Se crea el fichero que lleva encabezado para guardar como resumen
report = fopen ('COORDENADAS_PESOS.txt', 'wt');
fprintf( report, '%s \n', '--- COORDENADAS NORTE - ESTE Y PESO --- ');
fprintf( report, '%s \n', '_____');
fprintf( report, '%s \n', '_____');
```

```

fprintf( report, '%s \t%s \t\t%s \t\t%s \t\t%s \n', 'Pto', 'Norte',
'Este', 'Altitud', 'Peso');

% Se crea el fichero que no lleva encabezado para cargarlo después
report2 = fopen ('Coord_pesos.txt', 'wt');

for k = 1:np

    % Latitud y longitud a radianes
    Lat_rad = (Lat_deg(k,1) + (Lat_min(k,1)/60))* (3.14159265/180);
    Long_rad = -(Long_deg(k,1) + (Long_min(k,1)/60))* (3.14159265/180); % poner
    NEGATIVO si es OESTE

    % Longitud de la normal (No)

    No = a/sqrt(1-ec^2*sin(Lat_rad)^2);

    % X Y Z (en metros)

    X(k,1)= (No + Alt(k,1))*cos(Lat_rad)*cos(Long_rad);
    Y(k,1) = (No + Alt(k,1))*cos(Lat_rad)*sin(Long_rad);
    Z(k,1) = (No*(1-ec^2) + Alt(k,1))*sin(Lat_rad);

    % N E D

    % Origen NOTA: Utilizo este punto concreto en todos los archivos.

    Xo = 4.930158379123461e+06;
    Yo = -9.862698316456318e+04;
    Zo = 4.032752763575872e+06;

    % Cálculos

    N(k,1) = (-sin(Lat_rad)*cos(Long_rad)*(X(k,1)-Xo)) + (-
    sin(Lat_rad)*sin(Long_rad)*(Y(k,1)-Yo)) + cos(Lat_rad)*(Z(k,1)-Zo);
    E(k,1) = (-sin(Long_rad)*(X(k,1)-Xo)) + (cos(Long_rad)*(Y(k,1)-Yo));
    Altitud(k,1) = Alt(k,1);

% Grabar en fichero

fprintf( report, '%d \t%6.2f \t\t%6.2f \t\t%4.3f \t\t%2.2f \t \n', index
(k,1), N(k,1), E(k,1), Altitud(k,1), peso(k,1));
fprintf( report2, '%d \t%6.2f \t\t%6.2f \t\t%4.3f \t\t%2.2f \t \n', index
(k,1), N(k,1), E(k,1), Altitud(k,1), peso(k,1));

end% cierra bucle for

% Cerrar ficheros de texto
fclose (report);
fclose (report2);

%% CREACIÓN DE LA MALLA
% Cargar mapa de fondo

datos = load ('Coord_pesos.txt'); % Del archivo creado anteriormente, se
cargan las coordenadas N y E

%SI SE CAMBIA, CAMBIAR EL TÍTULO DE LOS EJES TAMBIÉN (Y SUS LÍMITES)
c = 4 ; % tamaño de la celda de la malla en metros. Cuadrado de c metros de
lado

maxN = max(max(N)); %LOS MAX Y MIN SERÁN SIEMPRE LOS DEL PERÍMETRO. Estos

```

```

maxE = max(max(E)); %puntos siempre quedarán dentro de la parcela.
minN = min(min(N));
minE = min(min(E));

% Resolución de la malla

h = abs(maxE - minE)/c;
v = abs(maxN - minN)/c;
H = ceil(h);% redondeo por arriba (H y V han de ser números enteros)
V = ceil(v);
Resol = H*V;
malla = zeros(V, H);% creación de la malla

% Rellenado de la malla

for k = 1:np
    x(k) = ceil((abs(minE)/c) + E(k)/c);

% transformar coord E en x de la malla. Redondear
    y(k) = ceil(-(abs(minN)/c) + N(k)/c);

    if minE == E(k),
        x(k) = 1 + (floor((abs(minE)/c) + (E(k)/c)));
    end% cierra el if

    if minN == N(k),
        y(k) = 1 + floor(-(abs(minN)/c) + N(k)/c);
    end%cierra el if

    malla (y(k), x(k)) = peso(k);

end% cierra el bucle de las j

% Representación malla

figure;
surf(malla); view (0,90);
xlabel('East (4-meter cells)', 'FontSize', 20);
ylabel('North (4-meter cells)', 'FontSize', 20);
title ('YIELD MAP [kg of grape]', 'FontSize', 24);
axis equal; axis ([0 H+1 0 V+1]);
barcol5 = [1 1 1;0.7 1 0.9;0.5 0 0.8;0.2 0 0.7;0.1 0 0.6;0 0 0.5;0 0 0.4;0 0
0.3;
0 0 0.2];% azules/morados
colormap(barcol5);
colorbar('EastOutside')

```

ANEJO 10: ALTITUD. (Matlab. Versión R2009b)

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
ALGORITMO ALTITUD                                     %%
%%           VSR_Valencia, Agosto 2012                %%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
close all;
clear all;

% Cargar fichero de coordenadas LTP (con Altitud)

data = load ('LTP.txt');
[np, columns] = size (data);% number of points

% Columnas necesarias
    index = data(:,1);% número de puntos
    East = data(:,3);
    North = data(:,2);
    Alt = data(:,4);

% Representación gráfica de las coordenadas de los puntos muestreados

figure;
plot(East, North,'b.','MarkerSize',15);
xlabel('East [m]','FontSize', 14);
ylabel('North [m]','FontSize', 14);
title('East - North','FontSize', 16);
axis equal;
grid on;

% CREACIÓN MALLA Y RELLENADO

    c = 4 ;% tamaño de la celda de la malla.
maxN = max(max(North));
maxE = max(max(East));
minN = min(min(North));
minE = min(min(East));

    % Resolución de la malla
h = abs(maxE - minE)/c;
v = abs(maxN - minN)/c;
H = ceil(h);% redondeo por arriba (Ha de ser número entero)
V = ceil(v);
Resol = H*V;

malla = zeros(V, H);% creación de la malla
mallaMed = zeros(V, H);
p_malla = zeros(V, H);

mallaAlt = zeros(V,H);% para la altitud

% Rellenado de la malla
countErr = 0;
countErr2 = 0;
countErr3 = 0;
countErr4 = 0;
countErr5 = 0;
countErr6 = 0;

for k = 1:np
    u(k) = round((abs(minE)/c) + East(k)/c);
    v(k) = round(-(minN/c) + North(k)/c);
```

```

    if u(k) == 0
        u(k) = 1;
        countErr3 = countErr3 + 1;
    end

    if v(k) == 0
        v(k) = 1;
        countErr4 = countErr4 + 1;
    end%

        if mallaAlt (v(k), u(k)) ~= 0% es decir, que ya hay un valor
asignado
            mallaAlt (v(k), u(k)) = 0.5 * (Alt(k) + mallaAlt (v(k),
u(k)));
        else
            mallaAlt (v(k), u(k)) = Alt(k);
        end% cierra el if-else

end% cierra el bucle del primero for (k)

figure;
surf(mallaAlt); view (0,90);
axis equal;
axis ([0 H+1 0 V+1]);
xlabel('East (7-meter cells)', 'FontSize',20);
ylabel('North (7-meter cells)', 'FontSize', 20);
title ('ALTITUD [metros]', 'FontSize', 20);
barcol7 = [0.95 0.95 0.95;0 0 1; 0 0.2 1;0 0.4 1;0 0.6 1;0 0.8 1]; caxis ([4
12]);
colormap(barcol7);
colorbar('EastOutside')

```

ANEJO 11: ACIDEZ (g/l) Y GRADO ALCOHÓLICO (% vol)

F	Tramo	SST. AZÚCARES TOTALES				pH	ACIDEZ	
		BRIX (%)	g/l	T	Alcohol		(Zumo: 5 ml) Vol. NaOH	Grado de acidez (g/l)
		Medida	calculado con °Bx		% vol			
1	1-2	25,2	252	23,4	14,9	3,58	3,25	5,42
	2-3	23,4	234	23,6	13,7	3,46	3,10	5,17
	3-4	22,8	228	23,5	13,3	3,42	3,45	5,75
	4-5	24,4	244	23,8	14,4	3,71	3,13	5,22
	5-6	25,6	256	24,4	15,2	3,64	2,92	4,87
	6-7	25,8	258	23,6	15,3	3,45	4,24	7,07
	7-8	23,3	233	24,4	13,7	3,38	3,36	5,60
	8-9	23,3	233	23,7	13,7	3,46	3,06	5,10
	9-10	23,2	232	22,8	13,6	3,56	2,85	4,75
	10-11	23,4	234	23,8	13,7	3,23	4,37	7,28
	11-12	24,2	242	23,8	14,3	3,38	3,63	6,05
	12-13	23,7	237	20,7	13,9	3,48	4,41	6,62
	13-14	22,2	222	23,6	12,9	3,31	4,28	7,13
	14-15	24,3	243	23,9	14,3	3,20	3,89	6,48
	15-16	24,2	242	20,6	14,3	3,54	4,76	7,14
	16-17	23,0	230	20,6	13,5	3,46	4,24	6,36
	17-18	22,3	223	24,6	13,0	3,04	4,39	7,32
	18--19	24,5	245	24,6	14,5	3,22	4,50	7,50
	19-20	21,9	219	23,1	12,7	2,90	6,98	11,63
	20-21	24,0	240	24,7	14,1	3,13	4,58	7,63
	21-22	23,7	237	23,6	13,9	3,25	4,01	6,68
	22-23	25,1	251	22,9	14,9	3,20	4,81	8,02
	23-24	24,3	243	22,9	14,3	3,19	4,50	7,50
	24-25	23,5	235	22,9	13,8	3,24	4,40	7,33
	25-26	21,2	212	23,3	12,2	3,24	6,04	10,07
2	1-2	23,8	238	23,5	14,0	3,69	3,17	5,28
	2-3	23,6	236	24,3	13,9	3,82	3,28	5,47

	3-4	22,2	222	22,2	12,9	3,72	3,29	5,48
	4-5	23,6	236	24,3	13,9	3,68	3,79	6,32
	5-6	24,2	242	23,4	14,3	3,37	3,86	6,43
	6-7	21,3	213	21,9	12,3	3,75	4,25	7,08
	7-8	23,2	232	23,2	13,6	3,21	4,06	6,77
	8-9	23,9	239	23,5	14,1	3,48	3,82	6,37
	9-10	22,4	224	23,4	13,1	3,53	3,25	5,42
	10-11	24,4	244	23,4	14,4	3,51	3,41	5,68
	11-12	23,9	239	23,5	14,1	3,38	3,93	6,55
	12-13	24,3	243	23,4	14,3	3,67	3,67	6,12
	13-14	24,2	242	23,6	14,3	3,43	4,10	6,83
	14-15	24,2	242	23,3	14,3	3,39	3,80	6,33
	15-16	24,8	248	23,0	14,7	3,40	4,39	7,32
	16-17	22,4	224	24,0	13,1	3,13	4,63	7,72
	17-18	18,1	181	22,5	10,1	3,14	5,10	8,50
	18--19	21,2	212	22,5	12,2	3,41	4,03	6,71
	19-20	21,5	215	23,4	12,4	3,10	6,21	10,35
	20-21	22,5	225	23,0	13,1	3,16	6,04	10,07
	21-22	23,4	234	23,6	13,7	3,50	5,31	8,85
	22-23	20,6	206	24,0	11,8	2,98	7,00	11,67
	23-24	22,8	228	23,5	13,3	3,08	6,42	10,70
	24-25	21,7	217	23,7	12,6	3,14	6,80	11,33
	25-26	23,4	234	23,4	13,7	3,43	4,44	7,40
	26-27	17,8	178	22,7	9,9	3,48	3,87	6,45
3	1-2	25,0	250	22,5	14,8	3,61	3,59	5,39
	2-3	24,0	240	23,0	14,1	3,67	4,18	6,27
	3-4	23,8	238	20,9	14,0	3,45	4,23	6,35
	4-5	23,6	236	22,5	13,9	3,52	4,15	6,23
	5-6	23,3	233	20,9	13,7	3,38	5,30	7,95
	6-7	23,8	238	20,9	14,0	3,35	4,75	7,13
	7-8	24,3	243	22,7	14,3	3,47	4,15	6,92
	8-9	23,2	232	22,7	13,6	3,46	4,02	6,70
	9-10	24,2	242	22,7	14,3	3,48	3,95	6,58
	10-11	23,7	237	22,8	13,9	3,41	3,74	6,23
	11-12	23,6	236	23,5	13,9	3,45	3,50	5,83
	12-13	23,5	235	23,5	13,8	3,36	4,02	6,70

	13-14	24,2	242	23,3	14,3	3,32	4,11	6,85
	14-15	23,8	238	23,8	14,0	3,36	4,16	6,93
	15-16	24,3	243	24,5	14,3	3,18	4,00	6,67
	16-17	23,8	238	23,6	14,0	3,27	4,52	7,53
	17-18	24,3	243	23,8	14,3	3,33	4,52	7,53
	18--19	24,6	246	23,4	14,5	3,40	4,64	7,73
	19-20	24,5	245	23,6	14,5	3,24	5,48	9,13
	20-21	24,5	245	22,9	14,5	3,24	4,87	8,12
	21-22	21,9	219	24,3	12,7	3,42	6,65	11,08
	22-23	21,0	210	23,1	12,1	2,83	7,68	12,80
	23-24	22,2	222	22,8	12,9	3,20	5,51	9,18
	24-25	22,3	223	22,6	13,0	3,23	5,89	9,82
	25-26	23,0	230	22,6	13,5	3,18	6,57	10,95
	26-27	21,2	212	22,7	12,2	3,17	7,82	13,03
4	1-2	20,0	200	24,8	11,4	2,91	11,28	16,92
	2-3	23,4	234	24,0	13,7	3,56	3,78	5,67
	3-4	24,0	240	23,1	14,1	3,24	4,82	7,23
	4-5	23,7	237	25,3	13,9	3,39	4,82	7,23
	5-6	23,6	236	25,3	13,9	3,46	4,30	6,45
	6-7	24,3	243	25,2	14,3	3,62	4,19	6,29
	7-8	25,1	251	25,2	14,9	3,60	4,61	6,92
	8-9	23,9	239	23,6	14,1	3,42	4,89	7,34
	9-10	23,3	233	24,4	13,7	3,40	4,32	6,48
	10-11	24,2	242	24,1	14,3	3,47	4,19	6,29
	11-12	23,8	238	21,0	14,0	3,40	4,32	6,48
	12-13	24,0	240	23,3	14,1	3,29	4,50	6,75
	13-14	23,6	236	23,7	13,9	3,38	4,60	6,90
	14-15	20,8	208	22,7	12,0	2,91	7,94	11,91
	15-16	23,3	233	22,9	13,7	3,17	4,65	6,98
	16-17	24,4	244	23,1	14,4	3,18	5,16	7,74
	17-18	24,0	240	22,9	14,1	3,23	4,70	7,05
	18--19	24,5	245	23,2	14,5	3,20	4,98	7,47
	19-20	23,2	232	23,4	13,6	3,16	6,32	9,48
	20-21	22,2	222	22,9	12,9	3,26	6,68	10,02
	21-22	23,9	239	24,1	14,1	3,24	6,70	10,05
	22-23	22,8	228	20,8	13,3	3,09	7,01	10,52

	23-24	22,3	223	24,1	13,0	3,21	6,36	9,54
	24-25	22,3	223	24,2	13,0	3,06	8,25	12,38
	25-26	23,0	230	22,9	13,5	3,02	6,41	9,62
	26-27	21,5	215	23,3	12,4	2,90	8,60	12,90
5	1-2	24,3	243	24,4	14,3	3,56	4,14	6,21
	2-3	23,9	239	24,5	14,1	3,53	3,82	5,73
	3-4	23,7	237	24,4	13,9	3,40	4,78	7,17
	4-5	23,4	234	24,6	13,7	3,41	5,18	7,77
	5-6	23,4	234	24,2	13,7	3,31	4,25	6,38
	6-7	24,2	242	24,6	14,3	3,46	4,10	6,15
	7-8	23,3	233	24,4	13,7	3,61	3,64	5,46
	8-9	24,2	242	23,9	14,3	3,37	4,16	6,24
	9-10	22,3	223	24,5	13,0	3,46	4,27	6,41
	10-11	24,1	241	23,7	14,2	3,56	3,25	4,88
	11-12	25,0	250	24,3	14,8	3,62	3,48	5,22
	12-13	23,9	239	24,2	14,1	3,37	4,47	6,71
	13-14	24,4	244	23,5	14,4	3,45	4,74	7,11
	14-15	23,4	234	23,8	13,7	3,37	3,62	6,03
	15-16	23,3	233	24,4	13,7	3,35	4,96	7,44
	16-17	23,9	239	23,5	14,1	3,31	5,27	7,91
	17-18	24,5	245	23,6	14,5	3,50	4,77	7,15
	18--19	25,4	254	24,1	15,1	3,39	5,28	7,92
	19-20	22,9	229	23,5	13,4	3,10	5,36	8,93
	20-21	22,0	220	23,9	12,8	3,25	6,68	10,02
	21-22	23,9	239	23,7	14,1	3,47	6,61	9,92
	22-23	23,3	233	23,1	13,7	3,13	7,41	11,12
	23-24	23,3	233	23,7	13,7	3,08	6,64	11,07
	24-25	22,4	224	24,4	13,1	3,09	7,21	10,82
	25-26	24,5	245	24,4	14,5	3,25	6,34	9,51
	26-27	24,1	241	22,7	14,2	3,35	5,70	8,55
	27-28	23,9	239	23,8	14,1	3,24	6,14	9,21
6	1-2	23,5	235	24,3	13,8	3,45	5,70	9,50
	2-3	21,1	211	24,1	12,2	3,12	6,76	11,27
	3-4	21,3	213	24,3	12,3	3,23	6,02	10,03
	4-5	21,3	213	23,6	12,3	3,32	6,33	10,55
	5-6	23,9	239	23,4	14,1	3,23	5,16	8,60

	6-7	24,1	241	24,3	14,2	3,18	5,29	8,82
	7-8	24,5	245	23,4	14,5	3,50	4,84	8,07
	8-9	24,6	246	23,4	14,5	3,24	5,43	9,05
	9-10	24,3	243	23,4	14,3	3,42	4,41	7,35
	10-11	24,6	246	23,3	14,5	3,22	4,73	7,88
	11-12	24,1	241	23,2	14,2	3,23	4,05	6,75
	12-13	24,1	241	23,4	14,2	3,25	4,01	6,68
	13-14	25,0	250	24,1	14,8	3,31	3,97	6,62
	14-15	24,2	242	24,3	14,3	3,52	3,67	6,12
	15-16	21,5	215	22,3	12,4	3,64	3,22	5,37
	16-17	22,7	227	23,1	13,3	3,14	3,69	6,15
	17-18	22,6	226	23,3	13,2	3,52	3,41	5,68
	18--19	23,0	230	24,3	13,5	3,31	3,82	6,37
	19-20	23,1	231	24,3	13,5	3,33	7,78	12,97
	20-21	24,1	241	23,6	14,2	3,30	4,47	7,45
	21-22	21,4	214	23,6	12,4	3,46	4,12	6,87
	22-23	23,9	239	23,6	14,1	3,42	3,86	6,43
	23-24	22,6	226	23,8	13,2	3,60	3,70	6,17
	24-25	23,7	237	23,7	13,9	3,43	3,88	6,47
	25-26	22,3	223	23,5	13,0	3,44	3,59	5,98
	26-27	24,5	245	24,3	14,5	3,59	3,80	6,33
7	1-2	23,9	239	24,3	14,1	3,09	4,85	8,08
	2-3	23,4	234	24,3	13,7	3,11	4,84	8,07
	3-4	23,9	239	24,3	14,1	3,10	4,76	7,93
	4-5	22,9	229	23,0	13,4	3,02	4,52	7,53
	5-6	23,1	231	22,8	13,5	3,33	5,21	8,68
	6-7	24,2	242	22,8	14,3	3,25	4,87	8,12
	7-8	23,8	238	22,8	14,0	3,25	5,43	9,05
	8-9	22,4	224	22,5	13,1	3,12	6,10	10,17
	9-10	23,6	236	22,8	13,9	3,37	5,17	8,62
	10-11	23,2	232	23,0	13,6	3,33	5,12	8,53
	11-12	23,1	231	22,9	13,5	3,30	4,23	7,05
	12-13	24,5	245	22,9	14,5	3,42	3,71	6,18
	13-14	22,9	229	22,9	13,4	3,27	4,12	6,87
	14-15	23,7	237	24,4	13,9	3,19	3,99	6,65
	15-16	23,9	239	23,9	14,1	3,20	3,99	6,65

	16-17	22,0	220	24,5	12,8	3,17	3,74	6,23
	17-18	23,3	233	24,0	13,7	3,37	3,49	5,82
	18--19	22,7	227	24,0	13,3	3,19	3,85	6,42
	19-20	23,0	230	24,5	13,5	3,37	4,34	7,23
	20-21	24,0	240	23,7	14,1	3,31	3,95	6,58
	21-22	23,6	236	24,3	13,9	3,15	4,06	6,77
	22-23	24,5	245	24,3	14,5	3,13	4,32	7,20
	23-24	23,7	237	23,0	13,9	3,06	4,32	7,20
	24-25	23,2	232	22,9	13,6	3,37	4,59	7,65
	25-26	23,4	234	22,8	13,7	3,28	3,82	6,37
	26-27	24,3	243	22,9	14,3	3,36	3,87	6,45
	27-28	22,5	225	23,2	13,1	3,31	3,28	5,47
8	1-2	23,9	239	22,8	14,1	3,42	5,00	7,50
	2-3	23,0	230	23,9	13,5	3,23	4,06	6,77
	3-4	23,3	233	22,6	13,7	3,14	4,89	7,34
	4-5	23,7	237	22,0	13,9	2,94	5,27	7,91
	5-6	23,9	239	22,8	14,1	3,01	5,54	8,31
	6-7	24,1	241	22,1	14,2	2,99	5,50	8,25
	7-8	23,8	238	22,3	14,0	2,96	6,11	9,17
	8-9	24,6	246	22,1	14,5	3,17	6,32	9,48
	9-10	22,8	228	21,4	13,3	2,83	6,60	9,90
	10-11	22,8	228	21,3	13,3	2,89	6,63	9,95
	11-12	21,2	212	22,3	12,2	3,12	7,62	11,43
	12-13	23,2	232	21,4	13,6	3,16	4,25	6,38
	13-14	23,3	233	21,8	13,7	3,09	4,70	7,05
	14-15	23,2	232	22,1	13,6	3,37	4,40	6,60
	15-16	21,8	218	22,1	12,6	3,24	4,75	7,13
	16-17	22,8	228	24,8	13,3	3,49	4,07	6,11
	17-18	23,1	231	24,5	13,5	3,54	3,99	5,99
	18--19	23,5	235	24,9	13,8	3,50	3,97	5,96
	19-20	21,2	212	24,6	12,2	3,11	6,79	10,19
	20-21	22,7	227	20,9	13,3	3,27	7,20	10,80
	21-22	23,4	234	20,9	13,7	3,45	4,82	7,23
	22-23	23,5	235	24,8	13,8	3,60	4,19	6,29
	23-24	24,0	240	21,0	14,1	3,49	4,17	6,26
	24-25	23,2	232	22,9	13,6	3,13	4,36	6,54

	25-26	25,0	250	21,8	14,8	3,32	3,48	5,22
	26-27	25,4	254	22,6	15,1	3,52	4,00	6,00
	27-28	24,7	247	21,8	14,6	3,08	4,92	7,38
9	1-2	24,6	246	20,6	14,5	3,26	5,26	7,89
	2-3	24,5	245	24,2	14,5	3,15	4,88	7,32
	3-4	24,8	248	20,6	14,7	3,32	4,78	7,17
	4-5	24,8	248	23,8	14,7	3,38	4,84	7,26
	5-6	21,3	213	20,8	12,3	3,05	7,17	10,76
	6-7	23,0	230	20,6	13,5	3,14	7,13	10,70
	7-8	19,6	196	20,6	11,2	2,91	9,60	14,40
	8-9	24,0	240	24,1	14,1	3,23	6,30	9,45
	9-10	22,5	225	24,2	13,1	3,06	7,12	10,68
	10-11	23,0	230	24,3	13,5	3,23	6,23	9,35
	11-12	22,0	220	24,0	12,8	3,25	6,24	9,36
	12-13	23,9	239	24,4	14,1	3,29	5,03	7,55
	13-14	23,9	239	24,3	14,1	3,68	4,83	7,25
	14-15	24,3	243	23,8	14,3	3,37	3,54	5,90
	15-16	23,7	237	23,8	13,9	3,38	3,90	6,50
	16-17	22,8	228	22,0	13,3	3,30	4,76	7,14
	17-18	23,8	238	22,2	14,0	3,36	4,26	6,39
	18--19	22,9	229	24,4	13,4	3,40	4,09	6,14
	19-20	22,7	227	24,5	13,3	3,26	5,17	7,76
	20-21	23,8	238	22,4	14,0	3,29	4,80	7,20
	21-22	23,0	230	24,6	13,5	3,28	5,46	8,19
	22-23	25,4	254	24,5	15,1	3,28	4,75	7,13
	23-24	22,0	220	24,5	12,8	3,18	5,51	8,27
	24-25	24,1	241	24,5	14,2	3,47	4,44	6,66
	25-26	25,4	254	24,4	15,1	3,64	3,74	5,61
	26-27	25,4	254	24,4	15,1	3,76	3,29	4,94
	27-28	27,1	271	24,2	16,2	4,31	1,87	2,81
10	1-2	23,7	237	23,1	13,9	2,98	5,94	8,91
	2-3	23,1	231	24,0	13,5	3,54	5,77	8,66
	3-4	24,4	244	24,1	14,4	3,63	4,91	7,37
	4-5	24,5	245	23,9	14,5	3,49	4,48	6,72
	5-6	22,9	229	21,9	13,4	3,19	5,90	9,83
	6-7	23,4	234	22,5	13,7	3,21	6,70	10,05

	7-8	22,9	229	22,0	13,4	3,12	6,38	9,57
	8-9	23,7	237	24,5	13,9	3,24	5,45	8,18
	9-10	23,5	235	23,9	13,8	3,23	6,28	9,42
	10-11	23,9	239	24,5	14,1	3,27	5,56	8,34
	11-12	22,8	228	24,3	13,3	3,26	4,13	6,88
	12-13	25,2	252	24,3	14,9	3,46	3,68	6,13
	13-14	25,7	257	24,3	15,3	3,63	3,64	6,07
	14-15	23,3	233	24,3	13,7	3,60	4,58	7,63
	15-16	23,8	238	23,8	14,0	3,56	3,14	4,71
	16-17	24,7	247	22,5	14,6	3,56	4,00	6,00
	17-18	23,9	239	22,9	14,1	3,38	3,19	4,79
	18--19	22,4	224	22,5	13,1	3,66	3,20	4,80
	19-20	27,1	271	22,4	16,2	3,96	2,81	4,22
	20-21	24,0	240	22,7	14,1	3,07	4,50	6,75
	21-22	24,3	243	23,5	14,3	3,24	5,02	7,53
	22-23	24,4	244	22,4	14,4	3,62	3,27	4,91
	23-24	23,0	230	22,0	13,5	3,56	3,57	5,95
	24-25	23,9	239	22,5	14,1	3,84	2,40	3,60
	25-26	24,7	247	22,4	14,6	3,44	3,78	5,67
	26-27	25,3	253	22,0	15,0	3,64	3,14	5,23
	27-28	24,2	242	22,5	14,3	3,57	3,82	5,73

ANEJO 12: DATOS DE LABORATORIO. ANÁLISIS QUÍMICOS

Fila	Tramo	AZÚCAR TOTAL		pH	ACIDEZ	Peso 10 bayas g	Ø medio de baya (mm)	Día de ensayo
		BRIX (%)	T		(Zumo:5ml) Vol.NaOH			
		°Brx						
1	1-2	25,2	23,4	3,58	3,25	9,27	11,51	2
	2-3	23,4	23,6	3,46	3,10	7,50	9,84	4
	3-4	22,8	23,5	3,42	3,45	8,10	10,80	4
	4-5	24,4	23,8	3,71	3,13	4,84	9,80	4
	5-6	25,6	24,4	3,64	2,92	5,80	9,68	2
	6-7	25,8	23,6	3,45	4,24	9,03	10,13	4
	7-8	23,3	24,4	3,38	3,36	7,69	10,20	2
	8-9	23,3	23,7	3,46	3,06	9,02	11,42	4
	9-10	23,2	22,8	3,56	2,85	6,57	9,50	5
	10-11	23,4	23,8	3,23	4,37	11,88	11,81	4
	11-12	24,2	23,8	3,38	3,63	11,40	12,45	4
	12-13	23,7	20,7	3,48	4,41	9,98	10,95	7
	13-14	22,2	23,6	3,31	4,28	10,84	11,69	5
	14-15	24,3	23,9	3,20	3,89	9,54	11,55	5
	15-16	24,2	20,6	3,54	4,76	8,19	10,37	7
	16-17	23,0	20,6	3,46	4,24	9,36	10,95	7
	17-18	22,3	24,6	3,04	4,39	9,60	11,05	5
	18-19	24,5	24,6	3,22	4,50	9,94	10,89	5
	19-20	21,9	23,1	2,90	6,98	11,03	10,82	5
	20-21	24,0	24,7	3,13	4,58	10,40	10,86	5
	21-22	23,7	23,6	3,25	4,01	10,69	11,48	5
	22-23	25,1	22,9	3,20	4,81	11,44	11,68	5
	23-24	24,3	22,9	3,19	4,50	11,63	11,29	5
	24-25	23,5	22,9	3,24	4,40	12,30	11,65	5
	25-26	21,2	23,3	3,24	6,04	10,40	11,40	5
2	1-2	23,8	23,5	3,69	3,17	8,08	10,67	2
	2-3	23,6	24,3	3,82	3,28	11,28	12,13	3
	3-4	22,2	22,2	3,72	3,29	9,08	10,20	1
	4-5	23,6	24,3	3,68	3,79	9,56	11,41	3
	5-6	24,2	23,4	3,37	3,86	7,19	10,64	4
	6-7	21,3	21,9	3,75	4,25	7,82	11,70	1

	7-8	23,2	23,2	3,21	4,06	7,07	10,61	4
	8-9	23,9	23,5	3,48	3,82	9,02	11,11	2
	9-10	22,4	23,4	3,53	3,25	10,56	11,64	1
	10-11	24,4	23,4	3,51	3,41	10,49	11,73	2
	11-12	23,9	23,5	3,38	3,93	10,87	12,51	2
	12-13	24,3	23,4	3,67	3,67	11,74	12,25	2
	13-14	24,2	23,6	3,43	4,10	11,57	12,00	2
	14-15	24,2	23,3	3,39	3,80	8,12	10,65	3
	15-16	24,8	23,0	3,40	4,39	10,77	11,71	2
	16-17	22,4	24,0	3,13	4,63	11,21	12,05	3
	17-18	18,1	22,5	3,14	5,10	12,09	12,03	1
	18-19	21,2	22,5	3,41	4,03	11,15	11,62	1
	19-20	21,5	23,4	3,10	6,21	8,94	10,39	2
	20-21	22,5	23,0	3,16	6,04	10,19	10,64	2
	21-22	23,4	23,6	3,50	5,31	12,54	12,32	3
	22-23	20,6	24,0	2,98	7,00	11,75	12,09	3
	23-24	22,8	23,5	3,08	6,42	11,96	11,51	3
	24-25	21,7	23,7	3,14	6,80	10,40	12,23	3
	25-26	23,4	23,4	3,43	4,44	11,71	9,88	1
	26-27	17,8	22,7	3,48	3,87	10,80	11,64	1
3	1-2	25,0	22,5	3,61	3,59	8,62	10,57	6
	2-3	24,0	23,0	3,67	4,18	7,70	10,00	6
	3-4	23,8	20,9	3,45	4,23	10,13	10,68	7
	4-5	23,6	22,5	3,52	4,15	9,14	10,38	7
	5-6	23,3	20,9	3,38	5,30	10,58	11,57	7
	6-7	23,8	20,9	3,35	4,75	8,46	10,77	7
	7-8	24,3	22,7	3,47	4,15	6,88	10,12	4
	8-9	23,2	22,7	3,46	4,02	6,89	10,87	4
	9-10	24,2	22,7	3,48	3,95	9,46	9,87	4
	10-11	23,7	22,8	3,41	3,74	10,69	11,60	4
	11-12	23,6	23,5	3,45	3,50	9,65	11,49	5
	12-13	23,5	23,5	3,36	4,02	9,49	10,58	5
	13-14	24,2	23,3	3,32	4,11	8,11	11,18	5
	14-15	23,8	23,8	3,36	4,16	7,81	10,27	5
	15-16	24,3	24,5	3,18	4,00	12,17	11,51	5
	16-17	23,8	23,6	3,27	4,52	11,22	11,31	5

	17-18	24,3	23,8	3,33	4,52	10,80	10,81	5
	18--19	24,6	23,4	3,40	4,64	9,55	11,19	5
	19-20	24,5	23,6	3,24	5,48	12,18	11,25	3
	20-21	24,5	22,9	3,24	4,87	10,81	11,96	4
	21-22	21,9	24,3	3,42	6,65	10,18	12,36	3
	22-23	21,0	23,1	2,83	7,68	11,73	12,79	4
	23-24	22,2	22,8	3,20	5,51	12,21	11,88	4
	24-25	22,3	22,6	3,23	5,89	13,44	12,91	4
	25-26	23,0	22,6	3,18	6,57	11,46	12,49	4
	26-27	21,2	22,7	3,17	7,82	11,09	11,56	4
4	1-2	20,0	24,8	2,91	11,28	4,67	8,57	9
	2-3	23,4	24,0	3,56	3,78	7,95	10,85	9
	3-4	24,0	23,1	3,24	4,82	8,53	10,47	9
	4-5	23,7	25,3	3,39	4,82	7,30	10,25	9
	5-6	23,6	25,3	3,46	4,30	8,70	11,08	9
	6-7	24,3	25,2	3,62	4,19	7,52	10,35	9
	7-8	25,1	25,2	3,60	4,61	6,53	9,87	9
	8-9	23,9	23,6	3,42	4,89	6,86	10,15	9
	9-10	23,3	24,4	3,40	4,32	8,41	10,47	9
	10-11	24,2	24,1	3,47	4,19	8,90	10,91	9
	11-12	23,8	21,0	3,40	4,32	8,58	10,27	7
	12-13	24,0	23,3	3,29	4,50	9,44	10,84	9
	13-14	23,6	23,7	3,38	4,60	9,34	10,89	9
	14-15	20,8	22,7	2,91	7,94	8,64	10,43	9
	15-16	23,3	22,9	3,17	4,65	8,25	10,53	9
	16-17	24,4	23,1	3,18	5,16	8,95	10,90	9
	17-18	24,0	22,9	3,23	4,70	9,43	10,46	9
	18--19	24,5	23,2	3,20	4,98	9,62	11,22	9
	19-20	23,2	23,4	3,16	6,32	7,93	10,30	9
	20-21	22,2	22,9	3,26	6,68	10,25	11,55	6
	21-22	23,9	24,1	3,24	6,70	10,22	10,50	10
	22-23	22,8	20,8	3,09	7,01	9,40	10,59	7
	23-24	22,3	24,1	3,21	6,36	9,77	10,75	10
	24-25	22,3	24,2	3,06	8,25	11,03	11,63	10
	25-26	23,0	22,9	3,02	6,41	10,85	11,17	9
	26-27	21,5	23,3	2,90	8,60	9,96	10,31	9

5	1-2	24,3	24,4	3,56	4,14	5,45	9,16	9
	2-3	23,9	24,5	3,53	3,82	7,00	10,10	8
	3-4	23,7	24,4	3,40	4,78	8,16	9,60	9
	4-5	23,4	24,6	3,41	5,18	4,77	9,19	9
	5-6	23,4	24,2	3,31	4,25	8,17	10,60	8
	6-7	24,2	24,6	3,46	4,10	7,44	10,73	9
	7-8	23,3	24,4	3,61	3,64	6,26	9,41	9
	8-9	24,2	23,9	3,37	4,16	6,05	9,15	8
	9-10	22,3	24,5	3,46	4,27	8,85	10,44	9
	10-11	24,1	23,7	3,56	3,25	7,68	10,55	8
	11-12	25,0	24,3	3,62	3,48	8,88	11,09	9
	12-13	23,9	24,2	3,37	4,47	10,05	10,63	9
	13-14	24,4	23,5	3,45	4,74	9,60	10,75	8
	14-15	23,4	23,8	3,37	3,62	8,57	11,11	4
	15-16	23,3	24,4	3,35	4,96	9,53	10,94	9
	16-17	23,9	23,5	3,31	5,27	9,58	11,47	8
	17-18	24,5	23,6	3,50	4,77	10,06	11,46	8
	18-19	25,4	24,1	3,39	5,28	8,66	10,28	9
	19-20	22,9	23,5	3,10	5,36	9,63	11,05	4
	20-21	22,0	23,9	3,25	6,68	8,94	10,15	8
	21-22	23,9	23,7	3,47	6,61	10,31	11,35	8
	22-23	23,3	23,1	3,13	7,41	11,84	11,09	8
	23-24	23,3	23,7	3,08	6,64	10,08	11,49	4
	24-25	22,4	24,4	3,09	7,21	10,11	12,03	9
	25-26	24,5	24,4	3,25	6,34	12,33	12,42	9
	26-27	24,1	22,7	3,35	5,70	10,02	11,92	8
	27-28	23,9	23,8	3,24	6,14	10,54	11,50	8
6	1-2	23,5	24,3	3,45	5,70	12,16	12,85	3
	2-3	21,1	24,1	3,12	6,76	10,95	11,66	3
	3-4	21,3	24,3	3,23	6,02	10,76	11,65	3
	4-5	21,3	23,6	3,32	6,33	11,71	11,66	3
	5-6	23,9	23,4	3,23	5,16	11,02	11,37	3
	6-7	24,1	24,3	3,18	5,29	10,39	10,99	3
	7-8	24,5	23,4	3,50	4,84	11,21	11,47	3
	8-9	24,6	23,4	3,24	5,43	9,02	11,51	3
	9-10	24,3	23,4	3,42	4,41	10,23	11,50	3

	10-11	24,6	23,3	3,22	4,73	10,52	11,57	4
	11-12	24,1	23,2	3,23	4,05	9,07	10,72	4
	12-13	24,1	23,4	3,25	4,01	9,68	11,70	4
	13-14	25,0	24,1	3,31	3,97	9,38	10,88	2
	14-15	24,2	24,3	3,52	3,67	11,66	11,31	2
	15-16	21,5	22,3	3,64	3,22	10,22	11,72	1
	16-17	22,7	23,1	3,14	3,69	11,62	11,86	4
	17-18	22,6	23,3	3,52	3,41	7,45	10,53	5
	18--19	23,0	24,3	3,31	3,82	8,85	11,13	2
	19-20	23,1	24,3	3,33	7,78	7,48	10,26	2
	20-21	24,1	23,6	3,30	4,47	9,66	11,44	3
	21-22	21,4	23,6	3,46	4,12	8,98	11,49	3
	22-23	23,9	23,6	3,42	3,86	12,47	12,81	3
	23-24	22,6	23,8	3,60	3,70	10,73	11,75	3
	24-25	23,7	23,7	3,43	3,88	8,93	10,82	3
	25-26	22,3	23,5	3,44	3,59	10,51	12,05	3
	26-27	24,5	24,3	3,59	3,80	11,63	11,04	3
7	1-2	23,9	24,3	3,09	4,85	10,97	11,78	2
	2-3	23,4	24,3	3,11	4,84	10,91	11,36	2
	3-4	23,9	24,3	3,10	4,76	10,48	11,91	2
	4-5	22,9	23,0	3,02	4,52	11,62	12,09	4
	5-6	23,1	22,8	3,33	5,21	10,59	11,09	4
	6-7	24,2	22,8	3,25	4,87	10,40	11,61	4
	7-8	23,8	22,8	3,25	5,43	10,49	11,38	4
	8-9	22,4	22,5	3,12	6,10	11,17	11,04	4
	9-10	23,6	22,8	3,37	5,17	9,80	10,80	5
	10-11	23,2	23,0	3,33	5,12	8,09	11,04	5
	11-12	23,1	22,9	3,30	4,23	9,25	9,72	5
	12-13	24,5	22,9	3,42	3,71	9,74	10,58	5
	13-14	22,9	22,9	3,27	4,12	11,45	11,32	5
	14-15	23,7	24,4	3,19	3,99	9,09	11,51	5
	15-16	23,9	23,9	3,20	3,99	9,13	11,49	5
	16-17	22,0	24,5	3,17	3,74	7,47	10,44	5
	17-18	23,3	24,0	3,37	3,49	7,00	10,11	5
	18--19	22,7	24,0	3,19	3,85	8,38	10,50	5
	19-20	23,0	24,5	3,37	4,34	6,58	9,32	5

	20-21	24,0	23,7	3,31	3,95	6,54	9,81	5
	21-22	23,6	24,3	3,15	4,06	10,50	12,72	2
	22-23	24,5	24,3	3,13	4,32	8,67	10,56	2
	23-24	23,7	23,0	3,06	4,32	8,55	10,40	4
	24-25	23,2	22,9	3,37	4,59	6,37	9,80	4
	25-26	23,4	22,8	3,28	3,82	7,13	10,33	4
	26-27	24,3	22,9	3,36	3,87	9,95	11,63	4
	27-28	22,5	23,2	3,31	3,28	10,90	12,06	4
8	1-2	23,9	22,8	3,42	5,00	10,11	12,08	6
	2-3	23,0	23,9	3,23	4,06	10,15	12,07	5
	3-4	23,3	22,6	3,14	4,89	10,10	11,32	7
	4-5	23,7	22,0	2,94	5,27	9,22	10,26	7
	5-6	23,9	22,8	3,01	5,54	9,32	11,19	9
	6-7	24,1	22,1	2,99	5,50	12,81	12,44	7
	7-8	23,8	22,3	2,96	6,11	11,14	11,79	7
	8-9	24,6	22,1	3,17	6,32	10,12	10,78	6
	9-10	22,8	21,4	2,83	6,60	8,93	11,11	7
	10-11	22,8	21,3	2,89	6,63	8,36	10,28	7
	11-12	21,2	22,3	3,12	7,62	8,09	10,02	6
	12-13	23,2	21,4	3,16	4,25	7,93	9,88	7
	13-14	23,3	21,8	3,09	4,70	11,14	11,00	7
	14-15	23,2	22,1	3,37	4,40	8,67	10,80	6
	15-16	21,8	22,1	3,24	4,75	10,04	10,61	6
	16-17	22,8	24,8	3,49	4,07	8,83	10,57	9
	17-18	23,1	24,5	3,54	3,99	8,70	10,80	9
	18--19	23,5	24,9	3,50	3,97	6,40	9,76	9
	19-20	21,2	24,6	3,11	6,79	7,67	10,08	9
	20-21	22,7	20,9	3,27	7,20	6,98	9,56	7
	21-22	23,4	20,9	3,45	4,82	7,70	9,59	7
	22-23	23,5	24,8	3,60	4,19	7,92	10,54	9
	23-24	24,0	21,0	3,49	4,17	8,56	10,15	7
	24-25	23,2	22,9	3,13	4,36	8,57	10,21	9
	25-26	25,0	21,8	3,32	3,48	9,21	10,05	7
	26-27	25,4	22,6	3,52	4,00	9,05	11,33	6
	27-28	24,7	21,8	3,08	4,92	5,96	9,00	7
9	1-2	24,6	20,6	3,26	5,26	10,32	11,60	7

	2-3	24,5	24,2	3,15	4,88	10,61	11,60	8
	3-4	24,8	20,6	3,32	4,78	10,07	11,35	7
	4-5	24,8	23,8	3,38	4,84	9,56	10,30	8
	5-6	21,3	20,8	3,05	7,17	9,00	11,00	7
	6-7	23,0	20,6	3,14	7,13	9,18	11,31	7
	7-8	19,6	20,6	2,91	9,60	8,20	11,07	7
	8-9	24,0	24,1	3,23	6,30	11,14	11,29	8
	9-10	22,5	24,2	3,06	7,12	10,23	11,13	8
	10-11	23,0	24,3	3,23	6,23	7,07	10,21	8
	11-12	22,0	24,0	3,25	6,24	9,42	11,34	8
	12-13	23,9	24,4	3,29	5,03	9,30	10,62	8
	13-14	23,9	24,3	3,68	4,83	9,40	11,22	8
	14-15	24,3	23,8	3,37	3,54	9,80	11,35	4
	15-16	23,7	23,8	3,38	3,90	8,29	11,08	4
	16-17	22,8	22,0	3,30	4,76	7,43	10,48	8
	17-18	23,8	22,2	3,36	4,26	8,03	11,54	8
	18-19	22,9	24,4	3,40	4,09	7,77	10,92	9
	19-20	22,7	24,5	3,26	5,17	9,24	11,11	9
	20-21	23,8	22,4	3,29	4,80	8,70	10,82	8
	21-22	23,0	24,6	3,28	5,46	7,27	10,1	9
	22-23	25,4	24,5	3,28	4,75	7,89	11,18	8
	23-24	22,0	24,5	3,18	5,51	8,75	11,10	9
	24-25	24,1	24,5	3,47	4,44	9,25	10,68	8
	25-26	25,4	24,4	3,64	3,74	5,06	8,91	9
	26-27	25,4	24,4	3,76	3,29	6,17	9,74	9
	27-28	27,1	24,2	4,31	1,87	9,22	12,06	8
10	1-2	23,7	23,1	2,98	5,94	11,96	11,48	7
	2-3	23,1	24,0	3,54	5,77	9,03	10,53	8
	3-4	24,4	24,1	3,63	4,91	10,83	10,84	8
	4-5	24,5	23,9	3,49	4,48	9,43	11,14	8
	5-6	22,9	21,9	3,19	5,90	11,19	11,74	1
	6-7	23,4	22,5	3,21	6,70	8,96	10,81	6
	7-8	22,9	22,0	3,12	6,38	9,15	11,24	6
	8-9	23,7	24,5	3,24	5,45	9,84	10,54	7
	9-10	23,5	23,9	3,23	6,28	10,85	10,97	8
	10-11	23,9	24,5	3,27	5,56	10,26	11,79	7

	11-12	22,8	24,3	3,26	4,13	8,60	10,78	2
	12-13	25,2	24,3	3,46	3,68	11,36	12,08	2
	13-14	25,7	24,3	3,63	3,64	9,43	11,72	2
	14-15	23,3	24,3	3,60	4,58	10,96	11,92	2
	15-16	23,8	23,8	3,56	3,14	8,01	10,44	7
	16-17	24,7	22,5	3,56	4,00	9,81	10,84	6
	17-18	23,9	22,9	3,38	3,19	9,39	10,90	7
	18--19	22,4	22,5	3,66	3,20	8,01	10,17	6
	19-20	27,1	22,4	3,96	2,81	7,81	10,20	6
	20-21	24,0	22,7	3,07	4,50	8,82	11,07	7
	21-22	24,3	23,5	3,24	5,02	9,66	11,05	7
	22-23	24,4	22,4	3,62	3,27	10,78	11,30	6
	23-24	23,0	22,0	3,56	3,57	10,69	10,84	1
	24-25	23,9	22,5	3,84	2,40	9,65	11,38	6
	25-26	24,7	22,4	3,44	3,78	8,26	10,26	6
	26-27	25,3	22,0	3,64	3,14	8,40	11,62	1
	27-28	24,2	22,5	3,57	3,82	5,75	9,70	6

ANEJO 13: MAPAS_COMPLETO

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%% GENERACIÓN DE MALLAS: RTO + POST-RECOLECCIÓN %%
%% VSR_Valencia, Octubre 2011-2012 %%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Cargar fichero de coordenadas GPS (latitud, longitud, altitud) con la
columna PESOS

data = load ('Post_Recol.txt');% fichero en grados y minutos sexag del GPS
[np, columns] = size (data);

%% CONVERSIÓN North-East-Down con columna de PESOS
% Columnas necesarias
index = data(:,1);% número de puntos
Lat_deg = data(:,2);
Lat_min = data(:,3);
Long_deg = data(:,4);
Long_min = data(:,5);
Alt = data(:,6);
Rto = data(:,7);% peso de la uva sin el capazo
Azucar = data (:,8);% azúcar en g/l
Be = data (:,9);% grados Baumé
Alc = data (:,10);% grado de alcohol probable
pH = data (:,11);
Aci = data (:,12);% acidez
Peso10 = data (:,13);% peso de 10 bayas
Diam = data (:,14);% diámetro medio de baya
Dens = data (:,15);% densidad de la baya

% Creación de matrices para la transformación a NED
N = zeros(np,1);
E = zeros(np,1);
D = zeros(np,1);
X = zeros(np,1);
Y = zeros(np,1);

% Formulación
% constantes
a = 6378137;% semieje mayor (m)
b = 6356752.314;% semieje menor (m)
fl = 0.00335281;% aplanamiento
ec = 0.0818;% excentricidad

% TRANSFORMACIÓN DE COORDENADAS
%% Los parámetros que llevan (k,1) son matrices en las que sólo se hacen
cálculos componente a componente y no como matriz completa, por eso
utilizamos un bucle de repetición. Haciendo ésto, no se ocupa memoria, ya
que no se guarda la matriz resultante, sino que se van calculando los
valores uno a uno.

% Variables a cero
Lat_rad = 0;
Long_rad = 0;
No = 0;
for k = 1:np
% Latitud y longitud a radianes
Lat_rad = (Lat_deg(k,1) + (Lat_min(k,1)/60))* (3.14159265/180);
Long_rad = -(Long_deg(k,1) + (Long_min(k,1)/60))* (3.14159265/180);% poner
NEGATIVO si es OESTE
% Longitud de la normal (No)
```

```

No = a/sqrt(1-ec^2*sin(Lat_rad)^2);

% X Y Z (en metros)_COORDENADAS ECEF

X(k,1) = (No + Alt(k,1))*cos(Lat_rad)*cos(Long_rad);
Y(k,1) = (No + Alt(k,1))*cos(Lat_rad)*sin(Long_rad);
Z(k,1) = (No*(1-ec^2) + Alt(k,1))*sin(Lat_rad);

% N E D
% Origen

Xo = X(1,1);% EN EL ARCHIVO ESTÁ EL ORIGEN COMO PTO 1 (el de las tres líneas
anteriores)
Yo = Y(1,1);
Zo = Z(1,1);

% Cálculos

N(k,1) = (-sin(Lat_rad)*cos(Long_rad)*(X(k,1)-Xo)) + (-
sin(Lat_rad)*sin(Long_rad)*(Y(k,1)-Yo)) + cos(Lat_rad)*(Z(k,1)-Zo);
E(k,1) = (-sin(Long_rad)*(X(k,1)-Xo)) + (cos(Long_rad)*(Y(k,1)-Yo));
%D(k,1) = (-cos(Lat_rad)*cos(Long_rad)*(X(k,1)-Xo)) + (-
cos(Lat_rad)*sin(Long_rad)*(Y(k,1)-Yo)) + (-sin(Lat_rad)*(Z(k,1)-Zo));
Altitud(k,1) = Alt(k,1);

end% cierra bucle for
%% CREACIÓN DE LAS MALLAS
%SI SE CAMBIA, CAMBIAR EL TÍTULO DE LOS EJES TAMBIÉN (Y SUS LÍMITES)
c = 4 ;% tamaño de la celda de la malla en metros. Cuadrado de c metros de
lado

maxN = 48; %LOS MAX Y MIN SERÁN SIEMPRE LOS DEL PERÍMETRO. Estos
maxE = 128; %puntos siempre quedarán dentro de la parcela.
minN = -2;
minE = -13;

% Resolución de la malla
h = abs(maxE - minE)/c;
v = abs(maxN - minN)/c;
H = ceil(h);% redondeo por arriba (H y V han de ser números enteros)
V = ceil(v);
Resol = H*V;

% Creación de las mallas

%mallaAlt = zeros(V, H);% para comparar con la que ya tengo de altitud
mallaRto = zeros(V, H);
mallaAzucar = zeros(V, H);
mallaBe = zeros(V, H);
mallaAlc = zeros(V, H);
mallapH = zeros(V, H);
mallaAci = zeros(V, H);
mallaPeso10 = zeros(V, H);
mallaD = zeros(V, H);
mallaDens = zeros(V, H);
repe = 0;

% Rellenado de las mallas
for k = 1:np
    x(k) = round((abs(minE)/c) + E(k)/c);% transformar coord E en x
de la malla. Redondear
    y(k) = ceil(-(minN)/c + N(k)/c);

```

```

        if minE == E(k),
x(k) = 1 + (ceil((abs(minE)/c) + (E(k)/c)));
        end% cierra el if

        if minN == N(k),
y(k) = 1 + ceil(-(minN)/c + N(k)/c);
        end%cierra el if

asignado
        if mallaRto (y(k), x(k)) ~= 0% es decir, que ya hay un valor
mallaRto (y(k), x(k)) = 0.5 * (Rto(k) + mallaRto (y(k), x(k)));
        repe = repe + 1;
        else
            mallaRto (y(k), x(k)) = Rto(k);
        end
        if mallaAzucar (y(k), x(k)) ~= 0
            mallaAzucar (y(k), x(k)) = 0.5 * (Azucar(k) + mallaAzucar
(y(k), x(k)));
        else
            mallaAzucar (y(k), x(k)) = Azucar(k);
        end
        if mallaBe (y(k), x(k)) ~= 0
            mallaBe (y(k), x(k)) = 0.5 * (Be(k) + mallaBe (y(k), x(k)));
        else
            mallaBe (y(k), x(k)) = Be(k);
        end
        if mallaAlc (y(k), x(k)) ~= 0
            mallaAlc (y(k), x(k)) = 0.5 * (Alc(k) + mallaAlc (y(k),
x(k)));
        else
            mallaAlc (y(k), x(k)) = Alc(k);
        end
        if mallapH (y(k), x(k)) ~= 0
            mallapH (y(k), x(k)) = 0.5 * (pH(k) + mallapH (y(k), x(k)));
        else
            mallapH (y(k), x(k)) = pH(k);
        end
        if mallaAci (y(k), x(k)) ~= 0%
            mallaAci (y(k), x(k)) = 0.5 * (Aci(k) + mallaAci (y(k),
x(k)));
        else
            mallaAci (y(k), x(k)) = Aci(k);
        end
        if mallaPesol0 (y(k), x(k)) ~= 0
            mallaPesol0 (y(k), x(k)) = 0.5 * (Pesol0(k) + mallaPesol0
(y(k), x(k)));
        else
            mallaPesol0 (y(k), x(k)) = Pesol0(k);
        end
        if mallaD (y(k), x(k)) ~= 0
            mallaD (y(k), x(k)) = 0.5 * (Diam(k) + mallaD (y(k), x(k)));
        else
            mallaD (y(k), x(k)) = Diam(k);
        end
        if mallaDens (y(k), x(k)) ~= 0
            mallaDens (y(k), x(k)) = 0.5 * (Dens(k) + mallaDens (y(k), x(k)));
        else
            mallaDens (y(k), x(k)) = Dens(k);
        end

end% cierra el bucle de las j

```

```

% Representación malla

figure;
surf(mallaAlt); view (0,90);
axis equal;
axis ([0 H+1 0 V+1]);
xlabel('Este (celda = 4 metros)', 'FontSize',20);
ylabel('Norte (celda = 4 metros)', 'FontSize', 20);
title ('ALTITUD [metros]', 'FontSize', 20);
barcolAlt = [0.95 0.95 0.95;0 0 1; 0 0.2 1;0 0.4 1;0 0.6 1;0 0.8 1];
caxis([642 647]);%azul inverso, de forma que donde más se acumula el agua
(menor altitud) tiene un azul más oscuro). Al límite inferior de altitud se
le baja uno para que no se confunda el blanco de sin-datos con baja altitud.
colormap(barcolAlt);
colorbar('EastOutside')

figure;
surf(mallaRto); view (0,90);
axis equal;
axis ([0 H+1 0 V+1]);
xlabel('Este (celda = 4 metros)', 'FontSize',20);
ylabel('Norte (celda = 4 metros)', 'FontSize', 20);
title ('RENDIMIENTO [kg]', 'FontSize', 20);
barcolRto = [1 1 1;0.7 1 0.9;0.5 0 0.8;0.2 0 0.7;0 0 0.4;0 0 0.3;0 0 0.2];
caxis ([-1 9]);% azules/morados
colormap(barcolRto);
colorbar('EastOutside')
%
figure;
surf(mallaAzucar); view (0,90);
axis equal;
axis ([0 H+1 0 V+1]);
xlabel('Este (celda = 4 metros)', 'FontSize',20);
ylabel('Norte (celda = 4 metros)', 'FontSize', 20);
title ('AZÚCARES TOTALES [g/l]', 'FontSize', 20);
barcolAzucar = [1 1 1;0.9 0.8 0.8;0.8 0 0.5;0.7 0 0.2;0.5 0 0;0.2 0 0];
caxis ([210 270]);
colormap(barcolAzucar);
colorbar('EastOutside')

figure;% debe salir igual que la de arriba. Es sólo para tener los dos mapas
de diferentes medidas del azúcar
surf(mallaBe); view (0,90);
axis equal;
axis ([0 H+1 0 V+1]);
xlabel('Este (celda = 4 metros)', 'FontSize',20);
ylabel('Norte (celda = 4 metros)', 'FontSize', 20);
title ('AZÚCARES [°Be]', 'FontSize', 20);
barcolBe = [1 1 1;0.9 1 0.7;0.8 0 0.5;0.7 0 0.2;0.6 0 0.1;0.5 0 0;0.2 0 0];
caxis ([11 15]);% rojorosas
colormap(barcolBe);
colorbar('EastOutside')

figure;
surf(mallaAlc); view (0,90);
axis equal;
axis ([0 H+1 0 V+1]);
xlabel('Este (celda = 4 metros)', 'FontSize',20);
ylabel('Norte (celda = 4 metros)', 'FontSize', 20);
title ('ALCOHOL PROBABLE [% vol]', 'FontSize', 20);
barcolAlc = [1 1 1;0.1 1 1;0.5 0 0.6;0.6 0 0.5;0.8 0 0.3]; caxis ([11 16]);%
colormap(barcolAlc);

```

```

colorbar('EastOutside')

figure;
surf(mallapH); view (0,90);
axis equal;
axis ([0 H+1 0 V+1]);
xlabel('Este (celda = 4 metros)', 'FontSize',20);
ylabel('Norte (celda = 4 metros)', 'FontSize', 20);
title ('pH', 'FontSize', 20);
barcolpH = [1 1 1;0.1 1 1;0.2 1 1;0.3 0.9 1;0.4 0.9 1;0.5 0.8 0.7;0.6 0.8
0.7;0.7 0.8 0.5;0.8 0.7 0.5]; caxis ([1 5]);%
colormap(barcolpH);
colorbar('EastOutside')

figure;
surf(mallaAci); view (0,90);
axis equal;
axis ([0 H+1 0 V+1]);
xlabel('Este (celda = 4 metros)', 'FontSize',20);
ylabel('Norte (celda = 4 metros)', 'FontSize', 20);
title ('ACIDEZ PROBABLE [g/l]', 'FontSize', 20);
barcolAci = [1 1 1;1 0 0.9;0.9 0 0.7;0.9 0 0.5;0.8 0 0.3;0.8 0 0.2;0.7 0
0.1;0.7 0.1 0.1;0.7 0.2 0.1]; caxis ([2 15]);%
colormap(barcolAci);
colorbar('EastOutside')

figure;
surf(mallaPeso10); view (0,90);
axis equal;
axis ([0 H+1 0 V+1]);
xlabel('Este (celda = 4 metros)', 'FontSize',20);
ylabel('Norte (celda = 4 metros)', 'FontSize', 20);
title ('PESO BAYAS [g]', 'FontSize', 20);
barcolPeso10 = [1 1 1;1 0 1;1 0 0.9;1 0 0.8;1 0 0.7;0.7 0 0.6;0.7 0 0.5;0.7
0 0.4;0.7 0 0.3]; caxis ([3 13]);%
colormap(barcolPeso10);
colorbar('EastOutside')

figure;
surf(mallaD); view (0,90);
axis equal;
axis ([0 H+1 0 V+1]);
xlabel('Este (celda = 4 metros)', 'FontSize',20);
ylabel('Norte (celda = 4 metros)', 'FontSize', 20);
title ('DIÁMETRO MEDIO [mm]', 'FontSize', 20);
barcolD = [1 1 1;0 1 1;0 0 0.9;0 0 0.8;0 0 0.5;0 0 0.4;0 0 0.3]; caxis ([7
13]);%
colormap(barcolD);
colorbar('EastOutside')

figure;
surf(mallaDens); view (0,90);
axis equal;
axis ([0 H+1 0 V+1]);
xlabel('Este (celda = 4 metros)', 'FontSize',20);
ylabel('Norte (celda = 4 metros)', 'FontSize', 20);
title ('DENSIDAD BAYAS [g/cm^3]', 'FontSize', 20);
barcolDens = [1 1 1;1 0.2 0.9;1 0.3 0.5;1 0.8 0.1;1 0.9 0.1]; caxis ([1
1.8]);%
colormap(barcolDens);
colorbar('EastOutside')

```


ANEJO 14: DATOS ESTADÍSTICOS (Statgraphics v.XVI)

ANÁLISIS DE UNA VARIABLE

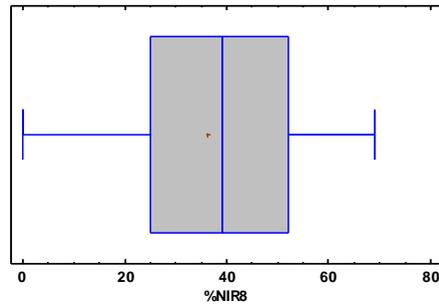
Análisis de Una Variable -%NIR8

Datos/Variable:%NIR8 ; 219 valores con rango desde 0 a 69.0

Resumen Estadístico para%NIR8

Recuento	219
Promedio	36.21
Desviación Estándar	17.6462
Coefficiente de Variación	48.7328%
Mínimo	0
Máximo	69.0
Rango	69.0
Sesgo Estandarizado	-3.56104
Curtosis Estandarizada	-1.56619

Gráfico de Caja y Bigotes



El sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada pueden utilizarse para determinar si la muestra proviene de una distribución normal. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar cualquier prueba estadística con referencia a la desviación estándar.

Media Muestral = 36.21; Mediana Muestral = 39.0

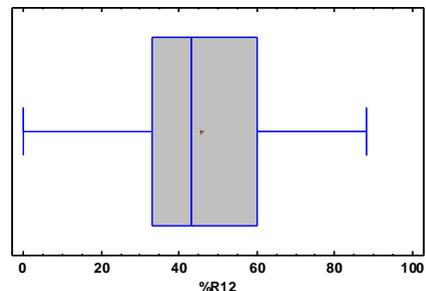
Análisis de Una Variable -%R12

Datos/Variable:%R12; 219 valores con rango desde 0 a 88.0

Resumen Estadístico para%R12

Recuento	219
Promedio	45.8493
Desviación Estándar	18.5976
Coefficiente de Variación	40.5625%
Mínimo	0
Máximo	88.0
Rango	88.0
Sesgo Estandarizado	-0.588185
Curtosis Estandarizada	-0.108001

Gráfico de Caja y Bigotes



En este caso, el valor del sesgo estandarizado se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes una distribución normal. El valor de curtosis estandarizada se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal.

Prueba de Hipótesis para%R12

Media Muestral = 45.8493; Mediana Muestral = 43.0

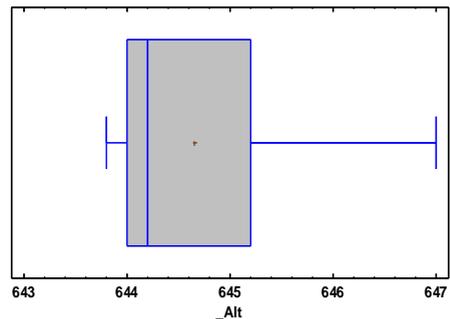
Análisis de Una Variable - Alt

Datos/Variable: Alt; 205 valores con rango desde 643,8 a 647,0

Resumen estadístico para _Alt

Recuento	205
Promedio	644,647
Desviación Estándar	0,879313
Coeficiente de Variación	0,136402%
Mínimo	643,8
Máximo	647,0
Rango	3,2
Sesgo Estandarizado	6,69546
Curtosis Estandarizada	-0,246402

Gráfico de Caja y Bigotes



Media muestral = 644,647 ; Mediana = 644,2;

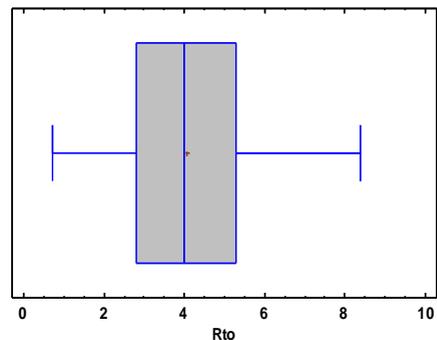
Análisis de Una Variable - Rto

Datos/Variable: Rto ; 219 valores con rango desde 0.7 a 8.4

Resumen Estadístico para Rto

Recuento	219
Promedio	4.07123
Desviación Estándar	1.84282
Coeficiente de Variación	45.2645%
Mínimo	0.7
Máximo	8.4
Rango	7.7
Sesgo Estandarizado	1.63983
Curtosis Estandarizada	-1.53967

Gráfico de Caja y Bigotes



Media muestral: 4.07123 ; Mediana Muestral = 4.0

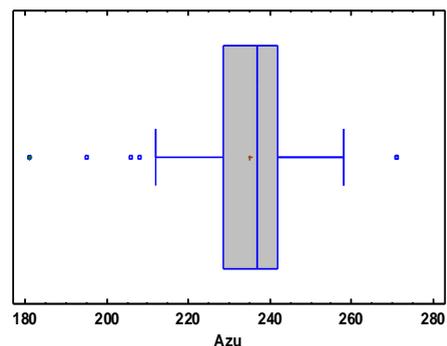
Análisis de Una Variable - Azu

Datos/Variable: Azu ; 219 valores con rango desde 181.0 a 271.0

Resumen Estadístico para Azu

Media Muestral = 235.048 ; Mediana Muestral = 237.0

Recuento	219
Promedio	235.048
Desviación Estándar	11.202
Coeficiente de Variación	4.76584%
Mínimo	181.0
Máximo	271.0
Rango	90.0
Sesgo Estandarizado	-4.40694
Curtosis Estandarizada	9.18017



Análisis de Una Variable - Baumé

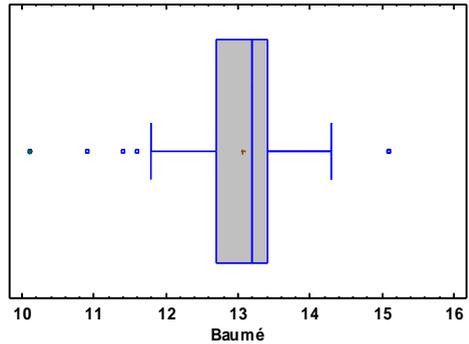
Datos/Variable: Baumé ; 219 valores con rango desde 10.1 a 15.1

Gráfico de Caja y Bigotes

Resumen Estadístico para Baumé

Recuento	219
Promedio	13.0594
Desviación Estándar	0.622691
Coeficiente de Variación	4.76816%
Mínimo	10.1
Máximo	15.1
Rango	5.0
Sesgo Estandarizado	-4.12768
Curtosis Estandarizada	8.81162

Media Muestral = 13.0594;
Mediana Muestral = 13.2



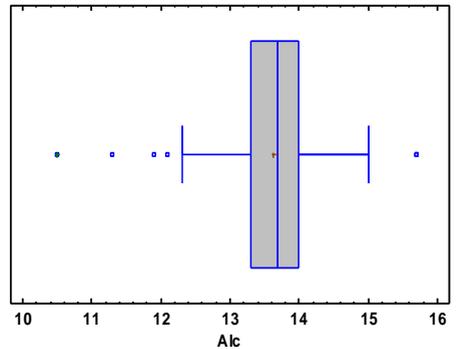
Análisis de Una Variable - Alc

Datos/Variable: Alc ; 219 valores con rango desde 10.5 a 15.7

Resumen Estadístico para Alc

Recuento	219
Promedio	13.6361
Desviación Estándar	0.646887
Coeficiente de Variación	4.74394%
Mínimo	10.5
Máximo	15.7
Rango	5.2
Sesgo Estandarizado	-4.43304
Curtosis Estandarizada	9.27775

Media Muestral = 13.6361 ; Mediana Muestral = 13.7



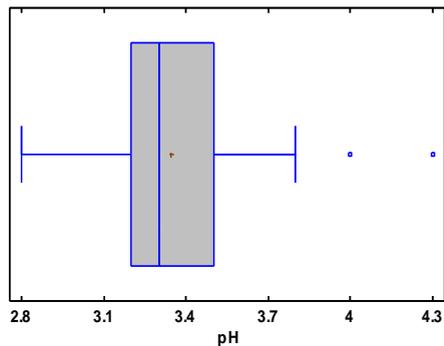
Análisis de Una Variable - pH

Datos/Variable: pH; 219 valores con rango desde 2.8 a 4.3

Resumen Estadístico para pH

Recuento	219
Promedio	3.34429
Desviación Estándar	0.204764
Coeficiente de Variación	6.12279%
Mínimo	2.8
Máximo	4.3
Rango	1.5
Sesgo Estandarizado	2.64992
Curtosis Estandarizada	5.2039

Media Muestral = 3.34429;
Mediana Muestral = 3.3



Análisis de Una Variable - Acid

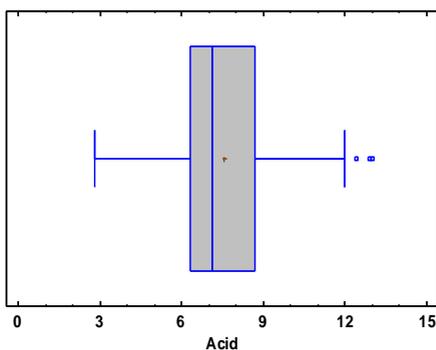
Datos/Variable: Acid ; 219 valores con rango desde 2.8 a 13.0

Resumen Estadístico para Acid

Recuento	219
Promedio	7.53562
Desviación Estándar	1.80329
Coefficiente de Variación	23.9302%
Mínimo	2.8
Máximo	13.0
Rango	10.2
Sesgo Estandarizado	4.53979
Curtosis Estandarizada	0.809308

Media Muestral = 7.53562;

Mediana Muestral = 7.1



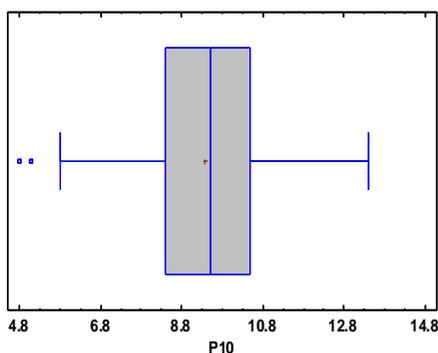
Análisis de Una Variable - P10

Datos/Variable: P10 ; 219 valores con rango desde 4.8 a 13.4

Resumen Estadístico para P10

Recuento	219
Promedio	9.379
Desviación Estándar	1.61112
Coefficiente de Variación	17.1779%
Mínimo	4.8
Máximo	13.4
Rango	8.6
Sesgo Estandarizado	-2.2519
Curtosis Estandarizada	0.152258

Media Muestral = 9.379; Mediana Muestral = 9.



Análisis de Una Variable - Diám

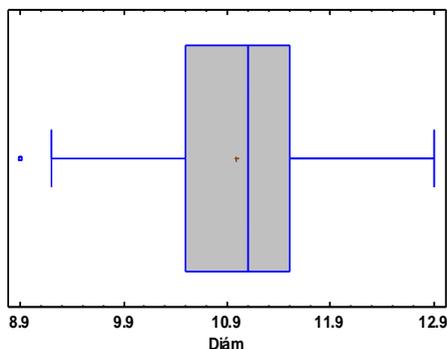
Datos/Variable: Diám; 219 valores con rango desde 8.9 a 12.9

Resumen Estadístico para Diám

Recuento	219
Promedio	10.984
Desviación Estándar	0.737819
Coefficiente de Variación	6.7172%
Mínimo	8.9
Máximo	12.9
Rango	4.0
Sesgo Estandarizado	-0.888416
Curtosis Estandarizada	0.194703

Media Muestral = 10.984;

Mediana Muestral = 11.1

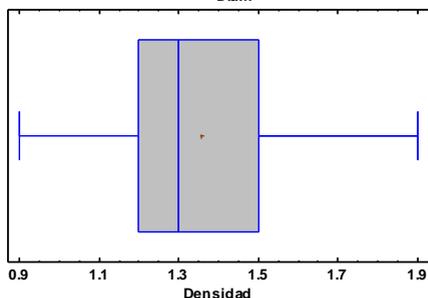


Análisis de Una Variable - Densidad

Datos/Variable: Densidad;

Resumen Estadístico para Densidad

Recuento	219
Promedio	1.35571
Desviación Estándar	0.16783
Coefficiente de Variación	12.3795%



Mínimo	0.9
Máximo	1.9
Rango	1.0
Sesgo Estandarizado	1.84561
Curtosis Estandarizada	0.568167

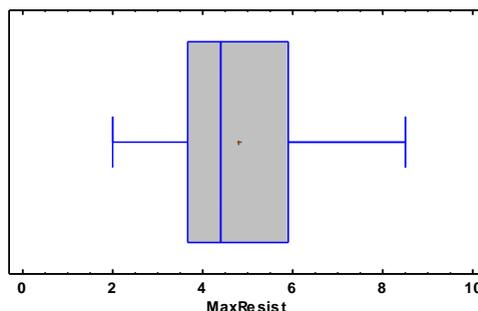
Media Muestral = 1.35571; Mediana Muestral = 1.3

One-Variable Analysis - MaxResist

Data variable: MaxResist 243 values ranging from 2,0 to 8,51

Summary Statistics for MaxResist

Count	243
Average	4,78691
Standard deviation	1,51461
Coeff. of variation	31,6407%
Minimum	2,0
Maximum	8,51
Range	6,51
Std. skewness	3,81654
Std. kurtosis	-1,64232

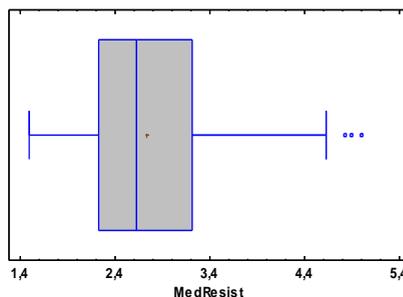


One-Variable Analysis - MedResist

Data variable: MedResist 243 values ranging from 1,49 to 5,0

Summary Statistics for MedResist

Count	243
Average	2,73835
Standard deviation	0,723527
Coeff. of variation	26,422%
Minimum	1,49
Maximum	5,0
Range	3,51
Std. skewness	4,63528
Std. kurtosis	0,783736



REGRESIONES SIMPLES

CELDA = 4 METROS DE LADO

Simple Regression - Rto vs.%NIR8

Dependent variable: Rto

Independent variable:%NIR8

Square root-Y model: $Y = (a + b \cdot X)^2$

Coefficients

	<i>Least Squares</i>	<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
Intercept	1,41005	0,0861815	16,3614	0,0000
Slope	0,0154972	0,00207792	7,45806	0,0000

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	9,72781	1	9,72781	55,62	0,0000
Residual	29,9061	171	0,174889		
Total (Corr.)	39,6339	172			

Correlation Coefficient = 0,495421

R-squared = 24,5442 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 24,1029 percent

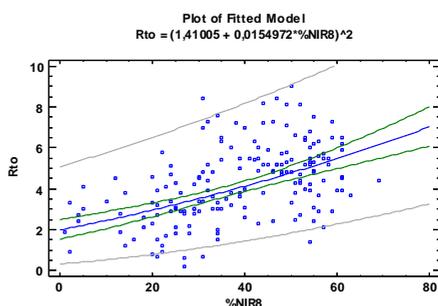
Standard Error of Est. = 0,418198

Mean absolute error = 0,32387

Durbin-Watson statistic = 1,30924 (P=0,0000)

Lag 1 residual autocorrelation = 0,331136

The equation of the fitted model is $Rto = (1,41005 + 0,0154972 * \%NIR8)^2$



Simple Regression - Rto vs. %R12

Dependent variable: Rto

Independent variable: %R12

Logarithmic-X model: $Y = a + b * \ln(X)$

Coefficients

	Least Squares	Standard	T	
Parameter	Estimate	Error	Statistic	P-Value
Intercept	-5,78212	1,33639	-4,32667	0,0000
Slope	2,655	0,351898	7,54481	0,0000

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	145,279	1	145,279	56,92	0,0000
Residual	436,419	171	2,55216		
Total (Corr.)	581,699	172			

Correlation Coefficient = 0,49975

R-squared = 24,975 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 24,5363 percent

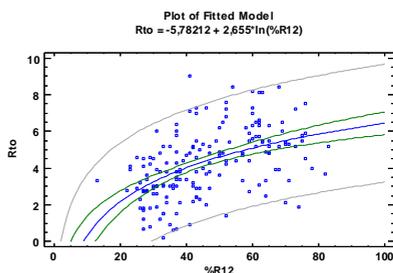
Standard Error of Est. = 1,59755

Mean absolute error = 1,24946

Durbin-Watson statistic = 1,01029 (P=0,0000)

Lag 1 residual autocorrelation = 0,461006

The equation of the fitted model is $R_{to} = -5,78212 + 2,655 \cdot \ln(\%R12)$



Simple Regression -%NIR8 vs. Alt

Dependent variable:%NIR8 Independent variable: Alt
 Square root-Y logarithmic-X model: $Y = (a + b \cdot \ln(X))^2$

Coefficients

	<i>Least Squares</i>	<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
Intercept	5171,94	314,035	16,4693	0,0000
Slope	-798,591	48,5462	-16,4501	0,0000

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	217,39	1	217,39	270,61	0,0000
Residual	137,372	171	0,803344		
Total (Corr.)	354,761	172			

Correlation Coefficient = -0,782801

R-squared = 61,2777 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 61,0513 percent

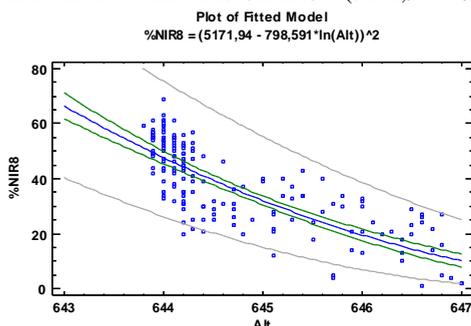
Standard Error of Est. = 0,896294

Mean absolute error = 0,71879

Durbin-Watson statistic = 1,32994 (P=0,0000)

Lag 1 residual autocorrelation = 0,332812

The equation of the fitted model is $\%NIR8 = (5171,94 - 798,591 \cdot \ln(Alt))^2$



Simple Regression -%R12 vs. Alt

Dependent variable:%R12 Independent variable: Alt
 Double reciprocal model: $Y = 1/(a + b/X)$

Coefficients

	Least Squares	Standard	T	
Parameter	Estimate	Error	Statistic	P-Value
Intercept	4,13494	0,36934	11,1955	0,0000
Slope	-2650,16	238,111	-11,13	0,0000

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	0,00575081	1	0,00575081	123,88	0,0000
Residual	0,0079385	171	0,000046424		
Total (Corr.)	0,0136893	172			

Correlation Coefficient = -0,648147

R-squared = 42,0095 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 41,6704 percent

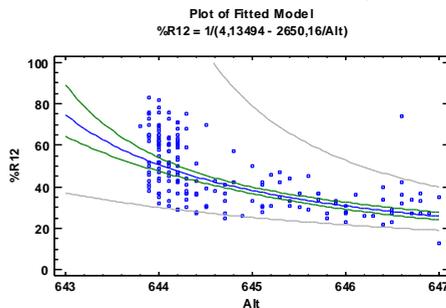
Standard Error of Est. = 0,00681351

Mean absolute error = 0,00516972

Durbin-Watson statistic = 1,37882 (P=0,0000)

Lag 1 residual autocorrelation = 0,303097

The equation of the fitted model is $\%R12 = 1/(4,13494 - 2650,16/Alt)$



Simple Regression - Rto vs. Alt

Dependent variable: Rto

Independent variable: Alt

Square root-Y logarithmic-X model: $Y = (a + b \cdot \ln(X))^2$

Coefficients

	Least Squares	Standard	T	
Parameter	Estimate	Error	Statistic	P-Value
Intercept	1379,72	131,73	10,4739	0,0000
Slope	-212,979	20,364	-10,4586	0,0000

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	15,4619	1	15,4619	109,38	0,0000
Residual	24,172	171	0,141357		
Total (Corr.)	39,6339	172			

Correlation Coefficient = -0,624595

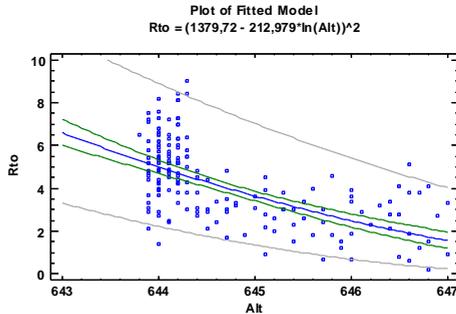
R-squared = 39,0119 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 38,6552 percent

Standard Error of Est. = 0,375974

Mean absolute error = 0,295629
 Durbin-Watson statistic = 1,41474 (P=0,0000)
 Lag 1 residual autocorrelation = 0,277089

The equation of the fitted model is $Rto = (1379,72 - 212,979 \cdot \ln(Alt))^2$



Simple Regression - Baumé vs. %NIR8

Dependent variable: Baumé
 Independent variable: %NIR8
 Squared-Y logarithmic-X model: $Y = \sqrt{a + b \cdot \ln(X)}$

Coefficients

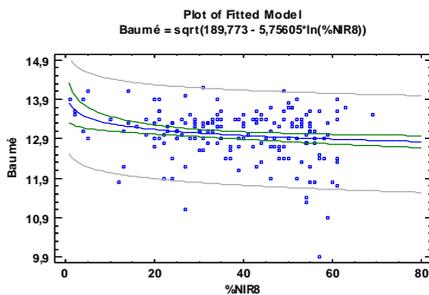
	<i>Least Squares</i>	<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
Intercept	189,773	6,58495	28,8192	0,0000
Slope	-5,75605	1,84241	-3,12421	0,0021

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	2419,29	1	2419,29	9,76	0,0021
Residual	42384,2	171	247,861		
Total (Corr.)	44803,5	172			

Correlation Coefficient = -0,232374
 R-squared = 5,39977 percent
 R-squared (adjusted for d.f.) = 4,84655 percent
 Standard Error of Est. = 15,7436
 Mean absolute error = 11,7372
 Durbin-Watson statistic = 1,99355 (P=0,4832)
 Lag 1 residual autocorrelation = -0,00170468

The equation of the fitted model is $Baumé = \sqrt{189,773 - 5,75605 \cdot \ln(\%NIR8)}$



Simple Regression - Baumé vs. %R12

Dependent variable: Baumé

Independent variable: %R12

Double reciprocal model: $Y = 1/(a + b/X)$

Coefficients

	<i>Least Squares</i>	<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
Intercept	0,0781808	0,000905792	86,312	0,0000
Slope	-0,0449455	0,0351198	-1,27978	0,2024

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	0,0000276537	1	0,0000276537	1,64	0,2024
Residual	0,00288722	171	0,0000168843		
Total (Corr.)	0,00291488	172			

Correlation Coefficient = -0,0974018

R-squared = 0,94871 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 0,369463 percent

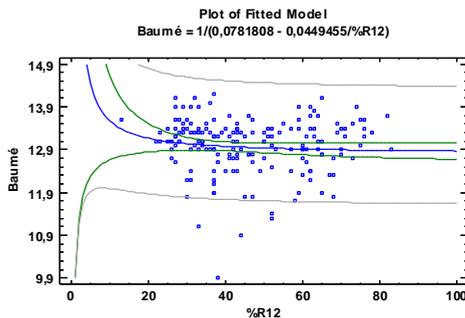
Standard Error of Est. = 0,00410906

Mean absolute error = 0,00285325

Durbin-Watson statistic = 2,04722 (P=0,6214)

Lag 1 residual autocorrelation = -0,0267621

The equation of the fitted model is $Baumé = 1/(0,0781808 - 0,0449455/\%R12)$



Simple Regression - Baumé vs. Alt

Dependent variable: Baumé

Independent variable: Alt

Squared-Y logarithmic-X model: $Y = \sqrt{a + b \cdot \ln(X)}$

Coefficients

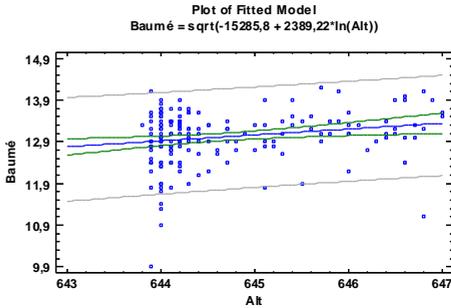
	<i>Least Squares</i>	<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
Intercept	-15285,8	5546,81	-2,75578	0,0065
Slope	2389,22	857,474	2,78634	0,0059

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	1945,82	1	1945,82	7,76	0,0059
Residual	42857,7	171	250,63		
Total (Corr.)	44803,5	172			

Correlation Coefficient = 0,208399
 R-squared = 4,343 percent
 R-squared (adjusted for d.f.) = 3,7836 percent
 Standard Error of Est. = 15,8313
 Mean absolute error = 11,8861
 Durbin-Watson statistic = 1,99306 (P=0,4819)
 Lag 1 residual autocorrelation = -0,00112528

The equation of the fitted model is $Baumé = \sqrt{-15285,8 + 2389,22 \cdot \ln(Alt)}$



Simple Regression - pH vs. %NIR8

Dependent variable: pH
 Independent variable: %NIR8
 Double-squared: $Y = \sqrt{a + b \cdot X^2}$

Coefficients

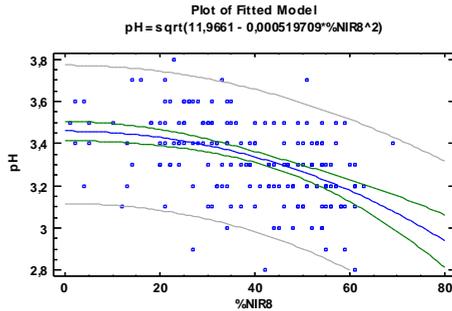
	<i>Least Squares</i>	<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
Intercept	11,9661	0,158035	75,7179	0,0000
Slope	-0,000519709	0,0000770393	-6,74603	0,0000

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	58,3654	1	58,3654	45,51	0,0000
Residual	219,308	171	1,28251		
Total (Corr.)	277,674	172			

Correlation Coefficient = -0,458469
 R-squared = 21,0194 percent
 R-squared (adjusted for d.f.) = 20,5575 percent
 Standard Error of Est. = 1,13248
 Mean absolute error = 0,892351
 Durbin-Watson statistic = 1,32758 (P=0,0000)
 Lag 1 residual autocorrelation = 0,328233

The equation of the fitted model is $pH = \sqrt{11,9661 - 0,000519709 \cdot \%NIR8^2}$



Simple Regression - pH vs. %R12

Dependent variable: pH

Independent variable: %R12

Squared-Y logarithmic-X model: $Y = \sqrt{a + b * \ln(X)}$

Coefficients

	<i>Least Squares</i>	<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
Intercept	16,669	0,975498	17,0877	0,0000
Slope	-1,47991	0,256868	-5,76135	0,0000

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	45,138	1	45,138	33,19	0,0000
Residual	232,536	171	1,35986		
Total (Corr.)	277,674	172			

Correlation Coefficient = -0,403184

R-squared = 16,2558 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 15,766 percent

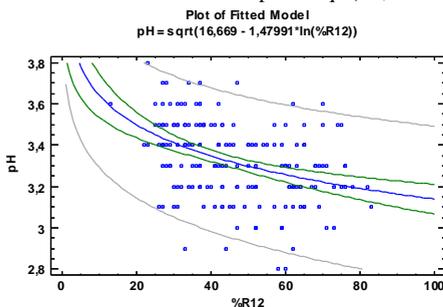
Standard Error of Est. = 1,16613

Mean absolute error = 0,932228

Durbin-Watson statistic = 1,387 (P=0,0000)

Lag 1 residual autocorrelation = 0,294304

The equation of the fitted model is $pH = \sqrt{16,669 - 1,47991 * \ln(\%R12)}$



Simple Regression - pH vs. Rto

Dependent variable: pH

Independent variable: Rto

Reciprocal-Y model: $Y = 1 / (a + b * X)$

Coefficients

	<i>Least Squares</i>	<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
Intercept	0,289574	0,00326402	88,7168	0,0000
Slope	0,00292802	0,000703918	4,15961	0,0001

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	0,00498709	1	0,00498709	17,30	0,0001
Residual	0,0492877	171	0,000288232		
Total (Corr.)	0,0542748	172			

Correlation Coefficient = 0,303127

R-squared = 9,1886 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 8,65754 percent

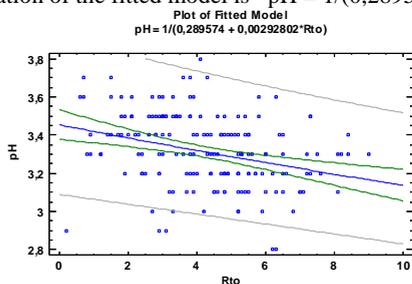
Standard Error of Est. = 0,0169774

Mean absolute error = 0,0134889

Durbin-Watson statistic = 1,25911 (P=0,0000)

Lag 1 residual autocorrelation = 0,363064

The equation of the fitted model is $pH = 1/(0,289574 + 0,00292802 \cdot Rto)$



Simple Regression - pH vs. Alt

Dependent variable: pH

Independent variable: Alt

Squared-Y logarithmic-X model: $Y = \sqrt{a + b \cdot \ln(X)}$

Coefficients

	<i>Least Squares</i>	<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
Intercept	-2692,09	395,737	-6,80274	0,0000
Slope	417,879	61,1764	6,83072	0,0000

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	59,5239	1	59,5239	46,66	0,0000
Residual	218,15	171	1,27573		
Total (Corr.)	277,674	172			

Correlation Coefficient = 0,462997

R-squared = 21,4366 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 20,9772 percent

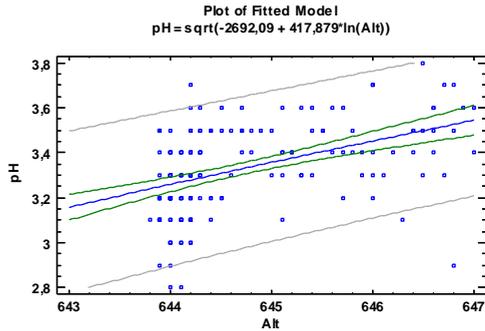
Standard Error of Est. = 1,12948

Mean absolute error = 0,90286

Durbin-Watson statistic = 1,31554 (P=0,0000)

Lag 1 residual autocorrelation = 0,338609

The equation of the fitted model is $pH = \sqrt{-2692,09 + 417,879 \cdot \ln(Alt)}$



Simple Regression - pH vs. Baumé

Dependent variable: pH

Independent variable: Baumé

Logarithmic-Y squared-X: $Y = \exp(a + b \cdot X^2)$

Coefficients

	<i>Least Squares</i>	<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
Intercept	0,935307	0,0424238	22,0468	0,0000
Slope	0,00155461	0,000249105	6,24078	0,0000

NOTE: intercept = $\ln(a)$

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	0,108282	1	0,108282	38,95	0,0000
Residual	0,475415	171	0,00278021		
Total (Corr.)	0,583697	172			

Correlation Coefficient = 0,430709

R-squared = 18,551 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 18,0747 percent

Standard Error of Est. = 0,0527277

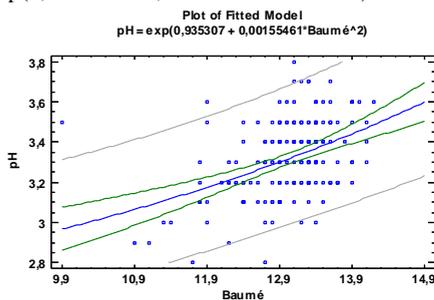
Mean absolute error = 0,0423138

Durbin-Watson statistic = 1,07628 (P=0,0000)

Lag 1 residual autocorrelation = 0,449729

The equation of the fitted model is

$$pH = \exp(0,935307 + 0,00155461 \cdot \text{Baumé}^2)$$



Simple Regression - %NIR8 vs. ResistMed

Dependent variable: %NIR8 Independent variable: ResistMed Linear model: $Y = a + b \cdot X$

Coefficients

	<i>Least Squares</i>	<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
Intercept	59,2095	4,39133	13,4833	0,0000
Slope	-7,39448	1,58019	-4,6795	0,0000

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	4286,19	1	4286,19	21,90	0,0000
Residual	34645,5	177	195,737		
Total (Corr.)	38931,7	178			

Correlation Coefficient = -0,331806

R-squared = 11,0095 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 10,5068 percent

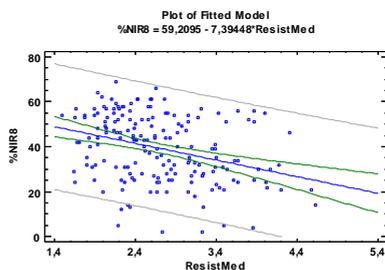
Standard Error of Est. = 13,9906

Mean absolute error = 11,4783

Durbin-Watson statistic = 0,989052 (P=0,0000)

Lag 1 residual autocorrelation = 0,498987

The equation of the fitted model is %NIR8 = 59,2095 - 7,39448*ResistMed



Simple Regression -%R12 vs. ResistMed

Dependent variable:%R12

Independent variable: ResistMed

Squared-Y logarithmic-X model: $Y = \sqrt{a + b \cdot \ln(X)}$

Coefficients

	<i>Least Squares</i>	<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
Intercept	5784,45	494,123	11,7065	0,0000
Slope	-3237,52	497,409	-6,50877	0,0000

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	1,09299E8	1	1,09299E8	42,36	0,0000
Residual	4,56659E8	177	2,58E6		
Total (Corr.)	5,65959E8	178			

Correlation Coefficient = -0,439457

R-squared = 19,3122 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 18,8563 percent

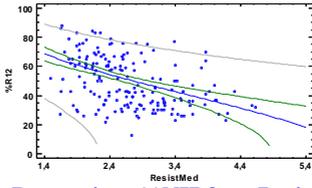
Standard Error of Est. = 1606,24

Mean absolute error = 1286,73

Durbin-Watson statistic = 1,01511 (P=0,0000)

Lag 1 residual autocorrelation = 0,489605

The equation of the fitted model is %R12 = sqrt(5784,45 - 3237,52*ln(ResistMed))



Simple Regression -%NIR8 vs. ResistMAX

Dependent variable:%NIR8 Independent variable: ResistMAX Logarithmic-X model: $Y = a + b \cdot \ln(X)$

Coefficients

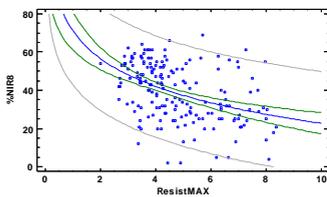
	<i>Least Squares</i>	<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
Intercept	71,0472	5,1256	13,8612	0,0000
Slope	-20,9709	3,31548	-6,32515	0,0000

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	7177,46	1	7177,46	40,01	0,0000
Residual	31754,2	177	179,402		
Total (Corr.)	38931,7	178			

Correlation Coefficient = -0,429372
 R-squared = 18,436 percent
 R-squared (adjusted for d.f.) = 17,9752 percent
 Standard Error of Est. = 13,3941
 Mean absolute error = 10,7296
 Durbin-Watson statistic = 1,1744 (P=0,0000)
 Lag 1 residual autocorrelation = 0,404304

The equation of the fitted model is $\%NIR8 = 71,0472 - 20,9709 \cdot \ln(\text{ResistMAX})$



Simple Regression -%R12 vs. ResistMAX

Dependent variable:%R12 Independent variable: ResistMAX Logarithmic-X model: $Y = a + b \cdot \ln(X)$

Coefficients

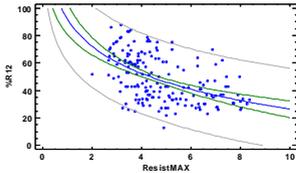
	<i>Least Squares</i>	<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
Intercept	91,8858	5,66323	16,225	0,0000
Slope	-28,4658	3,66323	-7,77067	0,0000

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	13224,6	1	13224,6	60,38	0,0000
Residual	38765,0	177	219,011		
Total (Corr.)	51989,6	178			

Correlation Coefficient = -0,504352
 R-squared = 25,4371 percent
 R-squared (adjusted for d.f.) = 25,0158 percent
 Standard Error of Est. = 14,799
 Mean absolute error = 12,1418
 Durbin-Watson statistic = 1,06855 (P=0,0000)
 Lag 1 residual autocorrelation = 0,460773

The equation of the fitted model is $\%R12 = 91,8858 - 28,4658 \cdot \ln(\text{ResistMAX})$



CELDAS = 6 METROS DE LADO

Simple Regression - Rto vs. %NIR8

Dependent variable: Rto
 Independent variable: %NIR8
 Square root-Y model: $Y = (a + b \cdot X)^2$

Coefficients

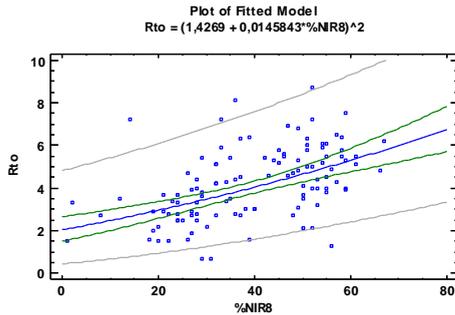
	<i>Least Squares</i>	<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
Intercept	1,4269	0,100931	14,1374	0,0000
Slope	0,0145843	0,00240338	6,06823	0,0000

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	5,13232	1	5,13232	36,82	0,0000
Residual	15,6101	112	0,139376		
Total (Corr.)	20,7425	113			

Correlation Coefficient = 0,497424
 R-squared = 24,743 percent
 R-squared (adjusted for d.f.) = 24,0711 percent
 Standard Error of Est. = 0,373331
 Mean absolute error = 0,286404
 Durbin-Watson statistic = 1,03136 (P=0,0000)
 Lag 1 residual autocorrelation = 0,464103

The equation of the fitted model is $Rto = (1,4269 + 0,0145843 \cdot \%NIR8)^2$



Simple Regression - Rto vs.%R12

Dependent variable: Rto

Independent variable:%R12

Square root-Y logarithmic-X model: $Y = (a + b*\ln(X))^2$

Coefficients

	<i>Least Squares</i>	<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
Intercept	0,161683	0,427569	0,378146	0,7060
Slope	0,490702	0,113606	4,31931	0,0000

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	2,96182	1	2,96182	18,66	0,0000
Residual	17,7806	112	0,158756		
Total (Corr.)	20,7425	113			

Correlation Coefficient = 0,377876

R-squared = 14,279 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 13,5137 percent

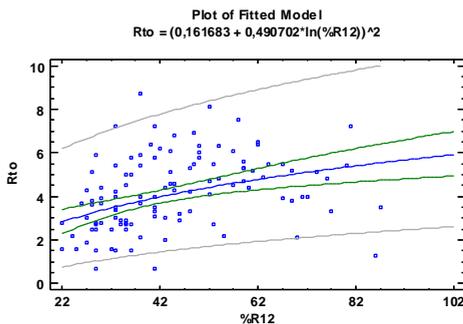
Standard Error of Est. = 0,398442

Mean absolute error = 0,307869

Durbin-Watson statistic = 0,91887 (P=0,0000)

Lag 1 residual autocorrelation = 0,500301

The equation of the fitted model is $Rto = (0,161683 + 0,490702*\ln(%R12))^2$



Simple Regression -%NIR8 vs. Alt

Dependent variable:%NIR8

Independent variable: Alt

Square root-Y logarithmic-X model: $Y = (a + b*\ln(X))^2$

Coefficients

	<i>Least Squares</i>	<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
Intercept	4560,1	397,695	11,4663	0,0000
Slope	-703,995	61,4795	-11,4509	0,0000

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	105,975	1	105,975	131,12	0,0000
Residual	90,5193	112	0,808208		
Total (Corr.)	196,494	113			

Correlation Coefficient = -0,734389

R-squared = 53,9328 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 53,5215 percent

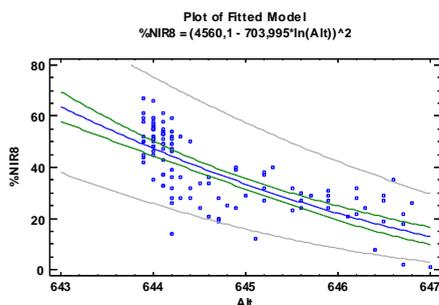
Standard Error of Est. = 0,899004

Mean absolute error = 0,701081

Durbin-Watson statistic = 1,15156 (P=0,0000)

Lag 1 residual autocorrelation = 0,384273

The equation of the fitted model is %NIR8 = (4560,1 - 703,995*ln(Alt))^2



Simple Regression - %R12 vs. Alt

Dependent variable: %R12

Independent variable: Alt

Double reciprocal model: $Y = 1/(a + b/X)$

Coefficients

	<i>Least Squares</i>	<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
Intercept	3,13986	0,45589	6,88731	0,0000
Slope	-2008,21	293,902	-6,83292	0,0000

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	0,00207162	1	0,00207162	46,69	0,0000
Residual	0,00496952	112	0,0000443707		
Total (Corr.)	0,00704113	113			

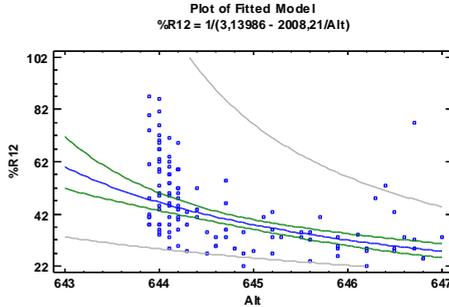
Correlation Coefficient = -0,542417

R-squared = 29,4216 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 28,7915 percent

Standard Error of Est. = 0,00666113
 Mean absolute error = 0,00525942
 Durbin-Watson statistic = 1,08979 (P=0,0000)
 Lag 1 residual autocorrelation = 0,45074

The equation of the fitted model is $\%R12 = 1/(3,13986 - 2008,21/Alt)$



Simple Regression - Rto vs. Alt

Dependent variable: Rto
 Independent variable: Alt
 Square root-Y logarithmic-X model: $Y = (a + b*\ln(X))^2$

Coefficients

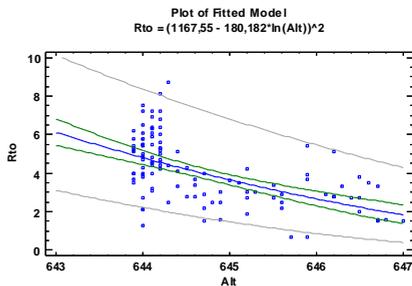
	<i>Least Squares</i>	<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
Intercept	1167,55	155,284	7,51885	0,0000
Slope	-180,182	24,0052	-7,50596	0,0000

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	6,94203	1	6,94203	56,34	0,0000
Residual	13,8004	112	0,123218		
Total (Corr.)	20,7425	113			

Correlation Coefficient = -0,578513
 R-squared = 33,4677 percent
 R-squared (adjusted for d.f.) = 32,8737 percent
 Standard Error of Est. = 0,351024
 Mean absolute error = 0,266983
 Durbin-Watson statistic = 1,03349 (P=0,0000)
 Lag 1 residual autocorrelation = 0,456945

The equation of the fitted model is $Rto = (1167,55 - 180,182*\ln(Alt))^2$



Simple Regression - Baumé vs.%NIR8

Dependent variable: Baumé

Independent variable:%NIR8

Squared-Y logarithmic-X model: $Y = \sqrt{a + b \cdot \ln(X)}$

Coefficients

	<i>Least Squares</i>	<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
Intercept	188,762	8,39238	22,4921	0,0000
Slope	-5,08599	2,32457	-2,18793	0,0308

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	1013,16	1	1013,16	4,79	0,0308
Residual	23704,4	112	211,646		
Total (Corr.)	24717,6	113			

Correlation Coefficient = -0,202458

R-squared = 4,09893 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 3,24267 percent

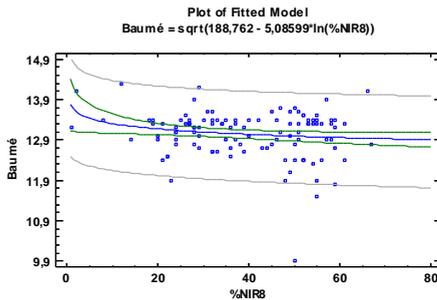
Standard Error of Est. = 14,5481

Mean absolute error = 10,9595

Durbin-Watson statistic = 1,70185 (P=0,0559)

Lag 1 residual autocorrelation = 0,140733

The equation of the fitted model is $\text{Baumé} = \sqrt{188,762 - 5,08599 \cdot \ln(\%NIR8)}$



Simple Regression - Baumé vs.%R12

Dependent variable: Baumé

Independent variable:%R12

Squared-Y reciprocal-X model: $Y = \sqrt{a + b/X}$

Coefficients

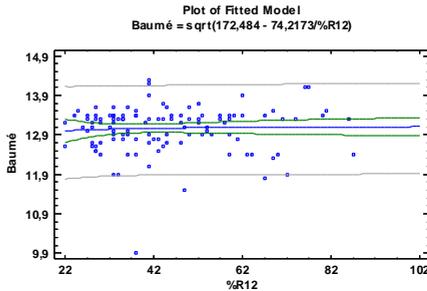
	<i>Least Squares</i>	<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
Intercept	172,484	4,60185	37,4815	0,0000
Slope	-74,2173	176,902	-0,41954	0,6756

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	38,7841	1	38,7841	0,18	0,6756
Residual	24678,8	112	220,346		
Total (Corr.)	24717,6	113			

Correlation Coefficient = **-0,0396117**
 R-squared = **0,156909** percent
 R-squared (adjusted for d.f.) = **-0,734547** percent
 Standard Error of Est. = **14,8441**
 Mean absolute error = **11,0643**
 Durbin-Watson statistic = 1,70997 (P=**0,0610**)
 Lag 1 residual autocorrelation = 0,141908

The equation of the fitted model is $Baumé = \sqrt{172,484 - 74,2173\%R12}$



Simple Regression - Baumé vs. Rto

Dependent variable: Baumé
 Independent variable: Rto
 Reciprocal-Y squared-X: $Y = 1/(a + b \cdot X^2)$

Coefficients

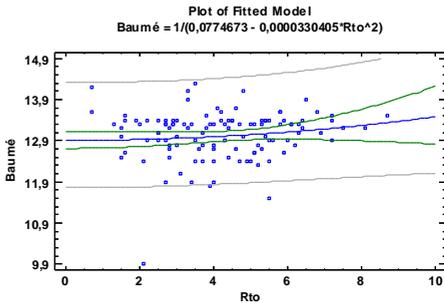
	<i>Least Squares</i>	<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
Intercept	0,0774673	0,000600938	128,911	0,0000
Slope	-0,0000330405	0,0000238954	-1,38271	0,1695

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	0,0000274202	1	0,0000274202	1,91	0,1695
Residual	0,00160629	112	0,0000143419		
Total (Corr.)	0,00163371	113			

Correlation Coefficient = **-0,129553**
 R-squared = **1,6784** percent
 R-squared (adjusted for d.f.) = 0,800528 percent
 Standard Error of Est. = **0,00378707**
 Mean absolute error = **0,00259999**
 Durbin-Watson statistic = 1,8078 (P=**0,1535**)
 Lag 1 residual autocorrelation = 0,0950188

The equation of the fitted model is $Baumé = 1/(0,0774673 - 0,0000330405 \cdot Rto^2)$



Simple Regression - Baumé vs. Alt

Dependent variable: Baumé

Independent variable: Alt

Logarithmic-X model: $Y = a + b \cdot \ln(X)$

Coefficients

	<i>Least Squares</i>	<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
Intercept	-473,292	256,643	-1,84417	0,0678
Slope	75,1833	39,6743	1,89501	0,0607

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	1,20867	1	1,20867	3,59	0,0607
Residual	37,6963	112	0,336574		
Total (Corr.)	38,905	113			

Correlation Coefficient = 0,176259

R-squared = 3,10671 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 2,24159 percent

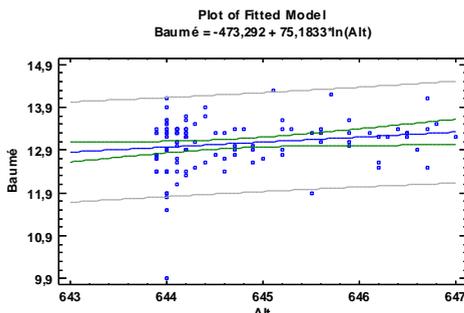
Standard Error of Est. = 0,58015

Mean absolute error = 0,422849

Durbin-Watson statistic = 1,7133 (P=0,0632)

Lag 1 residual autocorrelation = 0,13992

The equation of the fitted model is $Baumé = -473,292 + 75,1833 \cdot \ln(Alt)$



Simple Regression - pH vs. %NIR8

Dependent variable: pH

Independent variable: %NIR8

Double-squared: $Y = \sqrt{a + b \cdot X^2}$

Coefficients

	<i>Least Squares</i>	<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
Intercept	12,2044	0,163454	74,6657	0,0000
Slope	-0,000544773	0,0000784548	-6,94377	0,0000

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	41,6257	1	41,6257	48,22	0,0000
Residual	96,6914	112	0,863316		
Total (Corr.)	138,317	113			

Correlation Coefficient = -0,548583

R-squared = 30,0944 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 29,4702 percent

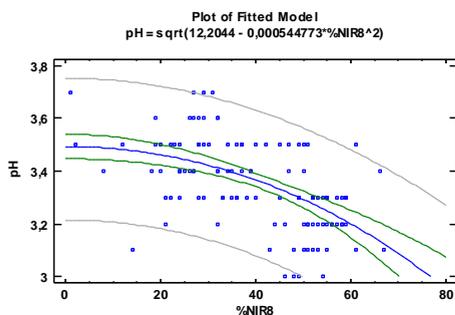
Standard Error of Est. = 0,929148

Mean absolute error = 0,728439

Durbin-Watson statistic = 1,33365 (P=0,0001)

Lag 1 residual autocorrelation = 0,321627

The equation of the fitted model is $pH = \sqrt{12,2044 - 0,000544773 \cdot \%NIR8^2}$



Simple Regression - pH vs. %R12

Dependent variable: pH

Independent variable: %R12

Double reciprocal model: $Y = 1/(a + b/X)$

Coefficients

	<i>Least Squares</i>	<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
Intercept	0,317801	0,00425213	74,7393	0,0000
Slope	-0,745619	0,163458	-4,56154	0,0000

Analysis of Variance

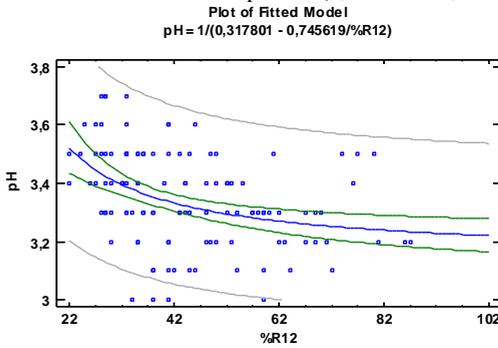
<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	0,0039145	1	0,0039145	20,81	0,0000
Residual	0,0210703	112	0,000188128		
Total (Corr.)	0,0249848	113			

Correlation Coefficient = -0,395822

R-squared = 15,6675 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 14,9145 percent
 Standard Error of Est. = **0,013716**
 Mean absolute error = **0,0108264**
 Durbin-Watson statistic = 0,995395 (P=**0,0000**)
 Lag 1 residual autocorrelation = 0,486988

The equation of the fitted model is $pH = 1/(0,317801 - 0,745619/\%R12)$



Simple Regression - pH vs. Alt

Dependent variable: pH
 Independent variable: Alt
 Squared-Y logarithmic-X model: $Y = \sqrt{a + b \cdot \ln(X)}$

Coefficients

	<i>Least Squares</i>	<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
Intercept	-2880,76	408,658	-7,04932	0,0000
Slope	447,073	63,1742	7,07684	0,0000

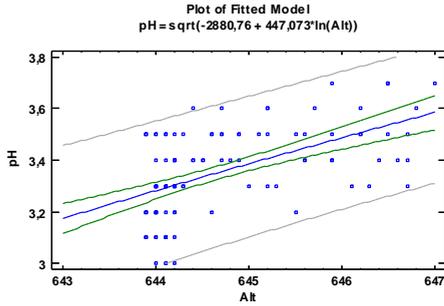
Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	42,7386	1	42,7386	50,08	0,0000
Residual	95,5784	112	0,853379		
Total (Corr.)	138,317	113			

Correlation Coefficient = **0,555869**
 R-squared = **30,899** percent
 R-squared (adjusted for d.f.) = 30,282 percent
 Standard Error of Est. = **0,923785**
 Mean absolute error = **0,739563**
 Durbin-Watson statistic = 1,22631 (P=**0,0000**)
 Lag 1 residual autocorrelation = 0,38312

The equation of the fitted model is $pH = \sqrt{-2880,76 + 447,073 \cdot \ln(\text{Alt})}$

Since the P-value in the ANOVA table is less than 0,05, there is a statistically significant relationship between pH and Alt at the 95,0% confidence level.



Simple Regression - pH vs. Rto

Dependent variable: pH

Independent variable: Rto

Squared-Y reciprocal-X model: $Y = \sqrt{a + b/X}$

Coefficients

	<i>Least Squares</i>	<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
Intercept	10,5824	0,171418	61,7346	0,0000
Slope	2,20158	0,474349	4,64127	0,0000

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	22,3117	1	22,3117	21,54	0,0000
Residual	116,005	112	1,03576		
Total (Corr.)	138,317	113			

Correlation Coefficient = 0,401632

R-squared = 16,1308 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 15,382 percent

Standard Error of Est. = 1,01772

Mean absolute error = 0,805788

Durbin-Watson statistic = 1,11309 (P=0,0000)

Lag 1 residual autocorrelation = 0,431851

The equation of the fitted model is $pH = \sqrt{10,5824 + 2,20158/Rto}$

CELDAS = 8 METROS DE LADO

Simple Regression - Rto vs. %NIR8

Dependent variable: Rto

Independent variable: %NIR8

Double reciprocal model: $Y = 1/(a + b/X)$

Coefficients

	<i>Least Squares</i>	<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
Intercept	0,258977	0,0164168	15,7751	0,0000
Slope	0,664631	0,117858	5,63925	0,0000

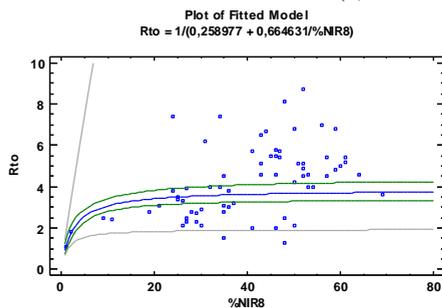
Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	0,508647	1	0,508647	31,80	0,0000

Residual	1,05564	66	0,0159946		
Total (Corr.)	1,56429	67			

Correlation Coefficient = **0,570229**
R-squared = **32,5161** percent
R-squared (adjusted for d.f.) = 31,4937 percent
Standard Error of Est. = **0,12647**
Mean absolute error = **0,0944878**
Durbin-Watson statistic = 1,04063 (P=**0,0000**)
Lag 1 residual autocorrelation = 0,466145

The equation of the fitted model is $R_{to} = 1/(0,258977 + 0,664631/\%NIR8)$



Simple Regression - Rto vs.%R12

Dependent variable: Rto
Independent variable: %R12
Logarithmic-X model: $Y = a + b \cdot \ln(X)$

Coefficients

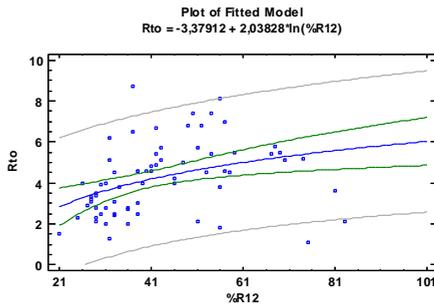
	<i>Least Squares</i>	<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
Intercept	-3,37912	2,2915	-1,47463	0,1451
Slope	2,03828	0,614089	3,31919	0,0015

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	29,1943	1	29,1943	11,02	0,0015
Residual	174,896	66	2,64993		
Total (Corr.)	204,09	67			

Correlation Coefficient = **0,378215**
R-squared = **14,3047** percent
R-squared (adjusted for d.f.) = 13,0062 percent
Standard Error of Est. = **1,62786**
Mean absolute error = **1,2058**
Durbin-Watson statistic = 0,820425 (P=**0,0000**)
Lag 1 residual autocorrelation = 0,524198

The equation of the fitted model is $R_{to} = -3,37912 + 2,03828 \cdot \ln(\%R12)$



Simple Regression -%NIR8 vs. Alt

Dependent variable:%NIR8

Independent variable: Alt

Square root-Y squared-X model: $Y = (a + b \cdot X^2)^2$

Coefficients

	<i>Least Squares</i>	<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
Intercept	382,164	43,607	8,7638	0,0000
Slope	-0,000904794	0,000104934	-8,62251	0,0000

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	69,5331	1	69,5331	74,35	0,0000
Residual	61,7261	66	0,935243		
Total (Corr.)	131,259	67			

Correlation Coefficient = -0,727832

R-squared = 52,9739 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 52,2614 percent

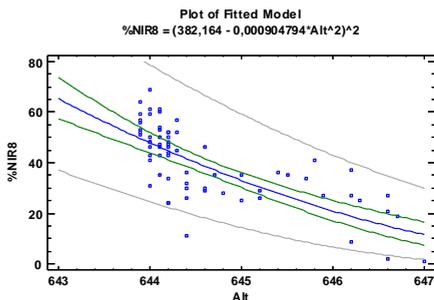
Standard Error of Est. = 0,96708

Mean absolute error = 0,725724

Durbin-Watson statistic = 1,19231 (P=0,0002)

Lag 1 residual autocorrelation = 0,397539

The equation of the fitted model is $\%NIR8 = (382,164 - 0,000904794 \cdot Alt^2)^2$



Simple Regression -%R12 vs. Alt

Dependent variable:%R12

Independent variable: Alt

Double reciprocal model: $Y = 1/(a + b/X)$

Coefficients

	<i>Least Squares</i>	<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
Intercept	2,47181	0,6505	3,79986	0,0003
Slope	-1576,97	419,339	-3,76062	0,0004

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	0,000731916	1	0,000731916	14,14	0,0004
Residual	0,00341575	66	0,0000517538		
Total (Corr.)	0,00414767	67			

Correlation Coefficient = -0,420077

R-squared = 17,6465 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 16,3987 percent

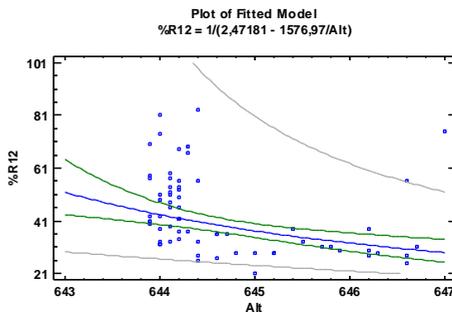
Standard Error of Est. = 0,00719401

Mean absolute error = 0,00557992

Durbin-Watson statistic = 0,772403 (P=0,0000)

Lag 1 residual autocorrelation = 0,61249

The equation of the fitted model is %R12 = 1/(2,47181 - 1576,97/Alt)



Simple Regression - Rto vs. Alt

Dependent variable: Rto

Independent variable: Alt

Multiplicative model: $Y = a \cdot X^b$

Coefficients

	<i>Least Squares</i>	<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
Intercept	1248,3	220,071	5,67224	0,0000
Slope	-192,768	34,0209	-5,66615	0,0000

NOTE: intercept = ln(a)

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	4,55288	1	4,55288	32,11	0,0000
Residual	9,35953	66	0,141811		
Total (Corr.)	13,9124	67			

Correlation Coefficient = -0,572061

R-squared = 32,7253 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 31,706 percent

Standard Error of Est. = 0,376578

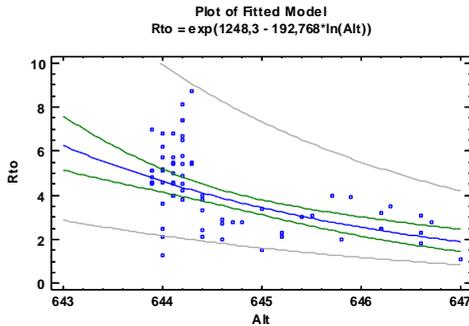
Mean absolute error = 0,279633

Durbin-Watson statistic = 0,946368 (P=0,0000)

Lag 1 residual autocorrelation = 0,494157

The equation of the fitted model is $Rto = \exp(1248,3 - 192,768 \cdot \ln(Alt))$ or

$\ln(Rto) = 1248,3 - 192,768 \cdot \ln(Alt)$



Simple Regression - Baumé vs.%NIR8

Dependent variable: Baumé

Independent variable:%NIR8

Squared-Y logarithmic-X model: $Y = \sqrt{a + b \cdot \ln(X)}$

Coefficients

	<i>Least Squares</i>	<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
Intercept	188,64	7,5838	24,8741	0,0000
Slope	-5,37729	2,09641	-2,565	0,0126

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	909,666	1	909,666	6,58	0,0126
Residual	9125,36	66	138,263		
Total (Corr.)	10035,0	67			

Correlation Coefficient = -0,30108

R-squared = 9,06491 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 7,68711 percent

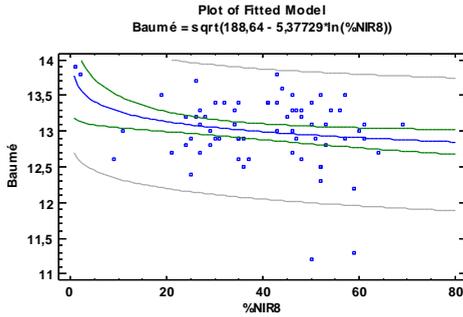
Standard Error of Est. = 11,7585

Mean absolute error = 8,8241

Durbin-Watson statistic = 1,69469 (P=0,0904)

Lag 1 residual autocorrelation = 0,135676

The equation of the fitted model is $Baumé = \sqrt{188,64 - 5,37729 \cdot \ln(\%NIR8)}$



Simple Regression - Baumé vs. %R12

Dependent variable: Baumé

Independent variable: %R12

Reciprocal-Y squared-X: $Y = 1/(a + b \cdot X^2)$

Coefficients

	<i>Least Squares</i>	<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
Intercept	0,0772264	0,000638414	120,966	0,0000
Slope	-1,25377E-7	2,48525E-7	-0,504483	0,6156

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	0,00000234056	1	0,00000234056	0,25	0,6156
Residual	0,000606975	66	0,00000919659		
Total (Corr.)	0,000609315	67			

Correlation Coefficient = -0,0619782

R-squared = 0,38413 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = -1,1252 percent

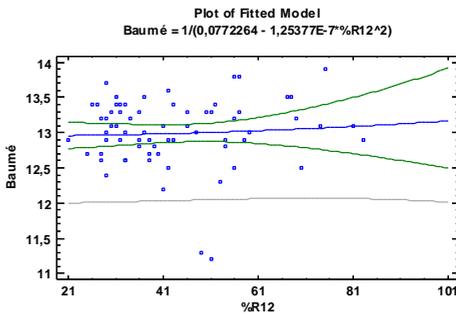
Standard Error of Est. = 0,00303259

Mean absolute error = 0,00209828

Durbin-Watson statistic = 1,76773 (P=0,1507)

Lag 1 residual autocorrelation = 0,101246

The equation of the fitted model is $Baumé = 1/(0,0772264 - 1,25377E-7 \cdot \%R12^2)$



Simple Regression - pH vs. %NIR8

Dependent variable: pH

Independent variable: %NIR8

Reciprocal-Y squared-X: $Y = 1/(a + b \cdot X^2)$

Coefficients

	<i>Least Squares</i>	<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
Intercept	0,284289	0,00279997	101,533	0,0000
Slope	0,0000089562	0,00000132099	6,77991	0,0000

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	0,00666379	1	0,00666379	45,97	0,0000
Residual	0,0095679	66	0,000144968		
Total (Corr.)	0,0162317	67			

Correlation Coefficient = 0,640735

R-squared = 41,0542 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 40,1611 percent

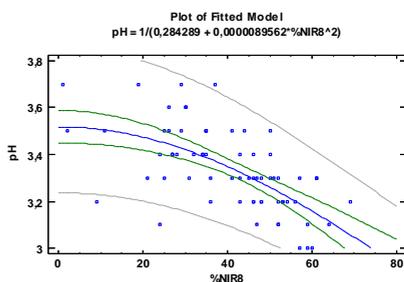
Standard Error of Est. = 0,0120403

Mean absolute error = 0,00930235

Durbin-Watson statistic = 1,37513 (P=0,0031)

Lag 1 residual autocorrelation = 0,295315

The equation of the fitted model is $pH = 1/(0,284289 + 0,0000089562 \cdot \%NIR8^2)$



Simple Regression - pH vs. %R12

Dependent variable: pH

Independent variable: %R12

S-curve model: $Y = \exp(a + b/X)$

Coefficients

	<i>Least Squares</i>	<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
Intercept	1,14027	0,020074	56,8032	0,0000
Slope	2,48396	0,752008	3,3031	0,0015

NOTE: intercept = ln(a)

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	0,0255914	1	0,0255914	10,91	0,0015
Residual	0,154808	66	0,00234558		
Total (Corr.)	0,180399	67			

Correlation Coefficient = -0,376643

R-squared = 14,186 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 12,8857 percent

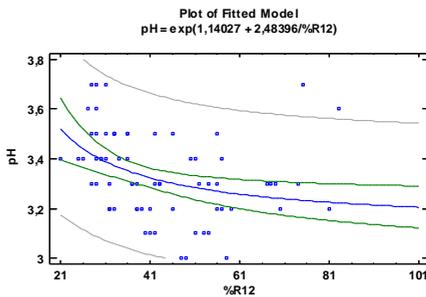
Standard Error of Est. = 0,0484311

Mean absolute error = 0,0380381

Durbin-Watson statistic = 1,19064 (P=0,0002)

Lag 1 residual autocorrelation = 0,379119

The equation of the fitted model is $pH = \exp(1,14027 + 2,48396/\%R12)$



Simple Regression - pH vs. Rto

Dependent variable: pH

Independent variable: Rto

Reciprocal-Y logarithmic-X model: $Y = 1/(a + b \cdot \ln(X))$

Coefficients

Parameter	Least Squares Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
Intercept	0,277611	0,00515243	53,8796	0,0000
Slope	0,0170663	0,00364202	4,68595	0,0000

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	0,00405213	1	0,00405213	21,96	0,0000
Residual	0,0121796	66	0,000184539		
Total (Corr.)	0,0162317	67			

Correlation Coefficient = 0,499643

R-squared = 24,9643 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 23,8274 percent

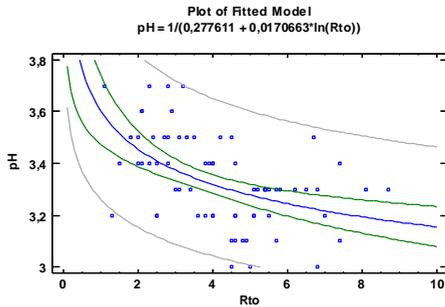
Standard Error of Est. = 0,0135845

Mean absolute error = 0,0110616

Durbin-Watson statistic = 1,16636 (P=0,0001)

Lag 1 residual autocorrelation = 0,385912

The equation of the fitted model is $pH = 1/(0,277611 + 0,0170663*\ln(Rto))$



Simple Regression - pH vs. Alt

Dependent variable: pH

Independent variable: Alt

Squared-Y logarithmic-X model: $Y = \sqrt{a + b*\ln(X)}$

Coefficients

	<i>Least Squares</i>	<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
Intercept	-3121,2	567,158	-5,50322	0,0000
Slope	484,234	87,6774	5,52291	0,0000

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	28,7295	1	28,7295	30,50	0,0000
Residual	62,1637	66	0,941874		
Total (Corr.)	90,8932	67			

Correlation Coefficient = 0,56221

R-squared = 31,608 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 30,5717 percent

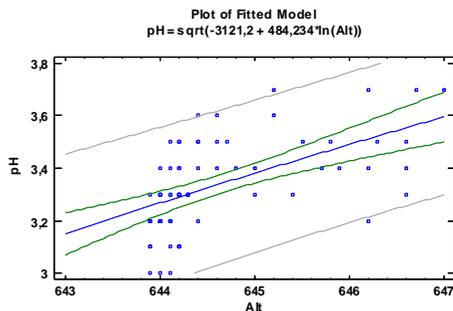
Standard Error of Est. = 0,970502

Mean absolute error = 0,765881

Durbin-Watson statistic = 1,18245 (P=0,0001)

Lag 1 residual autocorrelation = 0,401002

The equation of the fitted model is $pH = \sqrt{-3121,2 + 484,234*\ln(Alt)}$



Simple Regression - pH vs. Baumé

Dependent variable: pH

Independent variable: Baumé

Logarithmic-Y squared-X: $Y = \exp(a + b \cdot X^2)$

Coefficients

	<i>Least Squares</i>	<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
Intercept	0,924008	0,0817175	11,3074	0,0000
Slope	0,00164961	0,000480778	3,43112	0,0010

NOTE: intercept = ln(a)

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	0,0273074	1	0,0273074	11,77	0,0010
Residual	0,153092	66	0,00231957		
Total (Corr.)	0,180399	67			

Correlation Coefficient = 0,389066

R-squared = 15,1372 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 13,8514 percent

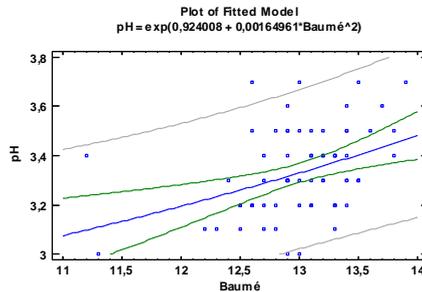
Standard Error of Est. = 0,048162

Mean absolute error = 0,038214

Durbin-Watson statistic = 0,868925 (P=0,0000)

Lag 1 residual autocorrelation = 0,539582

The equation of the fitted model is $pH = \exp(0,924008 + 0,00164961 \cdot \text{Baumé}^2)$



CELDAS = 5 METROS DE LADO (pruebas del año 2011 en Requena)

Simple Regression – Rto(kg/celda) vs. Vegetation

R-squared = 39.90 percent

$Rto(kg/celda) = 0.465172 + 0.065528 \cdot \text{Veg}$

Significative for a 99% level of confidence.

The model explains 39.9% of the variability in field.

REGRESIONES MÚLTIPLES
CELDAS = 8 METROS DE LADO

Multiple Regression - Rto

Dependent variable: Rto Independent variables: %NIR8 Alt

		<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
CONSTANT	530,819	189,866	2,79575	0,0068
%NIR8	0,0232149	0,0173254	1,33994	0,1849
Alt	-0,818355	0,293758	-2,78582	0,0070

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	65,6704	2	32,8352	15,42	0,0000
Residual	138,419	65	2,12953		
Total (Corr.)	204,09	67			

R-squared = 32,1772 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 30,0904 percent

Standard Error of Est. = 1,45929

Mean absolute error = 1,06354

Durbin-Watson statistic = 1,0727 (P=0,0000)

Lag 1 residual autocorrelation = 0,405419

Rto = 530,819 + 0,0232149*%NIR8 - 0,818355*Alt

Correlation matrix for coefficient estimates

	CONSTANT	%NIR8	Alt
CONSTANT	1,0000	-0,7202	-1,0000
%NIR8	-0,7202	1,0000	0,7185
Alt	-1,0000	0,7185	1,0000

Multiple Regression - Rto

Dependent variable: Rto Independent variables: %R12 Alt

		<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
CONSTANT	654,363	139,179	4,70161	0,0000
%R12	0,0169308	0,0127299	1,33001	0,1882
Alt	-1,00971	0,215625	-4,68269	0,0000

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	65,6155	2	32,8077	15,40	0,0000
Residual	138,474	65	2,13037		
Total (Corr.)	204,09	67			

R-squared = 32,1503 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 30,0626 percent

Standard Error of Est. = 1,45958

Mean absolute error = 1,08678

Durbin-Watson statistic = 0,990355 (P=0,0000)

Lag 1 residual autocorrelation = 0,436317

The equation of the fitted model is Rto = 654,363 + 0,0169308*%R12 - 1,00971*Alt

CELDAS = 6 METROS DE LADO

Multiple Regression - Rto

Dependent variable: Rto Independent variables: %NIR8 Alt

		<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
CONSTANT	541,309	138,388	3,91153	0,0002
%NIR8	0,0192201	0,0130023	1,4782	0,1422
Alt	-0,834336	0,214079	-3,89732	0,0002

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	105,309	2	52,6544	27,86	0,0000
Residual	209,774	111	1,88986		
Total (Corr.)	315,083	113			

R-squared = 33,4226 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 32,223 percent

Standard Error of Est. = 1,37472

Mean absolute error = 1,04251

Durbin-Watson statistic = 0,940202 (P=0,0000)

Lag 1 residual autocorrelation = 0,492637

The equation of the fitted model is

$$Rto = 541,309 + 0,0192201*\%NIR8 - 0,834336*Alt$$

Multiple Regression - Rto

Dependent variable: Rto Independent variables: %R12 Alt

		<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
CONSTANT	653,649	107,709	6,06865	0,0000
%R12	0,00709139	0,00963216	0,73622	0,4631
Alt	-1,00791	0,166755	-6,04428	0,0000

Analysis of Variance

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Model	102,219	2	51,1093	26,65	0,0000
Residual	212,864	111	1,9177		
Total (Corr.)	315,083	113			

R-squared = 32,4418 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 31,2246 percent

Standard Error of Est. = 1,38481

Mean absolute error = 1,05368

Durbin-Watson statistic = 0,936665 (P=0,0000)

Lag 1 residual autocorrelation = 0,490479

The equation of the fitted model is

$$Rto = 653,649 + 0,00709139*\%R12 - 1,00791*Alt$$

CELDAS = 4 METROS DE LADO

Multiple Regression - Rto

Dependent variable: Rto Independent variables: %NIR8 Alt

		<i>Standard</i>	<i>T</i>	
<i>Parameter</i>	<i>Estimate</i>	<i>Error</i>	<i>Statistic</i>	<i>P-Value</i>
CONSTANT	736,283	126,973	5,79872	0,0000

%NIR8	0,0060324	0,0116255	0,518892	0,6045
Alt	-1,13582	0,196412	-5,78285	0,0000

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	210,005	2	105,002	48,02	0,0000
Residual	371,694	170	2,18643		
Total (Corr.)	581,699	172			

R-squared = 36,102 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 35,3502 percent

Standard Error of Est. = 1,47866

Mean absolute error = 1,16509

Durbin-Watson statistic = 1,27598 (P=0,0000)

Lag 1 residual autocorrelation = 0,337942

The equation of the fitted model is $Rto = 736,283 + 0,0060324 * \%NIR8 - 1,13582 * Alt$

Multiple Regression - Rto

Dependent variable: Rto Independent variables: %R12 Alt

		Standard	T	
Parameter	Estimate	Error	Statistic	P-Value
CONSTANT	628,059	98,2466	6,39267	0,0000
%R12	0,0239007	0,00887303	2,69363	0,0578
Alt	-0,969313	0,152008	-6,37674	0,0000

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	224,655	2	112,327	53,48	0,0000
Residual	357,044	170	2,10026		
Total (Corr.)	581,699	172			

R-squared = 38,6205 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 37,8984 percent

Standard Error of Est. = 1,44923

Mean absolute error = 1,13588

Durbin-Watson statistic = 1,23982 (P=0,0000)

Lag 1 residual autocorrelation = 0,35152

The equation of the fitted model is $Rto = 628,059 + 0,0239007 * \%R12 - 0,969313 * Alt$