



BOLETÍN DIGITAL INIA N° 253

OLIVICULTURA DE PRECISIÓN

NUEVAS TECNOLOGÍAS APLICADAS A LA OLIVICULTURA





OLIVICULTURA DE PRECISIÓN

**Centro Regional de Investigación Quilmapu
Chillán, Chile, 2012**

**BOLETÍN DIGITAL Nº 253,
OLIVICULTURA DE PRECISIÓN
Nuevas Tecnologías Aplicadas a la Olivicultura**

AUTORES:

Stanley Best S.
Lorenzo León G.
Rodrigo Quintana L.
Fabiola Flores P.
Hernán Aguilera C.
Valeska Concha C.
Pablo Thomas

Revisión de contenidos:

Stanley Best S.
Lorenzo León G.
Fabiola Flores P.
Valeska Concha C.

DIRECTOR REGIONAL INIA

Rodrigo Avilés R.

Permitida su reproducción total o parcial con la obligación de citar la fuente y el autor.

Cita bibliográfica correcta:

Best, S., León, L., Quintana, R., Flores, F., Aguilera, H., Concha, V., Thomas, P. 2012. Olivicultura de Precisión, nuevas tecnologías aplicadas a la Olivicultura. Boletín Digital INIA Nº 253, 100p. Progap-INIA, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Chillán, Chile.
ISSN: 0717-4829

Diseño y diagramación:

Hernán Aguilera Cares

Impresión:

Impresos Valverde Hnos y Cia. Ltda.



TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	5
¿QUÉ ES EL PROGAP INIA?	6
AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN LOS OLIVOS	
Nuevas tecnologías asociadas a la olivicultura	7
EVALUACIÓN ESPACIAL DE CARACTERÍSTICAS VEGETATIVAS DE HUERTOS OLIVÍCOLAS	
Evaluación de la Variabilidad Espacial , Teledetección y como es su manejo	8
MANEJO DEL AGUA EN HUERTOS OLIVICOLAS	
Evaluación del estado hídrico de los huerto mediante sensores remotos	33
EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO	
Evaluación del conteo de frutos basado en la variabilidad espacial	67
Estimación de las características físicas del fruto mediante visión artificial	73
Prototipo de monitor de rendimiento y generación de mapas de rendimiento	93
EVALUACIÓN ESPACIAL DE CALIDAD DE ACEITE CON SISTEMA NO TRADICIONAL DE EVALUACIÓN	
Tecnologías de detección de porcentaje de aceite en los frutos	109
PLATAFORMA DE GESTIÓN PRODUCTIVA DE HUERTOS OLIVICOLAS	
Tecnologías de control y gestión de la información del huerto	130
EVALUACIÓN ECONÓMICA	
Impacto económico de la integración de la tecnología a los huertos	156

INTRODUCCIÓN

Es claro que las necesidades de incremento de calidad y aún más de estabilidad de la calidad de los productos hortofrutícolas es altamente necesaria para mejorar la competitividad del sector. En este sentido, se ha realizado un gran desarrollo a nivel de la industria, con la generación de modernos sistemas de selección de calidad en la línea de proceso, con un gran desarrollo en el uso de sistemas de control de calidad (ISO9001, HACCP) como también en el uso de modernos equipos de evaluación en la industria. Por otra parte, si bien los avances tecnológicos en Postcosecha y Packing han sufrido grandes avances en la capacidad de realizar una adecuada selección en la industria, finalmente la calidad se produce en terreno, produciendo grandes costos y también mermas de calidad debido a la gran heterogeneidad existente en terreno, producto de la variabilidad en sus condiciones edafoclimáticas. La desconexión de estas dos formas (origen y destino) es donde se debe avanzar en investigación, siendo el principal problema en terreno (origen), sobre el cual los procesos de evaluación actuales son caros y deben atacar grandes extensiones por lo que se produce una brecha y deformación de mercado. Dicho problema, se produce ya que las áreas productivas se encuentran dentro de variaciones de topografía, textura y profundidad de suelos, drenaje y fertilidad entre muchas otras, las cuales integradas producen los problemas de desarrollo de las plantas y este finalmente de la producción. Es bien sabido que la variabilidad de los factores de suelos induce una variabilidad de los rendimientos y calidad. Con el manejo estandarizado u homogéneo del huerto, hace que estas variabilidades naturales del suelo se manifiesten en las diferencias de vigor, calidad y rendimiento de los huertos.

Sobre esta problemática, se ha gestado una línea de desarrollo e investigación en las que se han enfocado dichos esfuerzos en los últimos años, enfocándose a la identificación de zonas de calidad de diferencial fruta para cosecha diferenciada, siendo el sector vitivinícola el que ha liderado este proceso. En el caso del sector vitivinícola, el concepto de zonas diferenciales de cosecha como una opción a los métodos convencionales de discriminación de terroir vitícola, se ha presentado como una alternativa viable en países competidores en los mercados del vino como Australia y Francia, por lo que existe la necesidad de incorporar protocolos más eficientes de discriminación de zonas productoras de distinta calidad de uva, lo cual cuanto implicaría que la empresa mantenga un alto estándar de competitividad.

Al respecto, las empresas en conjunto con el sector de I+D han tratado de identificar variaciones espacio-temporal con metodologías muy complejas y de alto costo. Entre estas tecnologías podemos hablar de los sistemas no destructivos como los son los basados en Espectrografía (VIS-NIR) y Fluorescencia las cuales si bien se han obtenidos buenos resultados, por lo engorroso y el tiempo de captura que implica el obtenerlos, agregando que no se ha podido establecer un criterio estándar que sea aplicable para su utilización de campo y requiere de personal especializado para el análisis e interpretación, estas finalmente no han tenido la penetración que se esperaba.

Por otra parte, el sector agrícola tradicional, basados en los avances computacionales y en instrumentación electrónica, se han desarrollado nuevas tecnologías en la agricultura, las cuales son aplicadas normalmente en países desarrollados (nuestros competidores), con altos niveles de penetración, encontrándose que el eje principal de la penetración ha sido el logro de la automatización de procesos en el uso e interpretación del equipamiento asociado a la maquinarias agrícolas inteligentes, factor que no ha sido logrado en el sector hortofrutícola de terreno debido a la mayor complejidad de los cultivos (sistemas perennes de producción) y por otra parte el sector de los commodities y mecanización agrícola asociada es por mucho mayor en nivel de negocio a nivel mundial que el sector hortofrutícola (mayor interés de investigación por empresas y gobiernos).

Así, basados en la experiencia que ha tenido el PROGAP INIA y sus colaboradores internacionales, en el trabajo directo con empresas, hemos llegado a la conclusión que la posibilidad más viable de introducción tecnológica debe cumplir con dos factores primordiales que son el desarrollo de un sistema de bajo costo y segundo que su utilización tiene que ser altamente amigable, debido bajo nivel de conocimiento tecnológico en estas materias de los usuarios, lo hace que el beneficio del uso de estas tecnologías simplemente no se vea y mantiene al sector agrícola de terreno muy por detrás de los avances tecnológicos que han estado siendo desarrollados e incorporados en otras áreas del conocimiento y utilizados en la parte industrial.

Por lo tanto, es claro que afrontar este reto requiere de soluciones altamente innovadoras debido a la necesidad de automatización de los procesos tanto de captura, análisis e interpretación de la información de campo en cuestión, en el formato y costo que se requiere para el sector.

¿QUÉ ES EL PROGAP INIA?

Producto de la creciente competitividad de los mercados nacionales e internacionales, la necesidad de poder orientar y enfocar los esfuerzos en el estudio y difusión de la Agricultura de Precisión (AP), el Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA, a través de su Centro Regional de Investigación Quilamapu, Chillán, como respuesta a las necesidades tecnológicas en la agricultura actual, crea el Programa de Agricultura de Precisión, Progap INIA en el año 2002.

El Programa enfatiza el uso de información y de las emergentes tecnologías para sintetizar y entregar herramientas de decisión para mejorar la rentabilidad del agricultor usuario. Estas actividades a menudo dependen de la interacción de distintos sistemas: sensores, Tecnologías de la Información y comunicación (TIC's), procesamiento de imágenes, análisis y modelos matemáticos estadísticos y ingeniería mecánica. La introducción de tecnologías de precisión dentro de las operaciones normales involucran costos adicionales, el resultado se expresa en la disminución de los costos de operación, aumento de la eficiencia, mejora la calidad de los productos, y reducir el impacto medioambiental negativo. Utilizando eficientemente la tecnología de la información se pueden obtener ventajas competitivas, pero es preciso encontrar procedimientos acertados para mantener tales ventajas.

El sistema de información tiene que modificarse y actualizarse con regularidad si se desea percibir ventajas competitivas continuas. El uso creativo de la tecnología de la información puede proporcionar a los administradores una nueva herramienta para diferenciar sus recursos humanos, productos y/o servicios respecto de sus competidores.

En resumen, Progap INIA promueve las mejoras de los procesos productivos a través del uso de tecnologías emergentes, en una visión de reducción de la brecha tecnológica para cumplir con las exigencias internacionales y posicionar a las empresas a un nivel de competitividad igual o superior que los países desarrollados, aumentando el horizonte de competencia de la



AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN LOS OLIVOS

Las condiciones actuales de manejo de los huertos de olivo en Chile necesitan ser optimizadas en orden a obtener un mayor retorno y sustentabilidad a nivel de mercado. A través de la Olivicultura de Precisión, se pretende desarrollar un sistema oportuno e integral de monitoreo y evaluación de huertos olivícolas, utilizando diferentes herramientas tales como:

- Variabilidad Edáfica mediante escaneos de suelo (EM38) y de cultivo (cropcircle e imágenes aéreas multiespectrales) durante la estación, las que suman a la determinación del rendimiento (Monitor de rendimiento), contenido graso y tamaño de fruta hacia fin de temporada (Sistemas No Destructivos).
- Técnicas de sensoramiento (termografía en el infrarrojo lejano), lo cual está asociado al desarrollo de coeficientes de estrés hídrico.
- Técnicas estimación de rendimiento y medición digital (visión artificial) de crecimiento de frutos.
- Evaluar económicamente la relación costo/beneficio, o del impacto económico potencial del uso de esta tecnología, en la olivicultura nacional.

Todas las técnicas se están aplicando bajo el concepto de agricultura de precisión en base a una analítica espacial (variación entre cuarteles) y temporal (variaciones entre estaciones de crecimiento) con el fin de detectar anomalías presentes en el cultivo y poder corregirlas, permitiendo mejorar la producción y calidad de la aceitunas destinadas a la elaboración de aceite de oliva para exportación. Por otra parte, y no menor, se aprecia la carencia en la interpretación y fácil manejo de la información que se desarrolla mediante el uso de estas técnicas, lo que hace altamente necesario el desarrollo de una plataforma de gestión espacial que permita manejar la información espacio-temporal del cultivo en un formato amigable a nivel de usuario. Dicha plataforma proporcionará a los olivicultores de información oportuna y entendible para gestionar las decisiones de manejo de los huertos.



EVALUACIÓN ESPACIAL DE CARACTERÍSTICAS VEGETATIVAS DE HUERTOS OLIVÍCOLAS

Stanley Best S. Phd

EVALUACIÓN ESPACIAL DE CARACTERÍSTICAS VEGETATIVAS DE HUERTOS OLIVÍCOLAS

Percepción Remota proviene del inglés, Remote Sensing (Teledetección llamado también en castellano). Ideado a principios de los sesenta como concepto para designar cualquier medio de observación remota (Chuvieco, 2002). La teledetección consiste en el set de todo el conocimiento y técnicas que permiten obtener cualquier información de un objeto, una escena, o fenómeno, a través del análisis de mediciones remotas con sensores. Una definición adecuada para el término sensoramiento remoto o teledetección es el siguiente: “la ciencia de adquirir información relativa a la superficie de la tierra sin necesidad de estar en contacto con ella. Prioritariamente, se le atribuía este nombre a la fotografía aérea y a la videografía. Hoy en día el término es un concepto amplio y está asociado a la detección de una superficie u objeto sin estar en contacto físico con ella, acción similar a la que realiza el ojo humano. Por tanto Percepción remota se entiende como la adquisición de imágenes aéreas o satelitales de la superficie terrestre desde sensores instalados sobre plataformas espaciales y su posterior tratamiento, manipulación y análisis por parte de los usuarios finales (Chuvieco, 2002). En agricultura las imágenes obtenidas a través de la teledetección utilizan la interacción entre la radiación electromagnética y la superficie de las plantas en los espectros UV, visible, infrarrojo y termal. Así se provee de una información cuantitativa de la luz reflejada por esas superficies.

La teledetección ha proporcionado información valiosa sobre manejo agronómico en los últimos 40 años. Las contribuciones individuales a los métodos de teledetección han llevado a la comprensión de cómo los cambios en la reflectancia y emitancia de la hoja como respuesta a distintos factores como: el espesor de la hoja, distintas especies vegetativas, forma de la canopia, edad de la hoja, el estado nutricional y el contenido de agua en la planta. La clorofila de las hojas y la absorción preferencial en distintas longitudes de onda proporciona la base para la utilización de la reflectancia ya sea con radiómetros de banda ancha típica de las plataformas satélites actuales o sensores hiperespectrales que miden la reflectancia en bandas de frecuencia estrecha. El entendimiento de la reflectancia de la hoja ha llevado a diversos índices de vegetación de cubiertas vegetales para cuantificar los diferentes parámetros agronómicos, por ejemplo, el área foliar, cobertura del cultivo, biomasa, tipo de cultivo, estado nutricional y el rendimiento. Emitancia de la canopia es una medición de la temperatura de la hoja y los termómetros infrarrojos han fomentado en la actualidad los índices utilizados para cuantificar el nivel de estrés hídrico de los cultivos. Estas herramientas se están desarrollando a medida que aprendemos a usar la información proporcionada por la reflectancia y emitancia con una gama de sensores. La teledetección sigue evolucionando como una herramienta agronómica valiosa que proporciona información a los científicos, consultores, y los productores sobre el estado de sus cultivos. Esta área es todavía relativamente nueva en comparación con otros campos de la agronomía, sin embargo, la información contenida proporciona valiosos puntos de vista en las decisiones de mejora del manejo (Best et al, 2009).

Un sistema de sensoramiento remoto está constituido por los siguientes elementos:

- 1.- Fuente de energía, la cual es el origen de la radiación electromagnética que detectará el sensor.
- 2.- Cubierta terrestre, la cual está constituida por distintas especies vegetales, distintos tipos de suelos, agua, construcciones, etc.
- 3.- Sistema sensor, el cual es el encargado de captar la energía procedente de las distintas cubiertas.
- 4.- Sistema de recepción comercialización.
- 5.- Interpretación de los resultados obtenidos con el fin de evaluar los problemas en el estudio
- 6.- Usuario final, el cual analizará el documento fruto de la interpretación y tomará distintas decisiones de manejo

Aplicaciones concretas en este medio están siendo cada vez más recurrentes. Un claro ejemplo de ello son los numerosos estudios realizados sobre el comportamiento de la vegetación en todo el mundo (Chuvieco, 2002; Rogan et. al., 2001; García, 2005; Luneta, et al., 2004; Fody y Boyd, 2005; Pena-Yewtukhiw et al, 2008). Particularmente, el método presenta un gran número de ventajas con respecto a estas materias. Mediante la utilización de imágenes obtenidas con sensores destinados especialmente para el estudio de los recursos naturales (Landsat, spot, IKONOS, entre otros) es posible, entre otras acciones: reconocer y discriminar áreas con cubiertas vegetales (Prados, 1995; Hoffhine y Sader, 2002), midiendo tanto cuantitativamente la biomasa vegetal (Foody y Boyd, 2005; Liu et. al., 2005), medir indirectamente el vigor de una superficie con vegetación (Prins y Kikula, 1996; Rogan et. al., 2001; García, 2005).

El desarrollo de sensores para medir la reflectancia o emitancia espectral ha creado oportunidades para describir cualitativamente parámetros agronómicos y durante los últimos 100 años la aplicación de la teledetección a los problemas agronómicos a creando nuevos métodos para mejorar el manejo de los cultivos. El refinamiento de los instrumentos y el desarrollo de las relaciones entre reflectancia y las respuestas de las plantas han aumentado nuestra capacidad para cuantificar los parámetros agronómicos. Los principios básicos de reflectancia de la hoja y la planta han sido incorporados en los índices vegetacionales relacionando combinaciones específicas de longitudes de onda con las características de diversas plantas. La emitancia de la hoja está relacionada con la temperatura de la misma, la cual ha sido ampliamente utilizada para cuantificar el nivel de estrés hídrico y mejorar el manejo del agua en el cultivo. Los avances en la aplicación de los principios de sensoramiento remoto a la agronomía fueron posibles gracias a la comprensión de las respuestas espectrales de las hojas individuales y luego la aplicación de dicha conocimiento a las canopías. A pesar de que tendemos a usar los índices vegetacionales (IV) como herramientas comunes para la evaluación de los cultivos hoy en día, es fundamental primero desarrollar una comprensión de los procesos que se producen en el nivel de hoja y la información que se obtiene del análisis de estos procesos.

Espectro Electromagnético

Podemos definir totalmente cualquier tipo de energía dando su longitud de onda (o frecuencia). El espectro electromagnético es la sucesión continua de esos valores de frecuencia, aunque conceptualmente se divide en bandas, en las que la radiación electromagnética manifiesta un comportamiento similar.

Desde el punto de vista de la teledetección conviene destacar las siguientes bandas espectrales:

Espectro visible (0.4 – 0.7 μm): Su nombre se debe a que es la única radiación electromagnética que es capaz de ser detectada por el ojo humano, coincidiendo con las longitudes de onda en donde es máxima la radiación solar. Dentro de espectro se distinguen tres bandas espectrales; azul (0.4 – 0.5 μm); verde (0.5 – 0.6 μm) y rojo (0.6 – 0.7 μm).

- Infrarrojo Cercano: (IRC 0.7 – 1.3 μm), también denominado infrarrojo próximo, reflejado o fotográfico. Este espectro resulta.
- Infrarrojo Medio: (1.3 – 8 μm), en esta región se entremezclan los procesos de reflexión de la luz solar y de emisión de la superficie terrestre. La primera banda se sitúa entre 1.3 – 2.5 μm y se denomina infrarrojo de onda corta, la cual resulta idónea para estudiar el contenido de humedad en la vegetación o el suelo. La segunda, comprendida en torno a los 3.7 μm, se conoce propiamente como infrarrojo medio (IRM), el cual se usa principalmente en detección de focos de alta temperatura.
- Infrarrojo lejano o térmico (IRT 8 – 14 μm). En este espectro se detecta la mayor parte de las cubiertas terrestres.
- Micro ondas (M, por encima de 1 mm). Tipo de energía bastante transparente a la cubierta nubosa.

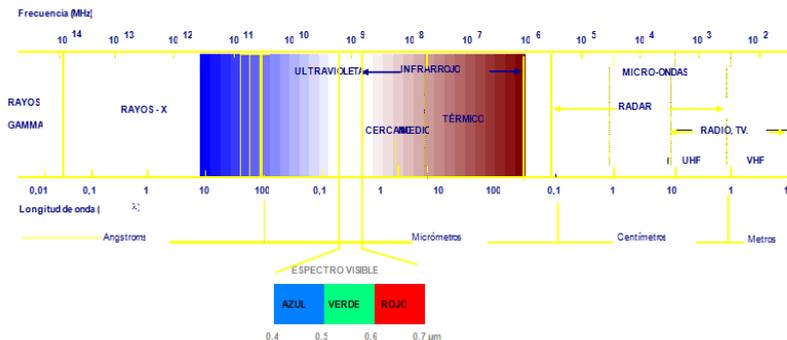


Figura 1. Espectro electromagnético

Las características espectrales de las masas vegetales constituyen una de las tareas más interesantes en teledetección. Pese a su gran importancia, aún ofrece notables dificultades como consecuencia de los múltiples factores que influyen en la radiación final detectada por el sensor (por mencionar algunas: ángulo de iluminación solar, orientación de las laderas, pendiente, atmosfera) especialmente en lo que se relaciona a la absorción por nubes y la dispersión selectiva en distintas longitudes de onda, estado fenológico, homogeneidad de la cubierta vegetal, asociación con otras especies vegetales presentes en el mismo sector, sustrato edáfico (Chuvieco, 2002). Podemos dividir estos factores en los siguientes grandes grupos:

- Los relacionados con la reflectividad de las hojas. Los factores más destacados son la presencia de pigmentos, la estructura celular y el contenido de humedad.
- Las características geométricas de las plantas, principalmente su área foliar, forma de las hojas, su distribución en la planta, la geometría del dosel o canopia, la importancia del componente leñoso, etc.
- Los aspectos derivados de la situación geográfica de la planta: orientación, asociación con otras especies, reflectividad del sustrato, geometría de la planta, condiciones atmosféricas, etc.

En lo que se refiere a la reflectividad de la hoja, podemos afirmar que presenta una baja reflectividad en el espectro del visible, debido a la absorción que ejercen los pigmentos de la hoja absorben radiación en torno a los 0.445 μm , mientras que la clorofila presenta una segunda banda de absorción en torno a los 0.645 μm . Entre ambas porciones del espectro aparece una banda intermedia, alrededor de los 0.55 μm , en donde el efecto absorbente es menor. Por esta causa aparece un pico relativo de reflectividad que coincide con la banda verde del espectro del visible y causan el color con el que vemos la vegetación. El contenido de agua de la hoja gobierna las propiedades reflectivas más allá de 1000 nm, pero no tiene prácticamente ningún efecto sobre las propiedades espectrales en las regiones del VIS y del NIR. Las variaciones de la densidad del tejido foliar afecta la reflectancia del dosel mediante el aumento o la disminución de la dispersión múltiple intercelulares de los rayos NIR. Sin embargo, para las aplicaciones prácticas de la teleobservación, este efecto se puede suponer que es insignificante, debido a la variación dentro de los cultivos de hoja de contenido de materia seca es muy estable.

Por otro lado, la agricultura probablemente ha generado una mayor demanda en el desarrollo de la tecnología de sensores remotos multispectrales que cualquier otra área de la ciencia. Esto se debe principalmente a la variedad de problemas que se presentan en la agricultura tales como: deficiencias nutricionales e hídricas, plagas y enfermedades, malezas, variabilidad de los suelos, variaciones en los ciclos de crecimiento, clima y geografía, etc., y a la complejidad del manejo de éstos.

La medición de diferentes variables de la canopia del cultivo durante la estación de crecimiento proporciona una oportunidad para mejorar los rendimientos y la calidades de los cultivos, mediante la aplicación sitio-específica de insumos (Hansen and Schjoerring, 2003). En materiales biológicos, la luz reflejada varía ampliamente entre las diferentes plantas según su arquitectura y estado fenológico. Así, la interacción entre la radiación electromagnética y la vegetación terrestre es compleja, con numerosas variables que afectan la forma e intensidad de la reflectividad y/o absorción (Tucker et al., 1981; Justice et al., 1985; Gitelson and Merzliak, 1996). Las Técnicas de sensoramiento remoto que determinan las razones de reflectancia de la canopia (índices de vegetación) puede ser útil en la determinación de anomalías en los cultivos útiles para manejo (Best et al, 2009)

Para los fines de caracterización de cultivo, el caso de la radiación de color rojo (visible) e infrarrojo cercano (invisible) son de gran importancia, dado que una planta con mayor cantidad de follaje tendrá una mayor absorción de rojo visible y "rechazará" mayores cantidades del infrarrojo cercano. Todo lo contrario ocurre en una planta con menor cantidad de follaje. La posibilidad de detectar lo anterior ha posibilitado establecer índices vegetacionales, para establecer la variabilidad de follaje en terreno.

Los índices vegetacionales se obtienen por medio de la división entre bandas espectrales. Estos índices se asocian al vigor de la planta y a la calidad de uva mediante la clasificación de la imagen en sectores o dicho de otra manera, nos permite obtener un índice que diferencia las expresiones de vigor de las parras, volumen foliar y sanidad vegetal, entre otros factores que evidencian la variabilidad de vigor, donde se pueden incluir cualquier factor que esté afectando y diferenciando el crecimiento vegetativo. Índices espectrales de vegetación, tales como el índice de vegetación (NDVI) han demostrado ser útiles para obtener información indirecta de cultivos tales como la eficiencia fotosintética, el potencial de productividad y potencial de rendimiento.

Para el uso de estos índices uno debiera tener en mente ciertas preguntas. *¿Cuáles son los supuestos básicos hechos por estos IV?* El supuesto más básico, es que la combinación algebraica de las diferentes bandas espectrales obtenidas a través de la teledetección puede expresar alguna información útil del estado de la vegetación. Dicho supuesto está altamente probado a través de la gran cantidad de investigaciones que lo soportan, tales como las realizadas por Choudhury, 1987; Huete, 1988; Johnson et al., 1995; Fitzgerald et al., 1999.

¿Cómo funcionan los IV? Muchas superficies naturales son cercanamente iguales en refracción en la parte roja e infrarroja cercana del espectro con la notable excepción de la vegetación verde. Como ya se ha discutido, la luz roja es fuertemente absorbida por los pigmentos fotosintéticos (tal como la clorofila a) encontrada en hojas verdes, mientras la luz del infrarrojo cercano o pasa entre las hojas o es reflejado por los tejidos vivos de las hojas, sin importar su color. Esto significa que áreas de suelo desnudo teniendo poca o ninguna planta verde aparecerá con alta reflectancia tanto en el espectro rojo como en el infrarrojo cercano, mientras áreas con vegetación verde, serán muy brillantes y muy oscuras en los espectros del infrarrojo cercano y rojo, respectivamente.

De esta manera, los IV son calculados por la mezcla algebraica de las diferentes bandas espectrales (Tabla 1), los cuales pueden ser de alta utilidad en la determinación de las condiciones fisiológicas de los cultivos.

Una forma común de un IV, basado en dos bandas, sigue la forma de la ecuación 1:

$$IV = (banda\ 1 - banda\ 2) / (banda\ 1 + banda\ 2)$$

Así por ejemplo, el índice de vegetación de diferencia normalizado o Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), sigue esta forma con la banda 1 y la banda 2 de reflectancia en el infrarrojo cercano y rojo, respectivamente. Numerosas investigaciones han mostrado que este índice tiene una estrecha relación con la fracción de radiación fotosintéticamente activa absorbida por el dosel de las plantas (Prince, 1991). Por consiguiente, el NDVI también ha sido usado para modelar el crecimiento de vegetación (Choudhury, 1987). El NDVI está basado en el marcado contraste entre la baja reflectancia de la vegetación verde sana en el rojo visible y la alta reflectancia en las regiones VNIR, que está casi ausente en el comportamiento espectral de los suelos (Vaesen et al, 2001)

Mientras el NDVI ha sido usado extensivamente durante las dos décadas pasadas, un espacio ha sido creado para el desarrollo de nuevos índices (mencionados anteriormente). Así por ejemplo, el índice de reflectancia fisiológica o Physiological Reflectance Index (PRI), introducido por Gamon et al. (1997), sigue la forma de ecuación 1 y es basado en la reflectancia con base en 531 nm (banda 1) y 570 nm (banda 2) de longitud de onda. Gamon et al. (1997) renombró a éste como el índice de reflectancia fotoquímica y sugirió que el índice es un buen pronosticador de eficacia fotosintética de las plantas. Este índice no ha mostrado sensibilidad frente a las deficiencias nutritivas, pero está afectado por el déficit hídrico con severo marchitamiento (Gamon et al., 1997). En la Tabla 1 podemos visualizar algunos de los IV existentes.

Tabla 1: Índices vegetacionales para bioquímica e índice de área foliar calculados desde imágenes multispectrales e hiper-espectrales tomado de Zarco-Tejada et al, (2005).

Vegetation index	Equation	Reference
<u>Structural indices</u>		
Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)	$NDVI = (R_{NIR} - R_{red}) / (R_{NIR} + R_{red})$	Rouse et al. (1974)
Modified Triangular Vegetation Index (MTVI1)	$MTVI1 = 1.2 \times [1.2 \times (R_{900} - R_{550}) - 2.5 \times (R_{670} - R_{550})]$	Haboudane et al. (2004)
Modified Triangular Vegetation Index (MTVI2)	$MTVI2 = \frac{1.5 \times [1.2 \times (R_{900} - R_{550}) - 2.5 \times (R_{670} - R_{550})]}{\sqrt{(2 \times R_{900} + 1)^2 - (6 \times R_{900} - 5 \times \sqrt{R_{670}}) - 0.5}}$	Haboudane et al. (2004)
Renormalized Difference Vegetation Index (RDVI)	$RDVI = (R_{840} - R_{670}) / \sqrt{(R_{900} + R_{670})}$	Rougean and Breon (1995)
Simple Ratio Index (SR)	$SR = R_{NIR} / R_{red}$	Jordan (1969); Rouse et al. (1974)
Modified Simple Ratio (MSR)	$MSR = \frac{R_{NIR} / R_{red} - 1}{(R_{NIR} / R_{red})^{0.5} + 1}$	Chen (1996)
Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance Index (MCARI ₁)	$MCARI1 = 1.2 \times [2.5 \times (R_{900} - R_{670}) - 1.3 \times (R_{900} - R_{550})]$	Haboudane et al. (2004)
Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance Index (MCARI ₂)	$MCARI2 = \frac{1.5 \times [2.5 \times (R_{900} - R_{670}) - 1.3 \times (R_{900} - R_{550})]}{\sqrt{(2 \times R_{900} + 1)^2 - (6 \times R_{900} - 5 \times \sqrt{R_{670}}) - 0.5}}$	Haboudane et al. (2004)
Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)	$SAVI = (1 + L) \times (R_{800} - R_{670}) / (R_{800} + R_{670} + L)$ [L ∈ (0,1)]	Huete (1988); Qi et al. (1994)
Improved SAVI with self-adjustment factor L (MSAVI)	$MSAVI = \frac{1}{2} [2 \times R_{800} + 1 - \sqrt{(2 \times R_{800} + 1)^2 - 8 \times (R_{900} - R_{670})}]$	Qi et al. (1994)
Optimized Soil-Adjusted Vegetation Index (OSAVI)	$OSAVI = (1 + 0.16) \times (R_{800} - R_{670}) / (R_{800} + R_{670} + 0.16)$	Rondeaux et al. (1996)
<u>Chlorophyll indices</u>		
Greenness Index (G)	$G = R_{550} / R_{670}$	-
Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance Index (MCARI)	$MCARI = [(R_{700} - R_{670}) - 0.2 \times (R_{700} - R_{550})] \times (R_{700} / R_{670})$	Daughtry et al. (2000)
Transformed CARI (TCARI)	$TCARI = 3 \times [(R_{710} - R_{670}) - 0.2 \times (R_{700} - R_{550}) \times (R_{700} / R_{670})]$	Haboudane et al. (2002)
Triangular Vegetation Index (TVI)	$TVI = 0.5 \times [120 \times (R_{750} - R_{550}) - 200 \times (R_{670} - R_{550})]$	Broge and Leblanc (2000)
Zarco-Tejada & Miller	$ZTM = R_{750} / R_{710}$	Zarco-Tejada et al. (2001)
<u>Water indices</u>		
Normalized Difference Water Index (NDWI)	$NDWI = (R_{860} - R_{1240}) / (R_{860} + R_{1240})$	Gao (1996)
Simple Ratio Water Index (SRWI)	$SRWI = R_{850} / R_{1240}$	Zarco-Tejada et al. (2003)
Plant Water Index (PWI)	$PWI = R_{870} / R_{900}$	Peñuelas et al. (1997)
<u>Red edge spectral parameters</u>		
λ_p	$\lambda_{p1} = \lambda_{nm}(680-750)$; $\lambda_{p12} = \lambda_{nm}(500-600)$; $\lambda_{p2} = \lambda_{nm}(500-610)$	Hare et al. (1984); Bonham-Carter (1988)
R_0	$R_0 = R_{nm}(650-700)$	Hare et al. (1984); Bonham-Carter (1988)
R_c	$R_c = R_{nm}(710-770)$	Hare et al. (1984); Bonham-Carter (1988)
σ	σ = shape parameter as defined by the inverted-Gaussian curve-fit model	Hare et al. (1984); Bonham-Carter (1988)
<u>Other indices mentioned but not used in this study</u>		
Simple Ratio Pigment Index (SRPI)	$SRPI = R_{420} / R_{680}$	Peñuelas et al. (1995)
Normalized Phaeophytinization Index (NPQI)	$NPQI = (R_{415} - R_{435}) / (R_{415} + R_{435})$	Barnes (1992)
Photochemical Reflectance Index (PRI)	$PRI_1 = (R_{520} - R_{567}) / (R_{520} + R_{567})$; $PRI_2 = (R_{531} - R_{570}) / (R_{531} + R_{570})$	Gamon et al. (1992)
Normalized Pigment Chlorophyll Index (NPCI)	$NPCI = (R_{680} - R_{430}) / (R_{650} + R_{430})$	Peñuelas et al. (1994)
Carter indices	$Ctrl = R_{675} / R_{420}$; $Ctrl2 = R_{670} / R_{710}$	Carter (1994); Carter et al. (1996)
Lichtenthaler indices	$Lic1 = (R_{900} - R_{680}) / (R_{900} + R_{680})$; $Lic2 = R_{440} / R_{690}$; $Lic3 = R_{440} / R_{730}$; $Lic4 = \int_{680}^{800} R$	Lichtenthaler et al. (1996)
Structure Intensive Pigment Index (SIPI)	$SIPI = (R_{800} - R_{430}) / (R_{900} + R_{430})$	Peñuelas et al. (1995)
Vogelmann indices	$Vog1 = R_{730} / R_{710}$; $Vog2 = (R_{734} - R_{717}) / (R_{715} + R_{726})$; $Vog3 = (R_{734} - R_{717}) / (R_{715} + R_{720})$; $Vog4 = D_{717} / D_{735}$	Vogelmann et al. (1993); Zarco-Tejada et al. (1999)
Gitelson and Merzlyak	$G.M1 = R_{750} / R_{550}$; $G.M2 = R_{750} / R_{710}$	Gitelson and Merzlyak (1997)
Curvature Index (Fluorescence)	$CUR = (R_{675} - R_{690}) / (R_{685})^2$	Zarco-Tejada et al. (2000)
Double-Peak Ratio indices	$DPR1 = D_{\lambda(680-750)} / D_{\lambda(10+12)}$; $DPR2 = D_{\lambda(680-750)} / D_{\lambda(20+22)}$; $DP21 = D_{\lambda(680-750)} / D_{705}$; $DP22 = D_{\lambda(680-750)} / D_{721}$	Zarco-Tejada et al. (2001)
Area Red Edge Peak (ADR)	$ADR = \int_{680}^{760} D$	Zarco-Tejada et al. (2001)

Resolución de Imagen

La resolución para un sensor en particular puede ser descrita en cuatro formas distintas: espacial, temporal, radiométrica y espectral (Chuvieco, 2002; Lamb et al., 200, Verbyla, 1995). La primera medida, resolución espacial, se refiere al tamaño del objeto más pequeño que puede ser distinguido en una imagen producida por un sensor remoto. Si las imágenes remotas van a ser usadas para identificar y tratar problemas de cultivo en el campo, el productor debe considerar cuan afinada debe ser una imagen para que le permita discernir estructuras claras y sin mezcla de reflectancia de planta+suelo que finalmente nos describirá que es lo que está pasando en el cuartel. La segunda medida, respuesta espectral, se refiere a la habilidad de un sistema de percepción de responder a una, medida de radiación dentro de una banda espectral en particular. Un cliente potencial debe determinar si un sistema de percepción remota provee información dentro de una banda espectral que corresponda a una propiedad o característica significativa del cultivo o suelo, (por ejemplo, longitudes de onda de la banda del NIR pueden estar relacionadas al contenido de materia orgánica y humedad del suelo).

La resolución espectral se refiere a la habilidad de los sistemas de percepción de distinguir y diferenciar entre radiación electromagnética de distintas longitudes de onda. Esto es básicamente una medida de la habilidad de un sistema de concentrarse en detectar una longitud de onda particular que sea de interés. Por ejemplo, algunos sensores producen las así llamadas imágenes pancromáticas. Estas imágenes son creadas de la radiación percibida dentro de la banda espectral comprendida entre los 0.45 y 0.90 μm . Dentro de esta banda se hallan el azul, el verde, el rojo y el infrarrojo cercano. Estas bandas son de particular interés en la producción vegetal. Cuanto mayor sea la resolución espectral dentro del verde y el infrarrojo cercano, más útil será la información que pueda ser deducida a partir de datos percibidos remotamente. El tercer ítem, la frecuencia de cobertura (a veces llamada resolución temporal), es una medida de cuan seguido está disponible un sistema de percepción remota para recoger información de un punto específico en la tierra. Para la mayoría de los satélites, la frecuencia de cobertura para cualquier sitio particular es igual al ciclo de repetición, o la duración en tiempo que le toma dar la vuelta a la tierra.

El cuarto ítem, la resolución radiométrica se refiere al número de valores disponibles para grabar los valores de radiación en cada píxel (Lamb et al., 2001). Típicamente estos valores varían entre 8-bits ($2^8 = 256$ valores) o 10- bits ($2^{10} = 1024$ valores) (Hall et al., 2002).

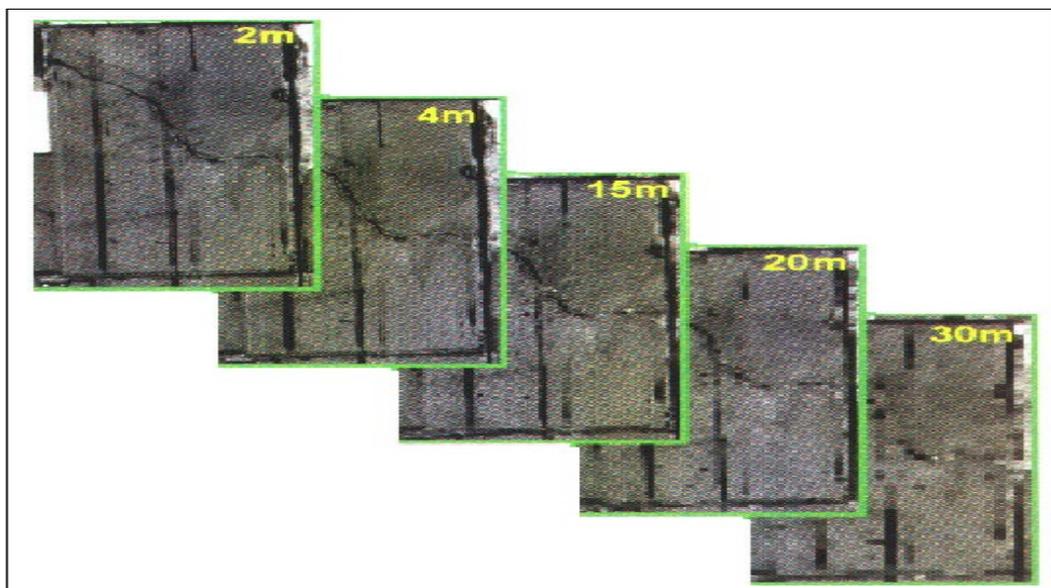


Figura 2. Diferentes resoluciones espaciales obtenidos a partir de sensores, aplicadas en un cultivo de trigo.

Correcciones de las Imágenes.

Uno de los requisitos previos al análisis de cualquier imagen y más aún, de distinta fecha de adquisición, es eliminar cualquier distorsión ajena a la variable en estudio. Estos inconvenientes se solucionan mediante dos tipos de ajustes: a) geométricos y, b) radiométrico (Chuvieco, 2002; Tardie, 2004; Jensen y Jackson, 2005).

Correcciones Geométricas

Consiste básicamente en verificar la georeferencia espacial de la información a utilizar. Los problemas de distorsiones geométricas se pueden subsanar mediante el uso del software que posean algoritmos de transformación en función de puntos conocidos en la superficie. Dichos puntos se pueden instalar con equipos GPS, DGPS, RTK, entre otros. Sin embargo, si no se posee imágenes de una resolución adecuada, tendrá graves problemas en lo referente a distorsiones en los valores radiométricos por pixel (mescla suelo y planta) teniendo posibles erróneas conclusiones (Figura 3).

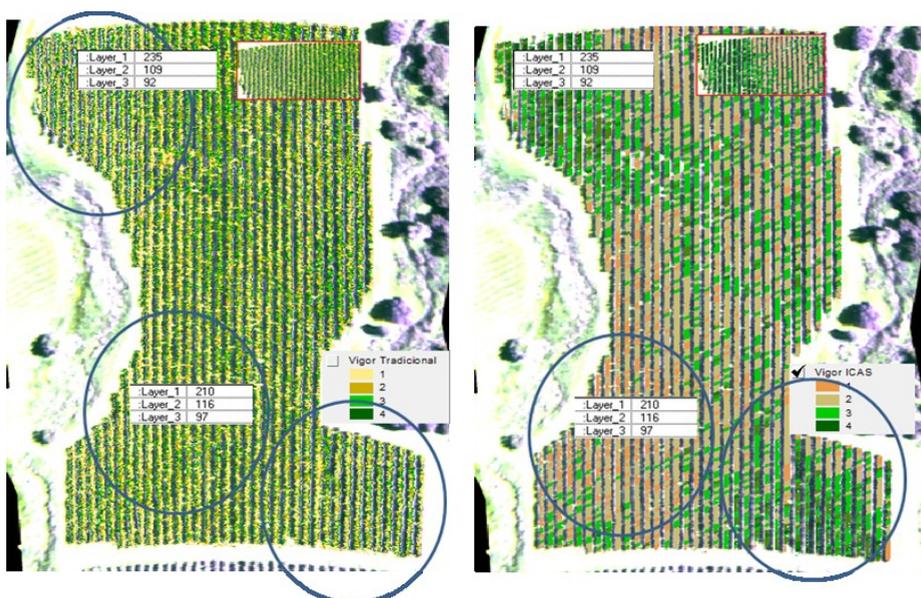


Figura 3. Imágenes corregidas y dispuestas en un mosaico en alta resolución y diferencias en análisis final obtenido, (Vuelo 1000m y 500 m) .

Así, se ve la importancia de obtención de una buena imagen en resolución (10 cm por pixel de imagen), ya que esto ayudará a mejorar el análisis a desarrollar y por ende la estadística posterior para la definición de zonas y puntos muestrales, sin embargo, esto influirá directamente en el tiempo de análisis posterior a realizar. Lo antes expuesto, nos llevo a desarrollar una aplicación específica (ICAS o INIA Canopy Analyzer System) para análisis y desarrollo estadístico automatizado de la información multispectral capturada en campo.

Desarrollo de aplicación y procesamiento de información para cálculo de características físicas y fisiológicas de canopia.

ICAS V1.1

Una de las necesidades iniciales en todo trabajo asociado a la Agricultura de Precisión es la posibilidad de definir la variabilidad espacial y temporal existente en los huertos. Esto se ha podido lograr por medio de uso de tecnologías que han sido desarrolladas para captura de alta densidad de información y que sigan un patrón claro asociado al cultivo. Tal como se expone en el texto de este proyecto, e huertos ya establecidos, el uso de remote sensing es una solución que ha sido utilizada en este sentido. Por otra parte, su uso ha tenido diferentes tipos de problemas en especial debido a la baja resolución de las imágenes que existen en mercado (satélite y sistema aerotransportados por avión) lo que ha generado un ajuste débil en este tipo de información el cual puede ser mejorado sustancialmente cuando se utilizan imágenes de alta resolución como se ha realizado en este proyecto y se ha informado en los avances del proyecto. Por otra parte, se ha visto en el avance de proyecto, la necesidad de automatizar el análisis de este tipo de información factor que se ha abordado mediante el desarrollo del software llamado INIA Canopy Analyze System. Dichos sistema ha sufrido un sin número de ajustes durante el avance del proyecto el cual podemos decir que se encuentra en un nivel de producto terminado, el cual está siendo utilizado por los profesionales de la empresa actualmente. A continuación, se presenta un detalle del funcionamiento de la aplicación sobre la que se ha trabajado en este punto. Esta corresponde a la aplicación ICAS V1.1, la cual entre otras funciones (como selección de localización de muestras, generación de archivos de data de terreno para alimentación de la base de datos y visualización en la plataforma web, entre otros) sirve para la segmentación de canopia y generación de índices tales como el RFI que permiten la zonificación del huerto (control de la variabilidad espacial) y anclaje de puntos de monitoreo de variables de interés del cultivo (control de la variabilidad temporal).

Metodología de trabajo en ICAS 1.1

Pantalla de entrada

Al ejecutar la aplicación por primera vez, se muestra un número de serie asignado a la instalación y se solicita al usuario que envíe un mail a INIA solicitando la password correspondiente. Para generar la password se debe utilizar otra aplicación creada a tal efecto, llamada ICASGeneradorClaves.exe.

Una vez ingresada la password, se habilita la pantalla de ingreso como se ve a continuación.

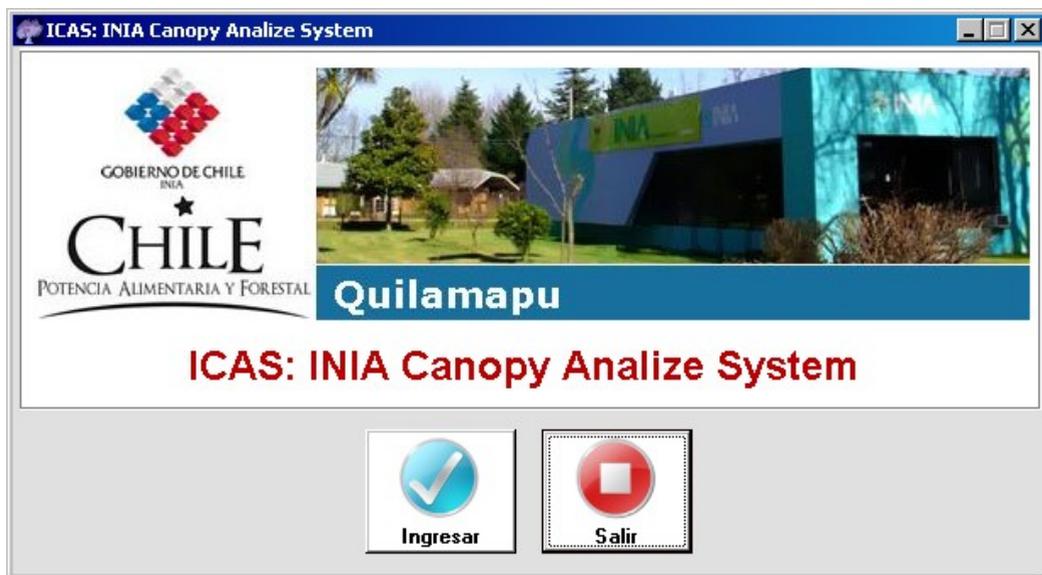


Figura 4. Pantalla de Entrada.

Al oprimir el botón Ingresar se accede a la pantalla principal de la aplicación.

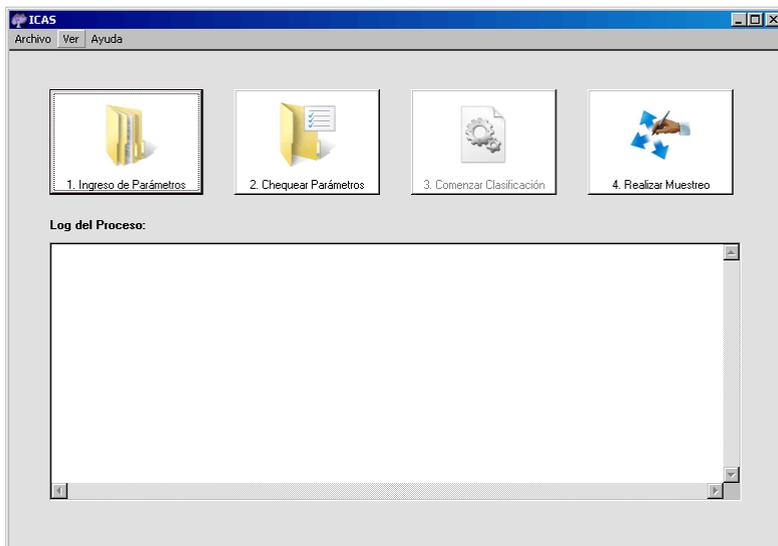


Figura 5. Ventana principal de la aplicación.

Utilización del software

La ejecución del software tiene 4 pasos bien diferenciados:

El ingreso de parámetros

El chequeo de parámetros

El reconocimiento y clasificación de copas en los bloques

Los algoritmos de elección de ejemplares para realizar muestreo

Ingreso de Parámetros

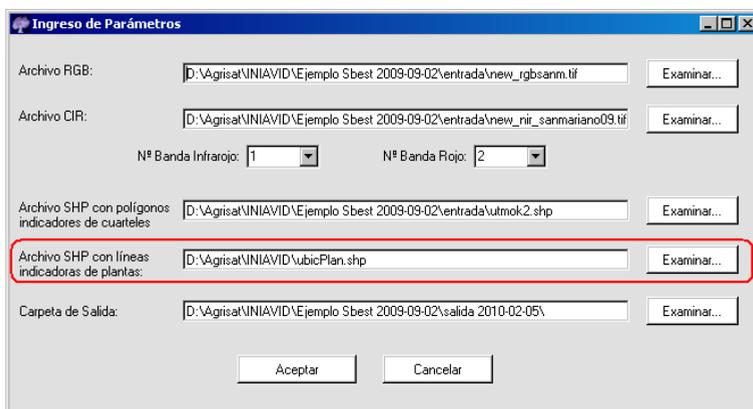


Figura 6. Ingreso de parámetros.

En esta pantalla se indican los archivos que servirán como entrada para la ejecución de la aplicación y la carpeta en que se guardarán los resultados. A continuación se explica en detalle cada uno:

ARCHIVO RGB: Nombre del archivo georreferenciado que contiene la imagen base RGB (foto aérea, satelital, etc.).

ARCHIVO CIR: Nombre del archivo georreferenciado que contiene la imagen base multispectral. Esta imagen se utiliza para obtener el NDVI de cada punto de la imagen (y luego de cada copa).

ARCHIVO SHP: El archivo SHP contiene los polígonos con la delimitación de los cuarteles.

CARPETA DE SALIDA: Es el lugar donde se ubicarán los archivos de salida generados por el programa.

Chequeo de Parámetros

En esta pantalla se chequean la existencia y el formato de los parámetros de entrada así como también se realizan algunas tareas de preparación de datos, por ej:

Obtención de imagen con el valor NDVI a partir de la imagen CIR.

Chequeo de las imágenes RGB y CIR y redimensionamiento de alguna de ellas si es necesario, en caso que el tamaño de pixels no sean coincidentes (es necesario para el sistema trabajar con imágenes de igual tamaño, ya que se realizan chequeos por colores y a nivel de pixel).

Lectura del archivo shape y del dbf asociado. Chequea que existan los campos CODIGO, ESPHILER y ESPPLANT en el archivo DBF.

Si no hubo errores en el chequeo de parámetros se habilitará el botón **3. Comenzar Clasificación** de la pantalla principal.

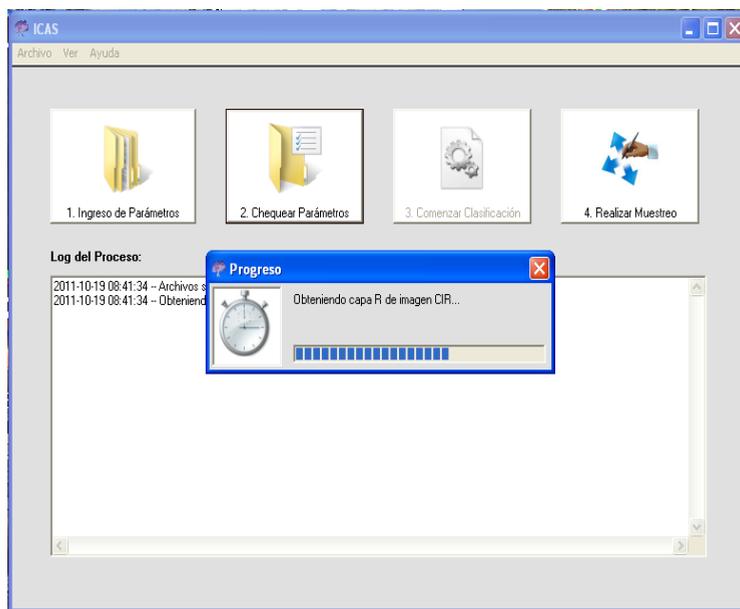


Figura 7. Ventana principal desarrollando el proceso de segmentación de la aplicación.

Realizar Clasificación

Para realizar la clasificación, primero se debe dibujar en la imagen RGB o CIR, que se muestra en la pantalla, hasta un máximo de 6 polígonos (3 para suelo y 3 para árboles) con el contenido de los pixels que se quieren clasificar. Es decir se deben seleccionar regiones que contengan la mayor representatividad de las copas posible. Esto es importante porque la clasificación se realiza por colores: A partir de los polígonos seleccionados, se toman los colores de los puntos internos, se calcula una media de color y en base a ese valor y al parámetro: **Máximo Coeficiente de Desvío respecto al Promedio del Polígono de Entrenamiento para Clasificar un Pixel**, se revisa cada pixel de la imagen y si está dentro de la media +/- máx. coef. De desvío se lo clasifica, caso contrario se marca con color negro, porque queda fuera de la clasificación. El resultado de este procedimiento se exporta al archivo **mascaraClasificacion.tif** de la carpeta de salida.

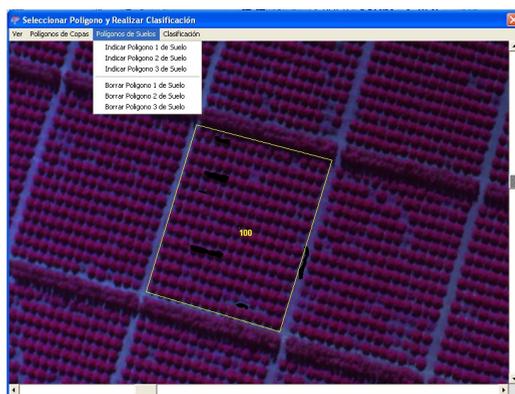


Figura 8. Pantalla con imagen del huerto, antes de realizar la clasificación, con 6 polígonos indicados (3 de suelo y 3 de Canopia).

Es de alta importancia generar una buena localización de los polígonos para obtener la mejor clasificación de los arboles. Se recomienda realizar esta operación en función de las condiciones disímiles del huerto, es decir, sobre cuarteles similares en variedad, edad, condición del huerto en malezas, etc. Esto es posible ya que el software permite ir trabajando la calificación cuartel por cuartel, grupo de cuarteles o simplemente todo junto.



Figura 9. Pantalla de clasificación luego de realizada la clasificación en base a los polígonos anteriores

Terminada la clasificación de los arboles, como ya se explicó anteriormente, continua el procedimiento de búsqueda de copas, en este punto la aplicación permite indicar sobre qué cuarteles realizar la búsqueda. A continuación se indica cómo seleccionar los cuarteles sobre los cuáles seleccionar copas, lo cual genera un archivo vectorial de las copas localizadas. Es preciso decir que la aplicación en esta parte genera un archivo el cual en la medida que uno continúe realizando las clasificaciones de los diferentes cuarteles, la aplicación va adosando las clasificaciones en un solo archivo de tal forma que al final del desarrollo, se genera un solo archivo con todas las copas del predio clasificadas.

En la siguiente figura 10 se aprecia las copas seleccionadas por el desarrollo de ICAS V1.1 en el cual se puede apreciar la notable mejoría en el proceso de selección de copas del algoritmo desarrollado

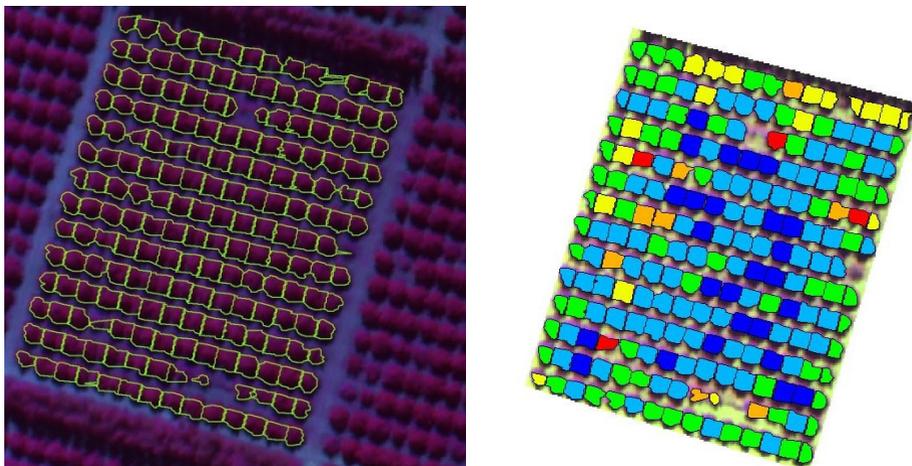


Figura 10. Desarrollo de selección de copas y asignación de NDVI por copas realizado por ICAS V1.1.

Así, finalmente, los resultados de las copas encontradas se guardan en la carpeta de Salida en los archivos **copas.shp**, **copas.shx** y **copas.dbf**. Los campos que se guardan para cada copa en el shp son:

- Cuartel,
- Nro. de Hilera,
- Nro. de Planta dentro de la hilera,
- Promedio NDVI de la copa,
- Desv. NDVI de la Copa,
- NDVI x Área de la copa (RFI),
- Coordenadas en X e Y del punto central de la copa.

A continuación, ya realizada la segmentación y selección de copas, para que en el ICAS se habilite el botón de Muestreo en su pantalla Principal, como se muestra en la pantalla siguiente:

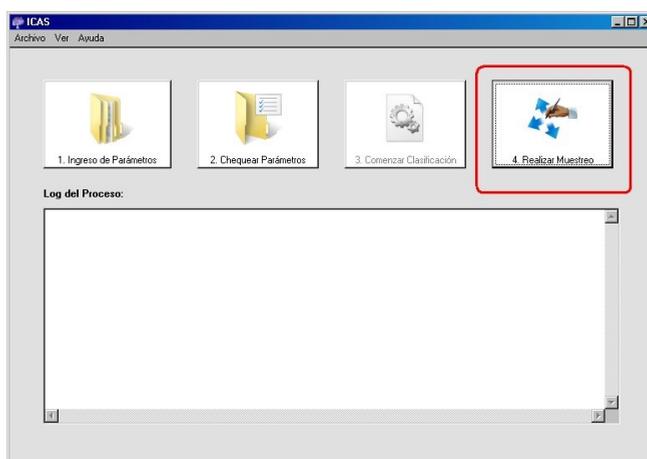


Figura 11. Ingreso al sistema de muestreo de ICAS V1.1.

Realizar Muestreo

Si los pasos antes mencionados se ejecutan correctamente, entonces como resultado, entre otros archivos, se habrá generado un archivo Shape llamado copasall.shp. Con este archivo existente, puede ingresarse a la opción **4. Realizar Muestreo**.

Al ingresar aparece una pantalla como la siguiente:

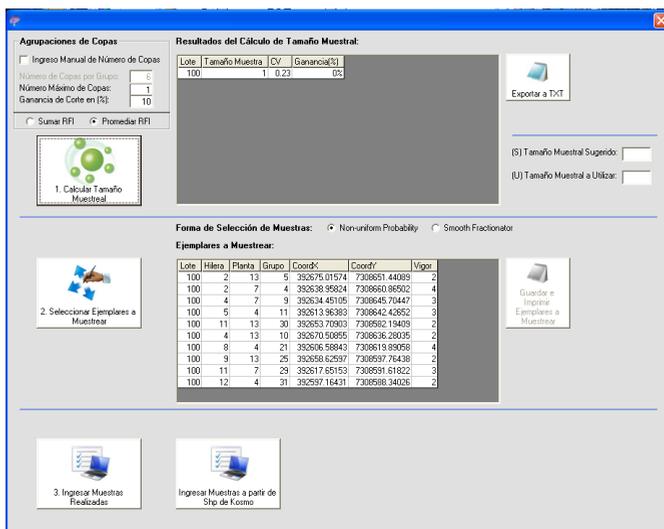


Figura 12. Pantalla para la localización de puntos estadísticos de muestreo de ICAS V1.1.

Calcular Tamaño Muestral:

En esta sección se buscará para cada cuartel, cuál es el nivel de agrupamiento óptimo de copas para el tamaño de la muestra. La forma en que se calcula, es a partir de la variación en el Coeficiente de Variación (CV, calculado como Desv. Estándar / Media) del cuartel si se toman ejemplares como grupos de 1 copa, 2 copas, etc. Hasta un máximo de 5 copas por grupo (este máximo se puede establecer en la casilla **“Nro. Máximo de Copas”**). Se supone que a medida que los grupos poseen más cantidad de copas, el CV total disminuye. Se supone que conviene seguir aumentando la cantidad de copas por grupo hasta que la ganancia (medida como el porcentaje de disminución del CV del nivel de grupo de copas seleccionado (n) con el nivel de grupo de copas anterior (n-1 copas)) no sea mayor a un 5% o 10%. Igualmente este porcentaje puede configurarse como se ve en la pantalla, ingresándolo en la casilla **“Ganancia de Corte (%)”**. El dato que se tomará en cuenta para el cálculo de la media, desv. Estándar y posteriormente el CV, es el NDVI x Área (es decir el RFI) de cada grupo.

Una vez presionado el botón **“1. Calcular Tamaño Muestral”**, el sistema calcula el CV para cada nivel de agrupación de copas de cada lote, y sugiere cuál sería el que debería utilizarse. El usuario puede luego cambiarlo. Los valores (S) en cada fila indica el valor sugerido por el sistema y el valor en (U) indica el que finalmente selecciona el usuario:

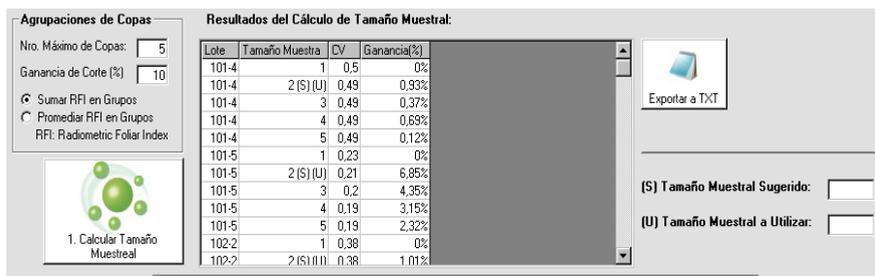


Figura 13. Vista parcial de la pantalla luego de calculado el tamaño muestral. En el lote 101-4, se sugirió el nivel de agrupación 2, pero el usuario lo cambió a 3.

Seleccionar Ejemplares a Muestrear:

Luego de seleccionado el nivel de agrupamiento de copas (cada grupo de copas pasa a ser un ejemplar de la muestra, es decir eliminar la micro variabilidad del cuartel en la muestra), se debe seleccionar qué ejemplares serán los que finalmente se muestrearán, sobre los cuales se genera un procedimiento estadístico para definir los individuos a muestrear.

Al presionar el botón “Seleccionar Ejemplares a Muestrear”, se abrirá una nueva ventana por cada cuartel, donde se mostrarán distintos gráficos para visualizar la distribución de los grupos, sus rangos de RFI y la localización de las muestras. Se permitirá iterar en esta nueva ventana, variando incluso la cantidad de ejemplares que se quiera tomar (según necesidad y capacidad de operación, sin desmedro que el sistema sugiere los adecuados estadísticamente), hasta que el usuario decida pasar al siguiente cuartel.

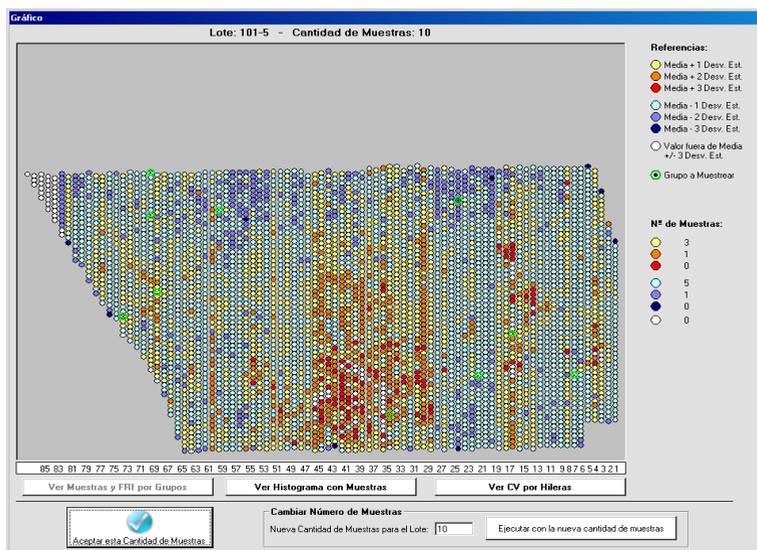


Figura 14. Vista de pantalla de iteración de selección de muestras. Cada elemento del gráfico es un grupo, y se colorea de acuerdo a su RFI. Se marcan con un círculo verde los grupos que son seleccionados para muestrear según el sistema.

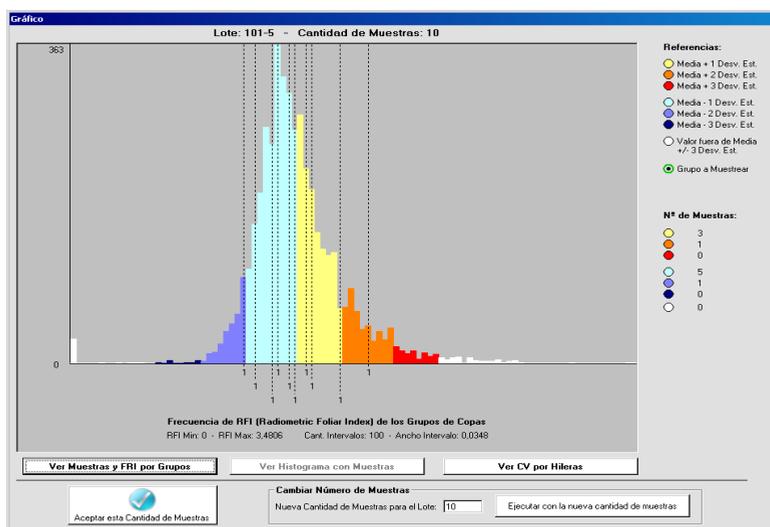


Figura 15. Vista de otro gráfico de la pantalla de iteración de muestras. En este caso se muestra el histograma frecuencia de RFI de cada grupo del lote.

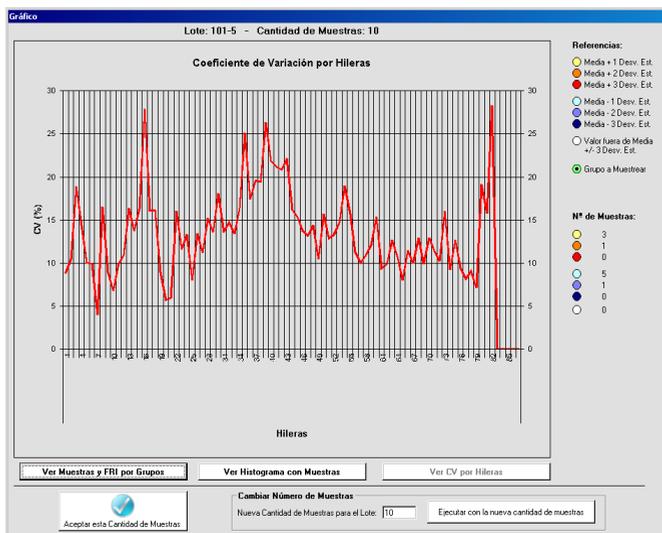


Figura 16. Vista de otro gráfico de la pantalla de iteración de muestras. En este caso se aprecia el CV de los grupos por cada hilera.

Una vez que el usuario termine con la selección de puntos de monitoreo, el sistema deriva a la pantalla principal de Muestreo, en la cual se visualizarán los ejemplares a muestrear para cada cuartel. Si bien cada ejemplar representa a un grupo de plantas, para facilitar la referencia se indica la primera planta del grupo (en las columnas hilera y planta) y las coordenadas en X e Y de esa primera planta. Esta información puede exportarse a un archivo SHP, el cual permite el ingreso de datos de variables de terreno y generar planilla a usar en terreno.

Forma de Selección de Muestras: Non-uniform Probability Smooth Fractionator

Ejemplares a Muestrear:

Lote	Hilera	Planta	Grupo	CoordX	CoordY	Vigor
100	4	13	10	392670.50855	7308636.28035	2
100	2	13	5	392675.01574	7308651.44089	2
100	4	7	9	392634.45105	7308645.70447	3
100	11	13	30	392653.70903	7308582.19409	2
100	5	13	15	392647.15312	7308558.42892	2
100	7	1	18	392590.19866	7308632.18291	2
100	8	10	22	392642.64594	7308610.46646	3
100	9	13	25	392658.62597	7308597.76438	2
100	11	7	29	392617.65153	7308591.61822	3
100	8	4	21	392606.58843	7308619.89058	4

2. Seleccionar Ejemplares a Muestrear

SHP
Guardar e Imprimir Ejemplares a Muestrear

Figura 17. Pantalla principal de muestreo, visualización de ejemplares a muestrear.

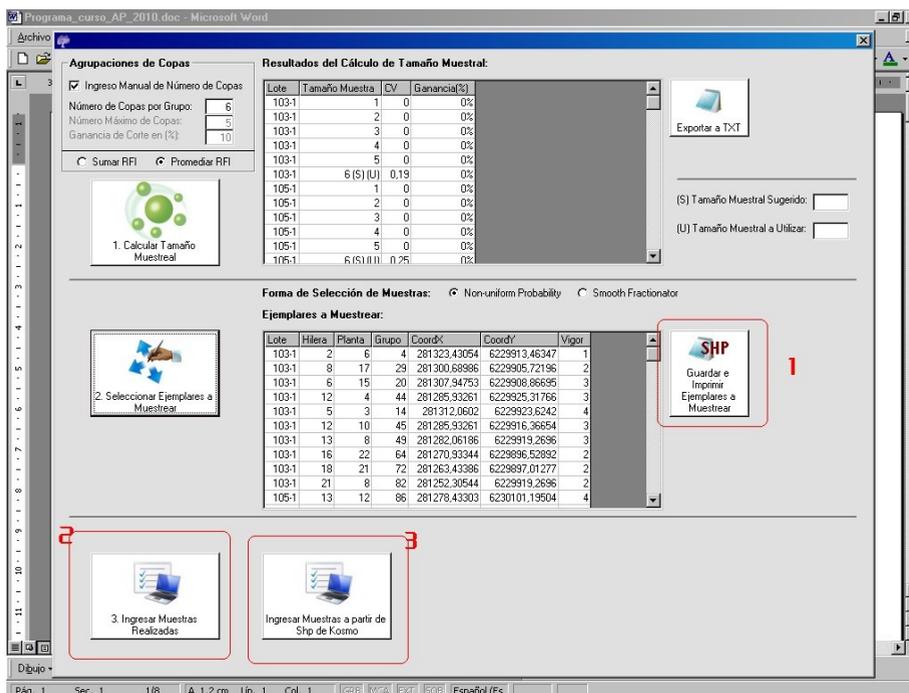


Figura 18. Tipos de ingresos de datos a partir del propio sistema o del SIG desarrollado por Progap INIA.

ICAS V1.1, permite ingresar las muestras tanto generadas por el propio programa, como de archivos shp con ejemplares seleccionados en el programa SIG desarrollado por Progap INIA.

Tanto al oprimir los botones 1, 2 como 3, se abre una misma pantalla para ingresar datos de muestras en los ejemplares. La diferencia radica en el origen de esos datos:

El botón 1 se habilita cuando se están generando muestras en ese momento por el proceso de ICAS de localización de copas y selección de ejemplares a muestrear con los algoritmos indicados.

El botón 2 permite el ingreso de muestras para ejemplares ya generados previamente por ICAS (y guardadas en un archivo luego de oprimir el **botón 1**).

El botón 3 permite el ingreso de muestras desde archivos shp generados por SIG Progap INIA donde los ejemplares a muestrear se seleccionaron manualmente.

Con la planilla de las muestras obtenida en el paso anterior, el muestreador podrá ir al campo e ingresará la información según el muestreo que esté realizando, siguiendo los pasos que se explican a continuación.

Guardar e imprimir ejemplares a muestrear

Se habilita cuando se están generando ejemplares de muestras con ICAS actualmente, apretando el botón guardar e imprimir muestras. Al oprimirlo se abre una ventana como la siguiente:

Lote	Hilería	Planta	Grupo	CoordX	CoordY	Vigor	Valor 1
103-1	2	6	4	1323.43054	3913.46347	1	
103-1	8	17	29	1300.68886	3905.72136	2	
103-1	6	15	20	1307.94753	3908.86695	3	
103-1	12	4	44	1285.93261	3925.31766	3	
103-1	5	3	14	1312.20502	39323.6242	4	
103-1	12	10	45	1285.93261	3916.36544	3	
103-1	13	8	49	1282.06186	3919.2636	3	
103-1	16	22	64	1270.93344	3896.52892	2	
103-1	18	21	72	1263.43386	3897.01277	2	
103-1	21	8	82	1252.30544	3919.2636	2	
105-1	13	12	86	1278.43303	40101.19504	4	
105-1	7	22	27	1300.44794	40087.16356	3	
105-1	10	21	50	1285.31952	40086.13124	2	
105-1	12	51	78	1282.30378	40042.40796	2	
105-1	14	9	100	1274.32026	40105.54964	4	
105-1	15	17	117	1270.69152	40090.59047	4	
105-1	16	56	139	1267.06269	40032.73108	3	
105-1	18	13	162	1259.32118	40098.29197	3	
105-1	15	11	116	1270.69152	40089.50158	4	
105-1	20	90	206	1252.30544	39979.50821	2	
105-2	1	11	2	1333.34936	40152.72445	4	
105-2	3	13	9	1326.32361	40149.33754	4	
105-2	14	26	59	1295.44877	40130.46762	3	
105-2	15	9	61	1282.06186	40195.86944	3	
105-2	11	9	42	1297.06103	40155.62752	2	

Figura 19. Datos y fecha relacionada a la variable muestreada para ingreso a la base de datos.

En esa ventana se indicará la fecha en que se realizará el muestreo (originalmente quizás no se conozca, pero se puede ingresar una fecha estimada, ya que luego se puede modificar), y la variable relacionada.

Cuando se oprime el botón “Guardar en Archivo txt y Shp”, se generan los siguientes archivos

- archivo TXT con los ejemplares a muestrear
- archivo LOG con copas origen utilizados para obtener los ejemplares
- Archivos SHP, SHX y DBF de los ejemplares

Una vez guardado el archivo de muestras, se puede abrir el Excel, esto es útil para luego imprimir las planillas para que la persona que vaya a terreno a realiza el muestreo, complete los datos en la planilla impresa al momento de realizarla, para posteriormente pueda ser ingresadas al sistema (columna de color amarillo en figura).

Lo más importante en este aspecto es que al ingresas la información en las bases de datos de la plataforma del predio (ver capítulo Plataforma de Gestión productiva de huertos Olivícolas), estas quedan ingresadas directamente en el portal web con lo cual se visualiza la información en forma oportuna de los monitoreos realizados en el predio tanto localmente como para la gerencia agrícola y de producción de la empresa en Santiago.

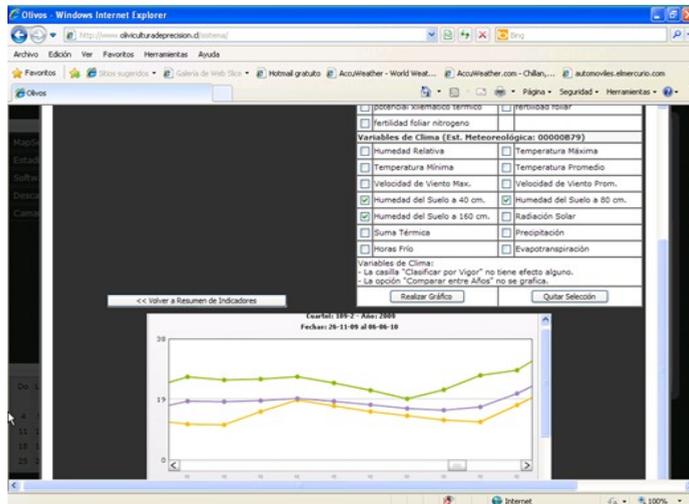


Figura 20. Vista gráfica de la plataforma en la sección de consulta de variables tomadas en terreno (variación temporal).

Resultados prácticos en la ejecución de ICAS V1.1 sobre acciones productivas de Predio.

La generación de las copas por parte de ICAS V1.1 de un predio de olivo de 200 has se puede apreciar en la Figura 21.

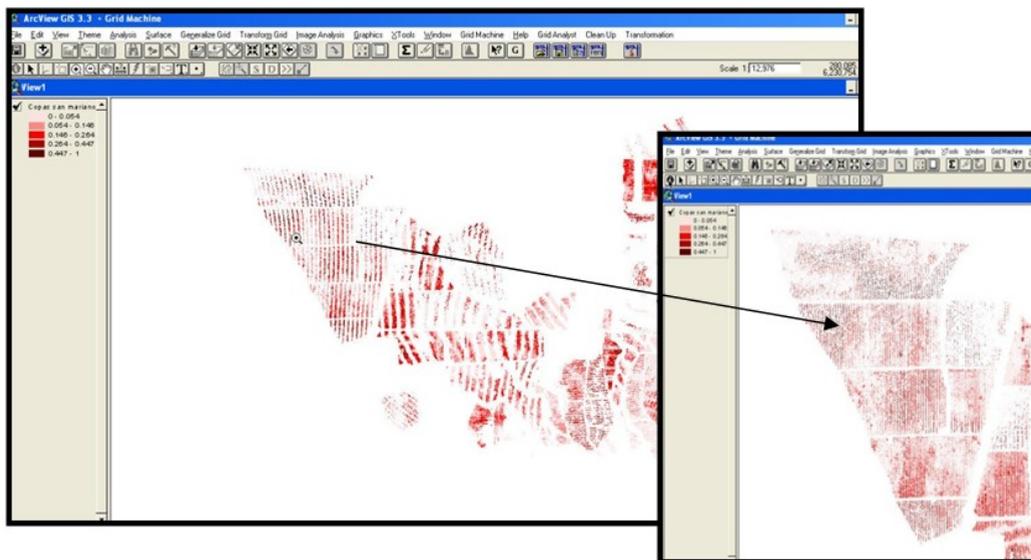


Figura 21. Vista de las copas de Monteolivos, con un acercamiento de las copas generadas por ICAS V1.1, vistas en ArcView.

Mapas de Distribución y uso práctico de ICAS V1.1.

Evaluación espacio - Temporal del crecimiento del fruto

En el mismo predio descrito anteriormente, se utilizó ICAS para el monitoreo del desarrollo de fruto de olivos para evaluar el control de fertilización y riego. Los puntos de monitoreo fueron determinados por medio de la plataforma ICAS, para este cuartel de caracterizan de la siguiente forma en conjunto con los sectores de riego asociado:

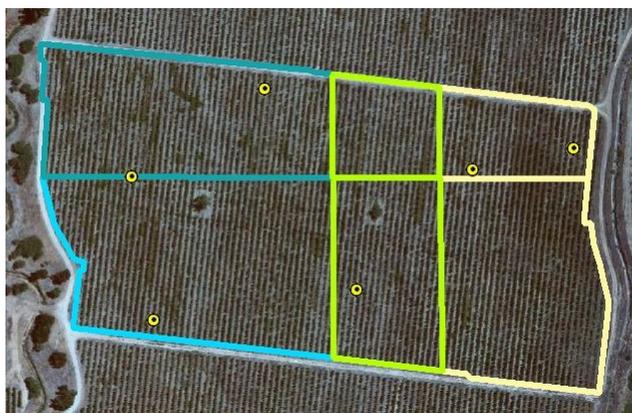


Figura 22. Distribución espacial de los Puntos de monitoreo.

Para este cuartel entre las temporadas se diferencian claramente las zonas definidas por los sectores de riego, generando diferencias en los tamaños de los frutos, si observamos en la figura 22, podemos distinguir en el sector 6D de riego (la parte este de los mapas), una marcada diferencia en la distribución del tamaño longitudinal del fruto, durante las tres primeras fechas se registran una tendencia amplia a un bajo tamaño de los frutos, pero a partir de la cuarta fecha podemos diferenciar la disminución de la zona de distribución, y una homogenización de esta zona marcada, efecto que tiende a estabilizar el tamaño del fruto en el cuartel.

Claramente entre la fecha tercera y la cuarta podemos ver un notable aumento general de los tamaños, este periodo coincide con el periodo de la fase tres, es en este periodo donde aumenta sustancialmente el riego, por consecuencia se refiere al aumento del tamaño longitudinal del fruto.

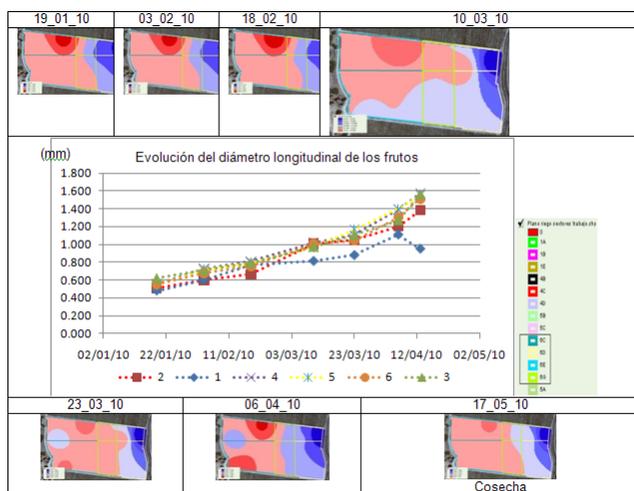


Figura 23. Evolución del diámetro longitudinal de los frutos en relación con los mapas de pesos de frutos.

Por otra parte, se ha utilizado ICAS para la localización adecuada de muestreos de fertilidad foliar permitiendo una mejor representación espacial y diferenciación de zonas para la aplicación más eficiente de fertilizantes.

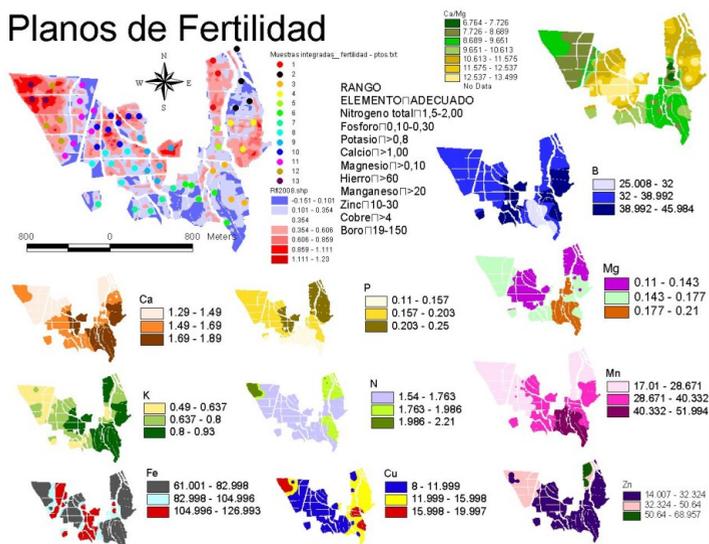


Figura 24. Representación espacial de los elementos en el predio.

ICAS también ha sido utilizado para la evaluación espacial y temporal de calidad de fruta, permitiendo definir los puntos muestrales adecuados en cada cuartel (Figura 25) que permitieron general las curvas de evolución de aceite (Figura 26) y mapas espaciales de esta variable (Figura 27), útiles para evaluar la madurez por zonas y zonificación de cosecha.

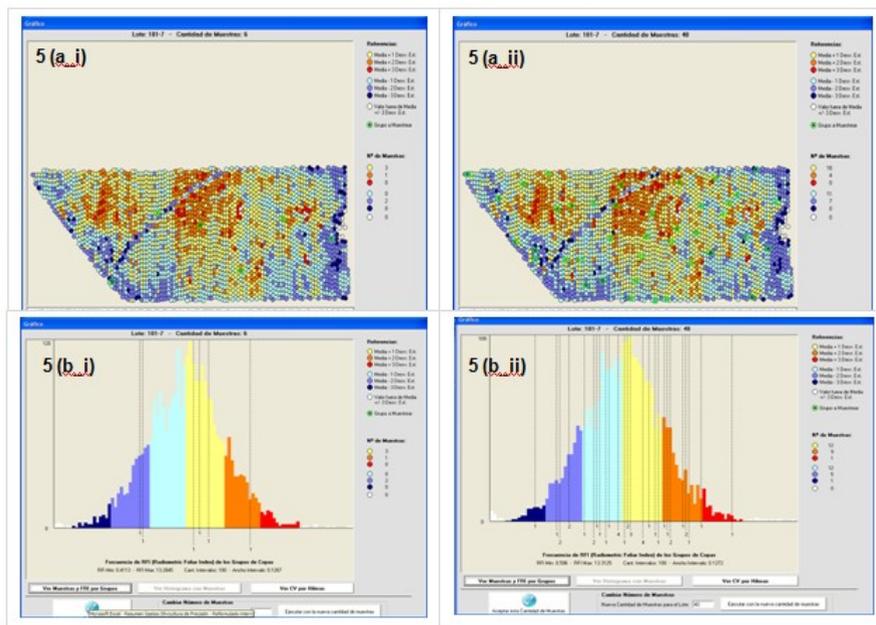


Figura 25. Ejemplos del funcionamiento del software ICAS para la selección de puntos de evaluación de variables asociadas a calidad de fruto. Se presenta un ejemplo de localización de puntos de evaluación para calidad de fruto para el cuartel 101-7 en donde se han escogido 5 o 40 puntos de muestreo (fig. 106-a_i; a_ii), mostrándose además las ubicación de dichos puntos sobre el histograma poblacional del RFI determinado en el cuartel.

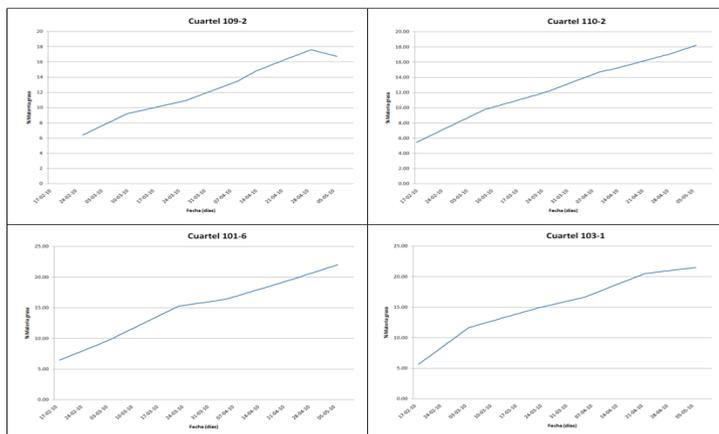


Figura 26. Curvas de evolución de aceite para el caso de los cuatro cuarteles en evolución. Valores obtenidos mediante método de sohxlet, los que sirven en cada fecha de medición como comparación para la obtención de una recalibración del modelo mostrado en la figura 27.

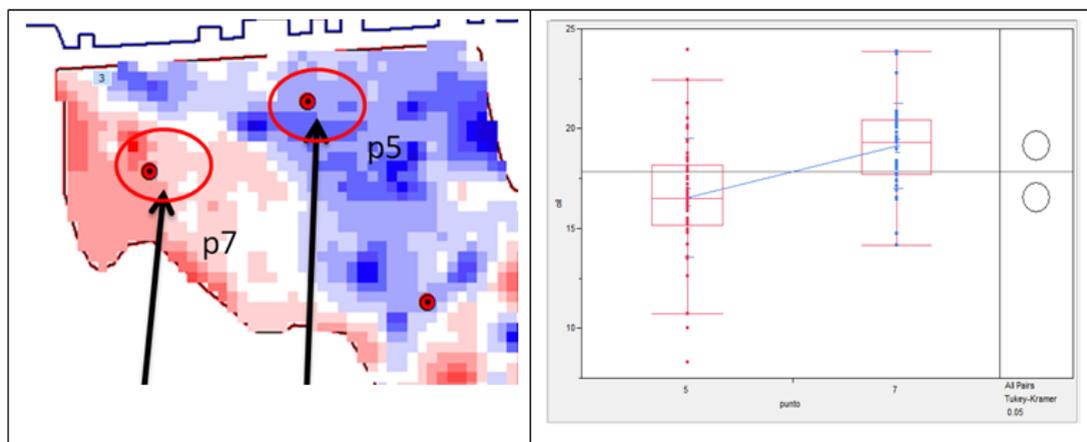


Figura 27. Comparación de los resultados de evaluación en puntos de muestreo 5 y 7 del cuartel cementerio, en donde se aprecia una diferencia significativa de 2 puntos porcentuales entre ambos puntos. Los tonos rojos representan 1 a 3 desviaciones estándar sobre el RFI medio, mientras que los tonos azules representan 1 a 3 desviaciones estándar sobre el RFI medio.

Otro ejemplo que se utilizó ICAS ha sido en el monitoreo de plagas en este huerto (Figura 28), en el cual utilizando los puntos definidos por ICAS ha permitido generar los planos espaciales de infestación de diferentes plagas (Figura 29), generando grandes ahorros por aplicaciones sectorizadas y no a la totalidad del área como comúnmente se realiza (tabla 2).

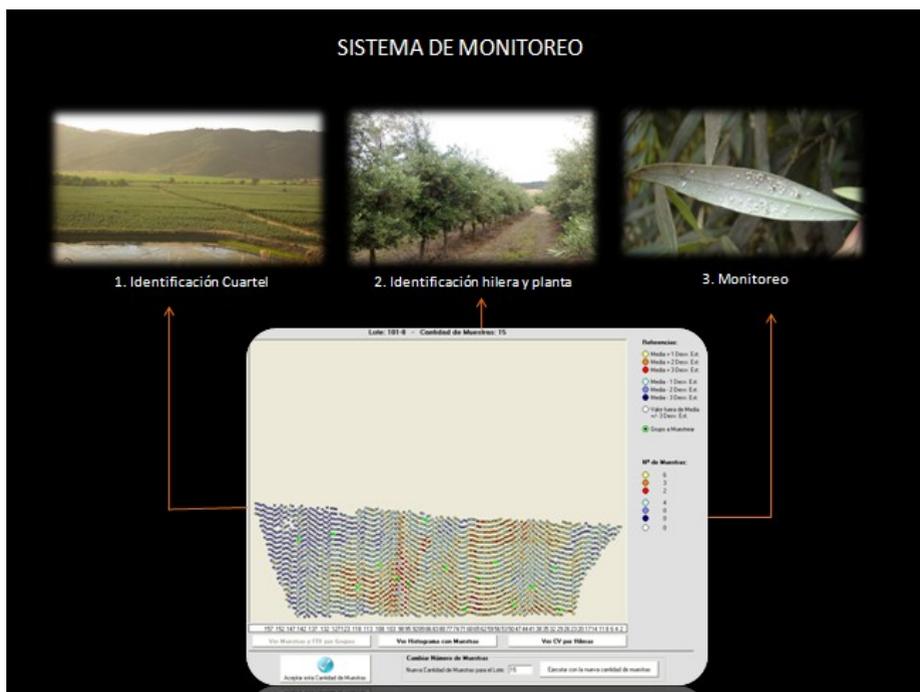


Figura 28. Localización de puntos muestrales utilizando el sistema ICAS.

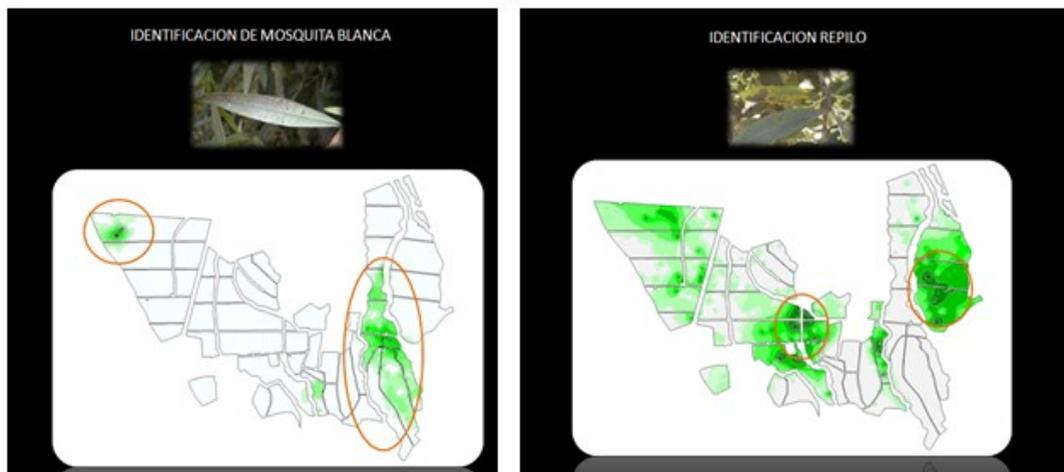


Figura 29. Niveles de infestación de Mosquita Blanca identificado por monitoreo en puntos definidos por ICAS.

Tabla 2. Aplicaciones diferenciales por sectores realizadas sobre la base de monitoreo realizado con ICAS.

PRODUCTO	PRECIO	DOSIS /HA	FECHA DE APLICACIÓN	CUARTEL	HA CUARTEL	HA APLICADAS	Costo Aplicación US\$
Hurricane	US\$220/kg	250 grs	20/10/2011	101-8	9.97	5.59	307.45
			5/11/2011	101-6	7.5	2.77	152.35
			2/11/2011	108-1	1.75	1.75	96.25
			2/11/2011	108-2	0.82	0.82	45.1
			3/11/2011	108-3	3.83	3.83	210.65
			3/11/2011	108-4	1.99	1.99	109.45
Total					25.86	16.75	US\$ 921.25

En conclusión, ICAS V1.1, ha demostrado ser una herramienta útil para la segmentación de predios sobre la base de imágenes obtenidas sobre plataformas aéreas, dentro las que se destacan las de tipo UAV dada la calidad y resolución que estas poseen. Esta herramienta de segmentación e identificación de puntos de monitoreo, es altamente útil para el manejo de huerto frutícola ya que permite ordenar la variabilidad de estos y sistematizar la información de monitoreo permitiendo visualizar claramente el valor económico de la información cuando esta es bien definida. Sobre la base de lo antes expuesto, el PROGAPINIA ha generado una alianza estratégica técnica comercial con la empresa de desarrollo de UAV Chile IDETEC, para dar salida de este producto utilizando los canales de comercialización de la empresa en cuanto a la venta de sus UAV y utilizando este desarrollo como valor agregado de su producto. Además, se estará trabajando en el avance de los sistemas térmicos aéreos para avanzar en lo correspondiente a déficit hídrico como se explica en este Libro.

- Best; S., L. León and M. Claret. 2005. Use of Precision Viticulture Tools to Optimize the Harvest of High Quality Grapes. En proceedings of Frutic05 congress, 7th edition of Fruit, Nut and Vegetable Production Engineering Symposium. Montpellier, France. P. 75.
- Best; S., Salazar, R., Bastias, R., Leon, L. (2008b). Crop load estimation model to optimize yield-quality ratio in apple orchards, Malus domestica Borkh, var. Royal Gala. Journal of Information Technology in Agriculture (JITAG).
- Choudhury, B.1987. Relationships between vegetation index, radiation absorption, and net photosynthesis evaluated by sensitivity analysis. Remote Sensing Environment. (22):209-233.
- Chuvieco, E. 2002. "Teledetección Ambiental".
- Fitzgerald, G.J., S.R. Kaffka, D.L. Lesch, and S.J. Maas. 1999. Detection of soil salinity effects on sugar beets using multispectral remote sensing. Proc. Agronomy Society meetings. Salt Lake City.
- FOODY, G. and BOYO, D. 12 de febrero de 2005. Mapping tropical forest biophysical properties from coarse spatial resolution satellite sensor data: applications of neural networks and data fusion, (On-line). http://divcom.otago.ac.nz/sirc/geocomp/geocomp98/45/gc_45.htm
- GARCÍA, M. 2005. Respuesta de la Vegetación a variaciones climáticas en praderas y sistemas adherados Mediterráneos. Metodología de Análisis utilizando datos hiperespectrales y multispectrales, (On-line). <http://www.aet.org/ecosistemas/articulo2.htm>
- Gamon, J.A., L. Serrano, and J.S. Surfus, 1997. The Reflectance Index: An optical indicator of photosynthetic radiation use efficiency across species, functional types, and nutrient levels. Oecologia. 112:492-501.
- Gitelson, A., and M. Merzlyak. 1996. Signature analysis of leaf reflectance spectra: algorithm development for remote sensing of chlorophyll. J. Plant Physiol. (148):494-500.
- HANSEN, P. y SCHJOERRING, J. (2003). Reflectance measurement of canopy biomass and nitrogen status in wheat crops using normalized difference vegetation indices and partial least squares regression. Remote Sensing of Environment, 86:542-553.
- Hall, A., Lamb, D.W., Holzapfel, B., Louis, J., 2002. Optical remote sensing applications in viticulture: a review. Aust. J. Grape Wine Res. 8, 36-47.
- Huete, A.R. 1988. A soil adjusted vegetation index (SAVI). Remote Sensing Environment. (25):295-309.
- HOFFHINE, E. and SADER, S. 2002. Detection of harvest type using dates of Landsat TM imagery. Remote Sensing of Environment. (80): 385-396.
- JENSEN, J. and JACKSON, M. 2005. The Remote Sensing Process, (On-line). <http://www.cas.sc.edu/geog/rslab/Rsc/fmod1.htm>
- Justice C., Townshend, Holben and Tucker. 1985. Analysis of the phenology of global vegetation using meteorological satellite data. International Journal of Remote Sensing. (6):1271-1283.
- Johnson, L., J. DeBenedictis, E. Weber, R. Baldy, B. Osborn, B. Lobitz, C. Hlavka, and D. Bosch. 1995. Examination of grapevine canopy and leaf reflectance for detection and monitoring of phylloxera-related damage to vineyards. Technical Abstracts, 46th Annual Meeting of the American Society for Enology and Viticulture, 22-24 June 1995, Portland OR, p. 25.
- Lamb, D.W., Hall, A. and Louis, J. 2001. Airborne remote sensing of vines for canopy variability and productivity. Australian Grapegrower & Winemaker 449:89-92.
- LUNETTA, R.; JOHNSON, D.; LYON, J. & CROTWELL, J. 2004. Impacts of Imagery Temporal Frequency on land-cover Change Detection Monitoring. Remote Sensing of Environment. (89): 444-454.
- LIU, M.; KAFATOS, R. and GOMEZ, H. 15 de febrero de 2005. Multi-angular Satellite Remote Sensing and forest inventory data for carbon stock and sink capacity in the eastern United States forest ecosystems, (On-line). www.isprs.org/istanbul2004/comm1/papers/101.pdf
- Pena-Yewtukhiw, E.M., G.J. Schwab, J.H. Grove, I.W. Murdock, and J.T. Johnson. 2008. Spatial analysis of early wheat canopy normalized difference vegetative index: Determining appropriate observation scale. Agron. J. 100:454-462.
- PRINS, E. and KIKULA, I. 1996. Deforestation and regrowth phenology in miombo woodland-assessed by landsat multispectral scanner system. Forest Ecology and Management. (84): 263-266
- PRADOS, M. 1995. Teledetección, agricultura y medio ambiente: el empleo de imágenes landsat-5 en el seguimiento y evaluación estadística de los regadíos en la cuenca baja del Guadalquivir. Madrid, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 10p.
- Price, J.C. and W.C. Baush. 1995. Leaf area index estimation from visible and near-infrared reflectance data. Remote Sensing Environ.
- ROGAN, J.; FRANKLIN, J. and ROBERTS, D. 2001. A comparison of methods for monitoring multitemporal vegetation change using Thematic Mapper imagery. Remote Sensing of Environment. (79):1-14.

- TARDIE, P. 2004. A change detection analysis: using remotely sensed data to assess the progression of development in Essex County, Massachusetts from 1990 to 2001, (On-line). <http://www.unh.edu/natural-resources/pdf/tardiepaper1.pdf>.
- Tucker, C.J., B. Holben, J.H. Elgin, and J.E. McMurtrey. 1981. Remote Sensing of total dry-matter accumulation in winter wheat. *Remote Sensing of Environment*. (11): 171-189.
- Vaesen, K., Gilliams, S., Nackaerts, K., Coppin, P., 2001. Ground-measured spectral signatures as indicators of ground cover and leaf area index: the case of paddy rice. *Field Crop. Res.* 69, 13-25.



MANEJO DEL AGUA EN HUERTOS OLIVÍCOLAS

Stanley Best S. Phd.

Rodrigo Quintana L. Ing. Agr. Mg.

MANEJO DEL AGUA EN HUERTOS OLIVÍCOLAS

Introducción

El agua es un recurso vital para la vida y su uso en el mundo se incrementa día a día a tasas preocupantes. En el año 1850 el consumo de agua en el mundo era de 100 km³ y en el año 2005 fue de 4000 km³, es decir, un aumento de 40 veces en un siglo y medio, lo que sumado al aumento poblacional y al incremento en el consumo de dicha población acrecentará los problemas de competencia de este recurso, proyectándose como uno de los recursos más limitantes en el corto plazo. Así, la utilización racional del recurso hídrico es un imperativo, que obliga a los países del mundo al desarrollo de estrategias de uso de sus recursos naturales, que incorporen como factor relevante la eficiencia de uso.

Por otra parte, a pesar de los avances en las definiciones de rendimiento y calidad asociada, todavía existe una brecha en la evaluación de las variables que los determinan. Dentro de estas variables, según nuestra experiencia y la de la literatura, la más importante corresponde al manejo hídrico del huerto.

Variosos son los estudios en los cuales se muestra la variación del estatus hídrico de plantas asociado a su relación con la especialidad y efectos en los rendimientos y calidad de fruta, en este sentido, existen metodologías ya establecidas que permiten evaluar la variabilidad dentro del huerto en cuanto a los suelos y la respuesta de la planta que permiten realizar segmentaciones acorde a esta variabilidad. Cabe destacar que el uso de modelos de localización de muestras, como el desarrollado por este proyecto y explicado en la sección de ICAS V1.1, integra el uso de sensoramiento remoto (imágenes de NDVI), es altamente importante ya que permiten tener una representación más exacta de las condiciones de variabilidad hídrica del huerto.

La evaluación de la variabilidad de los cultivos a través de las imágenes satelitales ha sido ampliamente empleada, correlacionado la información espectral con procesos biológicos del ecosistema terrestre como la evapotranspiración, el balance hídrico, intercepción de la radiación, producción primaria líquida de la cubierta vegetal, y producción primaria total. A partir de imágenes se puede extraer la información para la visualización de la cobertura vegetal a nivel predial e intrapredial, donde es posible evaluar la variabilidad de dichos cultivos tomando como base el índice vegetal NDVI explicado en la sección de ICAS de este informe.

Tal como ha sido señalado anteriormente, existe una variación temporal en los cultivos además de aquella producida espacialmente. De esta manera, es necesario abordar la problemática de la evaluación a través de los años para poder establecer fehacientemente cuales son las áreas más o menos estables en términos de vigor vegetativo. Lo anterior puede ser desarrollado mediante el uso de cualquiera de las metodologías que han sido descritas para la obtención del NDVI. Sin embargo, es muy deseable tener una base de datos consistente en términos temporales.

Bajo lo antes planteado, es altamente importante la posibilidad de una sectorización de los cuarteles en cuanto al desarrollo y actividad de biomasa, ya que esto nos dará una orientación de la producción y calidad existente. Con el uso de las tecnologías de teledetección multispectral aerotransportado orto rectificado, las características de vegetación de las zonas pueden ser evaluadas rápidamente tal como ha sido comprobado por este proyecto.

Así, si bien es cierto que se debe plantear un diseño de riego optimizado, para gestionar la variabilidad, si no hay una gestión de la programación de riego (frecuencia y carga de agua), no se alcanzarán los objetivos de aumento en rentabilidad, factor importante a considerar, si se desea demostrar el efecto real de la heterogeneidad de suelo en los rendimientos de los cultivos. Dentro de este punto, es fundamental el establecer una estimación de la condición de hídrica de las plantas. Por otra parte, ha sido difícil encontrar **índices o pronosticadores prácticos** del estatus hídrico de los cultivos que permitan direccionar una adecuada programación del riego. Así, dentro de esta temática, los **sensores de medición del estatus hídrico** en **el suelo** (Figura 1) son utilizados para evaluar indicadores de estrés más utilizados para la programación del riego. En general estos sensores son fáciles de usar y varios de ellos permiten tener un monitoreo continuo de las condiciones de humedad de suelo.

MANEJO DEL AGUA EN HUERTOS OLIVÍCOLAS

Implementación Estaciones de Monitoreo de humedad de suelo y características Meteorológicas a tiempo real

Para mostrar un ejemplo práctico de uso de estaciones automáticas e integración en un sistema predial, en adelante se explicará el sistema desarrollado en el predio en estudio en el cual fue llevado adelante el proyecto base que generó el conocimiento para desarrollar esta publicación. En el predio en estudio se implementó una red meteorológica sobre la base de la variabilidad vegetativa y edáfica existente en el predio (explicada en el informe anterior) y experiencia del personal local, gestándose una segmentación y localización de las estaciones automáticas como se presenta en la figura 1.

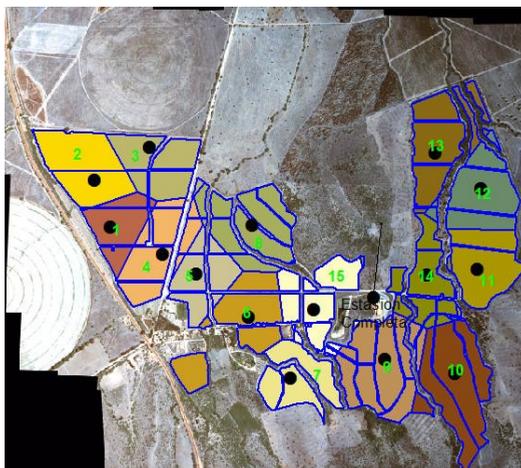


Figura 1. Localización de la red de estaciones automáticas y su área de incidencia por cuartel.

De la estación Meteorológica automática general se obtiene la información base para la generación de Eto mediante el uso de la ecuación de Penman Monteith, la cual será descrita en detalle su utilidad más adelante en este capítulo.

De las estaciones Meteorológica automática localizadas en el predio se obtiene información asociada a la temperatura, humedad relativa y humedad de suelo a diferentes profundidades para cada sector asociado, que permitirá trabajar el balance hídrico por cuartel y validar la información asociada al estrés hídrico en planta mediante la información obtenida en terreno con la bomba scholander y el sistema térmico desarrollado.

Se realizaron adquisiciones de estaciones Meteorológicas y su localización se efectuó utilizando la variabilidad del hurto capturada de la información de suelo (uso de conductividad eléctrica mediante el instrumento EM38 y muestras) y evaluación del cultivo con imágenes multispectrales e uso de ICAS (software desarrollado por Progap INIA, ver *Capítulo: Evaluación de la Variabilidad Espacial, Teledetección y como es su manejo*). Por otra parte, estas actualmente ya se comunican por GPRS a la plataforma de gestión desarrollada por el proyecto la cual se analiza en mayor detalle más adelante en este capítulo.



Figura 2. Estaciones meteorológicas automáticas localizadas en terreno con conexión GPRS directa a sistema de base de datos e internet.

MANEJO DEL AGUA EN HUERTOS OLIVÍCOLAS

Caracterización de niveles hídricos de las plantas**Análisis de humedad de suelo.**

En este capítulo se muestra el movimiento del agua de riego en todo el perfil del suelo (a diferentes profundidades) en las distintas zonas del predio los cuales, para lo cual se instalaron sensores FDR en el terreno tal como se muestra en la figura 3.



Figura 3. Secuencia de instalación de sensores FDR en terreno.

Sensores FDR (Reflectometría en el Dominio de la Frecuencia)

Son también conocidos como sensores de capacitancia ya que utilizan esta propiedad para medir el coeficiente dieléctrico (ϵ) de la matriz del suelo. Determinando la capacitancia se obtiene la constante dieléctrica y, en consecuencia, la estimación del contenido de agua del suelo.

Los FDR, requieren transformar la señal medida a valores de humedad volumétrica mediante un calibrado, el cual se realiza internamente en el procesador de datos. En la mayoría de suelos es suficiente con la calibración estándar (precisión del 5%), aunque dicha ecuación de calibración necesite ajustes específicos para suelos de mucha materia orgánica, muy arcillosos o salinos, pudiéndose conseguir entonces precisión en torno al 1-2 %.

Casi todos los instrumentos mencionados se desarrollaron para riego tradicional donde la humectación del terreno suele ser uniforme, lo que permite una más fácil interpretación de las tendencias. En riego localizado no se moja todo el suelo, solo los bulbos y el patrón de distribución de la humedad varía mucho según el tipo de suelo. Por ello, es bastante difícil determinar el volumen de suelo que realmente se moja. Además, dada la pequeña zona de influencia de todos estos sensores (a excepción de la sonda de neutrones), prácticamente miden la zona afectada por un solo gotero. Por ello, su instalación es muy crítica y son muy sensibles a posibles faltas de uniformidad del riego (goteros parcialmente obturados o con mayor caudal), así como a que el agua de riego les llegue adecuadamente.

En la gestión del manejo del riego, la gran ventaja de los instrumentos multisensor es el proporcionar la posibilidad de un registro “continuo” de datos a distintas profundidades del suelo y en la mayoría de los casos, puede ser suficiente analizar la tendencia que sigue el contenido de agua.

Muchos de los equipos FDR comerciales llevan asociados programas gráficos para análisis de los datos mediante ordenador en los que la humedad se puede presentar sensor a sensor o de forma acumulada para distintos sensores, indicando así el agua almacenada en una cierta capa de suelo. Mediante estos gráficos se puede obtener una idea del consumo diario por parte de las raíces y los intervalos nocturnos, tramos horizontales, en los que apenas hay extracción de agua (Figura 4. A,B). Como ya se comentó, para el manejo del riego por este procedimiento es necesario definir un límite superior (paro riego) y un límite inferior (inicio riego) de contenido de agua para la profundidad de suelo correspondiente a la ubicación del sistema radicular activo, que en el caso de la olivo puede llegar a 2 m, aún cuando en la mayoría de las situaciones en regadío una alta proporción de la extracción total de agua ocurre no más allá de los 160 cm.

MANEJO DEL AGUA EN HUERTOS OLIVÍCOLAS

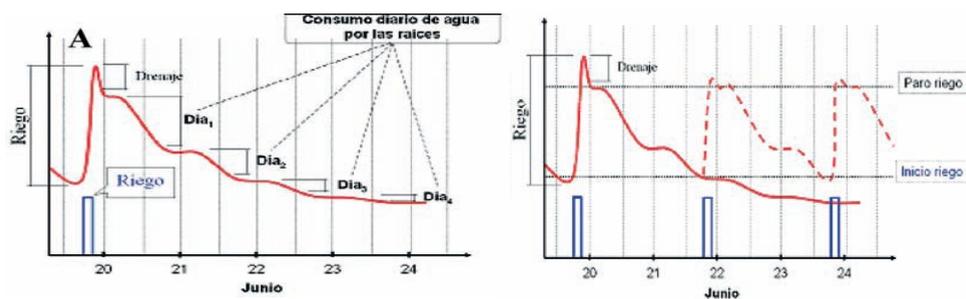


Figura 4. Esquema de visualización de información de humedad de suelo obtenidos por FDR. (A) Representación de la humedad volumétrica del suelo mediante sensor FDR y (B) decisión de riego en función del nivel de estrés considerado.

Evaluación de la instalación de los FDR en campo.

Para calibrar y evaluar los sensores FDR en campo se tomaron muestras de suelo en cada calicata de instalación de los FDR (Figura 4) tal como se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Información de Física de suelo asociada a puntos de muestreo e instalación de FDR (se muestran solo algunos puntos tomados).

Número Lab.	Identif. Muestra	Textura según Sist. U.S.D.A.(40" Y 120')				Clasificación Textural	1/3 ATM	15 ATM	RET.HUM.
		Arena	Limo	Arcilla	CC (%)		PMP (%)	1/3 - 15 ATM	
		-----%-----							
7466	CAL 1 (101-2)	62,9	23,4	13,7	FRANCO ARENOSO	13,89	7,18	6,71	
7467	CAL 1 (101-2)	67,0	21,3	11,7	FRANCO ARENOSO	10,83	5,55	5,28	
7468	CAL 3,1 (101-6)	50,8	29,4	19,8	FRANCO	16,99	8,05	8,93	

Para la evaluación de las condiciones físicas del suelo en cada uno de los puntos, se tomaron muestras de suelo y se llevaron a laboratorio para análisis. Además, se utilizó el sistema desarrollado por Keith Saxton de Washington State University y su aplicación Soil Water Characteristics (Figura 5), para la obtención del resto de las propiedades físicas del suelo.

MANEJO DEL AGUA EN HUERTOS OLIVÍCOLAS

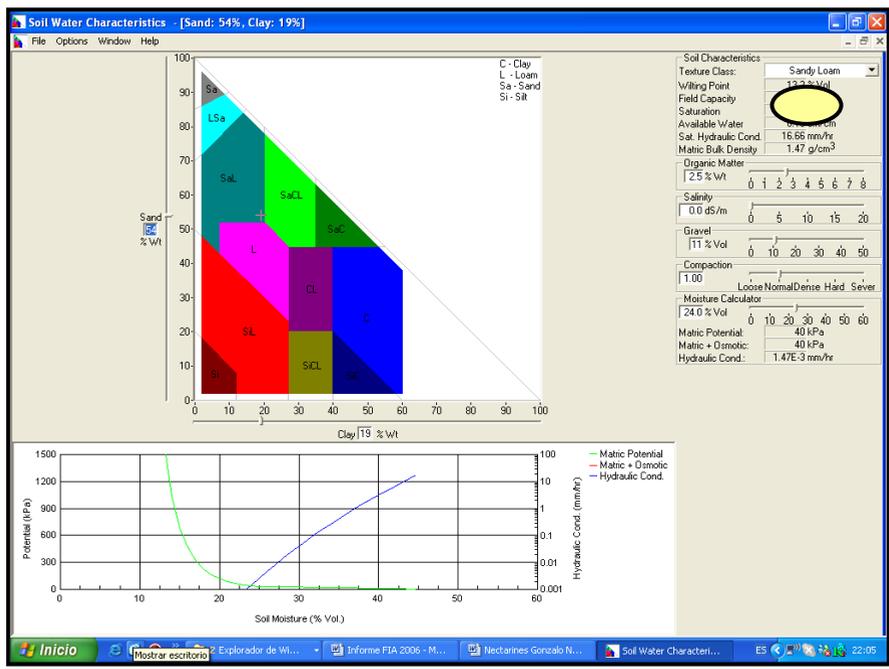


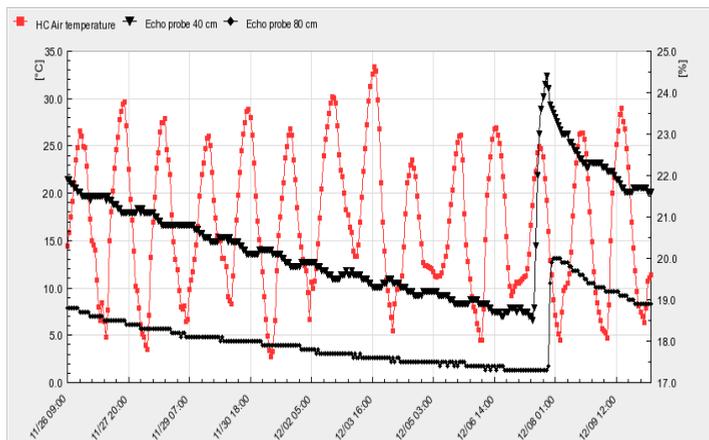
Figura 5. Representación gráfica de las características de suelo.

En base a la información obtenida de los sensores y de las características físicas de suelo se evaluaron los diferentes sensores instalados en terreno, presentándose un resumen a continuación de algunos de ellos:

Tabla2: Sensor asociado al Cuartel 101-2

Número Lab.	Identif. Muestra	Textura según Sist. U.S.D.A.(40" Y 120')			Clasificación Textural	1/3 ATM	15 ATM	RET.HUM.
		Arena	Limo	Arcilla		CC (%)	PMP (%)	1/3 - 15 ATM
		-----%-----						
7466	CAL 1 (101-2)	62,9	23,4	13,7	FRANCO ARENOSO	13,89	7,18	6,71
7467	CAL 1 (101-2)	67,0	21,3	11,7	FRANCO ARENOSO	10,83	5,55	5,28

MANEJO DEL AGUA EN HUERTOS OLIVÍCOLAS



Características de absorción de agua según triángulo de textura de suelo USDA

Cal 1 101-2	CC 20,4%	WP 10,4%
Cal 2 101-2	CC 18,5%	WP 9,2%

Observaciones:

Los niveles de las lecturas de ambas sondas están en conformidad con los valores de capacidad de suelo proporcionados por el análisis estructural.

La diferencia de nivel de humedad entre 40 y 80 cm es normal teniendo en cuenta que existía una diferencia inicial. Esta diferencia se mantiene en el tiempo aunque varía en función de la cantidad de agua que se aplica.

La tendencia de la curva del monitoreo a 15 días muestra perfectamente la evolución volumétrica del agua en el suelo.

Por otra parte, toda la información de los sensores localizados en terreno pueden ser monitoreados a tiempo real desde la plataforma internet desarrollada por el proyecto y que se presenta en la Figura 6, factor de alta utilidad para el manejo de riego dado en huerto, siendo un factor muy apreciado por la empresa en la cual se trabajó en este proyecto.

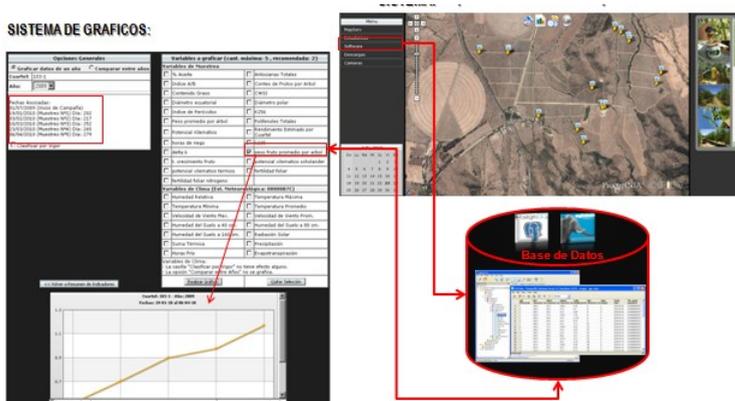


Figura 6. Plataforma de consulta en línea de información meteorológica y de variables obtenidas en terreno a tiempo real.

La obtención climática de los diferentes sectores del huerto ha permitido la generación de balances hídricos espaciales según sectores de riego del predio lo cual se detalla a continuación en este capítulo.

MANEJO DEL AGUA EN HUERTOS OLIVÍCOLAS

Balance Hídrico del suelo

La humedad del suelo se encuentra siempre en constantes cambios producidos por diversos factores. En un mismo campo, por ejemplo, con igual suelo, y la misma influencia de las condiciones atmosféricas, la humedad del suelo es desigual. Esta diferencia está determinada por el consumo de agua del suelo debido a la evapotranspiración de las plantas. La evapotranspiración depende a su vez del tiempo atmosférico, de la especie de la planta que se encuentre establecida, de su fase de desarrollo, del estado en que se encuentre, de la profundidad de su sistema radical y del contenido de humedad presente en el suelo.

El Índice de Humedecimiento para los cultivos representa la relación entre la necesidad hídrica de las plantas, el suministro de agua por las precipitaciones y la reserva de humedad productiva del suelo para el mismo período temporal dado. Esta representación del contenido de humedad en el medio donde se encuentran las plantas, ya esté en condiciones óptimas o en condiciones de exceso o déficit de humedad, puede cambiar considerablemente de un período temporal a otro e indica el comienzo, las condiciones normales y el fin de los períodos de crecimiento, húmedos y secos en que se encuentra la vegetación y además, otros aspectos de interés agrícola relacionados con el estado y manejo de cultivos, condiciones favorables para el desarrollo o no de plagas y enfermedades y otros aspectos.

Existen distintos procedimientos para determinar el contenido de agua en el suelo y poder relacionarlo con las necesidades de agua de las plantas y el riego, que han ido evolucionando al compás del desarrollo científico y tecnológico. En tal sentido, esta sección tiene por objetivo utilizar distintas herramientas para obtener información adecuada del comportamiento del agua de riego en las distintas zonas de vigor. En este caso para el desarrollo del balance hídrico en el suelo se utilizaron herramientas de evaluación de humedad de suelo, horas de riego aplicadas por sector de riego y la Etr del cultivo asociado a la siguiente ecuación:

$$\text{Humedad suelo (Lt - cm de suelo)} = \text{Riego (Lt/planta)} - \text{Etc (Lt/planta)}$$

La información de la Etc se obtiene desde la información meteorológica el Eto y del método FAO la estimación de la evapotranspiración del cultivo (ETc) empleando la expresión:

$$\text{ETc} = \text{Eto} \cdot \text{kc} \cdot \text{Kr}$$

Al no disponerse de información para el caso del olivar, el coeficiente reductor kr podría estimarse de forma aproximada en base al porcentaje de superficie del suelo cubierta por la copa de los olivos (Sc):

$$\text{kr} = \frac{2 \cdot \text{Sc}}{100}$$

Así este coeficiente de sombreado kr toma valores comprendidos entre poco más de 0 para un olivar recién plantado, hasta 1 para un olivar adulto e intensivo en condiciones de riego, situación sobre la cual se encuentra nuestro estudio.

Por otra parte, el coeficiente kc es el denominado coeficiente de cultivo, que debe ser determinado experimentalmente, y que en olivo puede tomar valores comprendidos entre 0,55 y 0,65 según los diferentes meses del año, empleándose la cifra menor en verano siempre que se riegue por goteo y se desprecien las lluvias producidas en esta época. En la siguiente Figura 7, se muestran los valores para condiciones de Chile obtenidos en investigaciones realizadas por el INIA Platina.

MANEJO DEL AGUA EN HUERTOS OLIVÍCOLAS

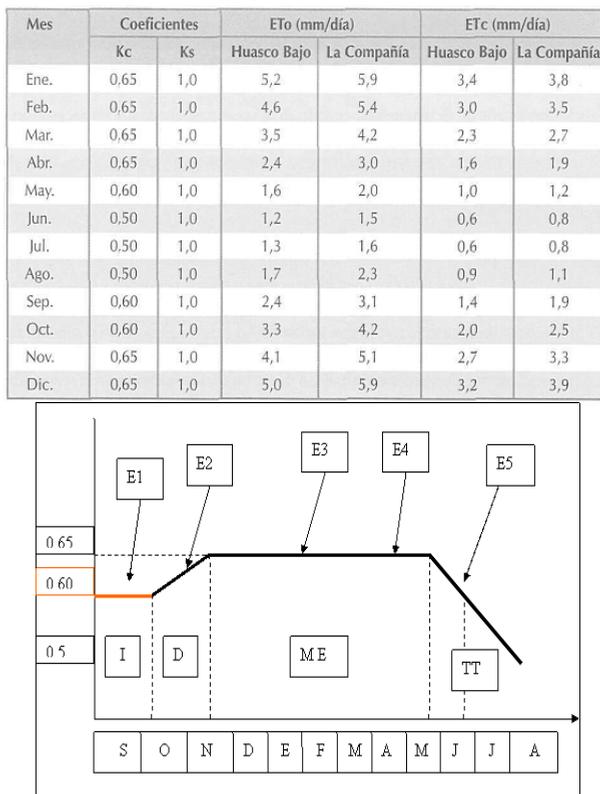


Figura 7. Valores de kc y evolución de este durante el periodo fenológico del cultivo.

Se observan principalmente cuatro etapas del cultivo:

Inicio (I): de la temporada hasta la aparición de primordios florales (Etapa 1). Esta fase ocurre en el mes de septiembre y principios de octubre, con valor de Kc de 0.6 que se mantiene constante.

Desarrollo del cultivo (D): comienza en octubre con un Kc de 0.6 hasta floración y cuaja (Etapa 2) en el mes de noviembre (su duración depende de las temperaturas, si estas son muy bajas el período de floración se alarga) con un Kc de 0.65.

Media estación (M): ocurre crecimiento de brotes, desarrollo del fruto y caída de frutos 6 semanas después de plena flor en el mes de diciembre-enero (Etapa3) con un Kc de 0.65 se mantiene constante, hasta llegar al periodo de fin de cosecha (Etapa 4) en el mes de abril- mayo.

Temporada tardía (TT): luego de la etapa del fin de cosecha (Etapa 4) de un Kc de 0.65 baja a 0.6 al llegar el final de la temporada de riego (Etapa 5) en el mes de junio para luego entrar en la etapa de receso invernal donde el valor de Kc baja hasta 0.4-0.55.

Cabe destacar que el desarrollo de los kc, estarán asociados a las condiciones climáticas imperantes y la condiciones edáficas del área, el estado de desarrollo y calidad de la planta y finalmente y no menos importante el nivel de carga que posean los árboles (Figura 8), todas la variables antes mencionadas deben estar asociadas según la condición de sitio o variabilidad espacial del huerto para su análisis.

MANEJO DEL AGUA EN HUERTOS OLIVÍCOLAS

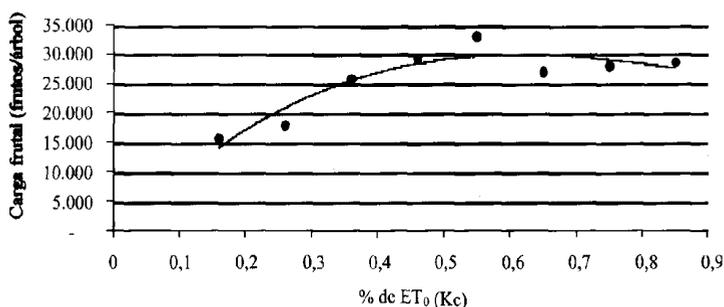


Figura 8. Relación entre coeficiente de cultivo (Kc) utilizado y la carga frutal (tomado de Goldhamer et al., 1994)

Sin embargo, como ya se ha indicado, las condiciones de suelo son altamente variables, por lo tanto, la elección de los sitios en los cuales será monitoreado el estatus hídrico del suelo es problemático. El contenido de agua en el suelo, al ser espacialmente variable dentro del huerto, es necesario un gran número de mediciones (cuando no existe una buena representación espacial de la variabilidad) en orden a representar apropiadamente el status hídrico, así, transformar estas mediciones en una estimación de la disponibilidad de agua y la generación de límites o umbrales para la programación del riego, son complejos. A pesar de estas limitaciones, los productores en Chile siguen empleando ampliamente varias de estas tecnologías, generando sus umbrales de riego empíricamente, las cuales no siempre son funcionales debido a la variabilidad antes mencionada.

Por otra parte, los **indicadores de estatus hídrico** a través de mediciones **en planta** han sido principalmente usados en investigación en fisiología ambiental y riego, y su aplicación práctica para la programación del riego ha sido limitada, existiendo un creciente interés en métodos que dependen de respuestas de la planta al estrés hídrico. Así, se han empleado los potenciales de hoja y xilemático, los cuales han sido los parámetros de planta más extensamente utilizados para la programación del riego en frutales y existen variados estándares relacionado a esta variable fisiológica que se incluyó como variable de estudio en este proyecto. Esta medición es posible de realizar a través del uso de una bomba de presión (Scholander, 1964). Particularmente en el caso de la medición del potencial hídrico xilemático, se presenta como un excelente indicador del status hídrico.

El potencial xilemático proporcionar información básica para caracterizar la variabilidad dentro del huerto en cuanto a los suelos y la respuesta de la planta que permiten mejorar la segmentaciones acorde a esta variabilidad integrada de suelo-planta. Por otra parte, el crecimiento celular es uno de los procesos fisiológicos más sensibles al déficit hídrico, ya que la sequía severa reduce el área foliar y acelera la senescencia de las hojas maduras; además, la fotosíntesis y la transpiración se alteran debido a la reducción de la turgencia, el cierre estomático y el bloqueo de la difusión del CO₂ hacia el mesófilo. Por lo tanto, es conveniente caracterizar las especies cultivables en cuanto al grado de adaptación a la sequía y evaluar el comportamiento fenotípico y el fisiológico, el cual se puede caracterizar mediante el ajuste osmótico y en elasticidad de la pared celular, entre otros (Figura 9).

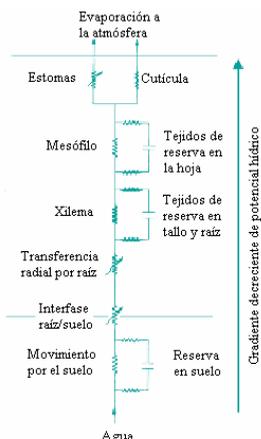


Figura 9: Modelo de resistencia estomática en la planta.

MANEJO DEL AGUA EN HUERTOS OLIVÍCOLAS

El estado hídrico en las plantas se puede describir cuantitativamente mediante el potencial hídrico. Este factor controla y explica el movimiento del agua en el continuo suelo-planta-atmósfera, así como entre células, tejidos y órganos. El potencial hídrico se determina mediante instrumentos como el psicrómetro de termopares y la cámara de presión. En 1965, Scholander y cols desarrollaron una técnica para medir el potencial hídrico en unidades de presión (Figura 10).

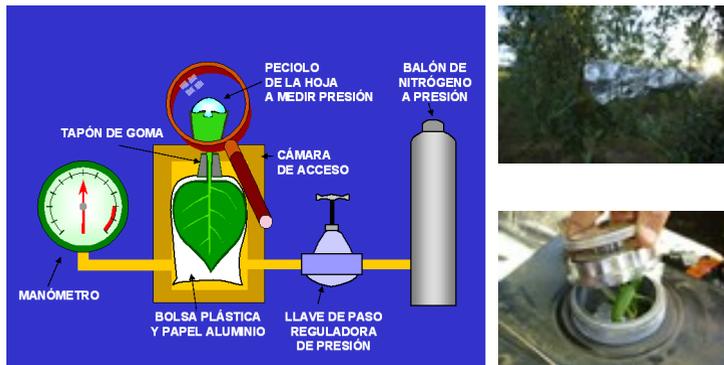


Figura 10. Esquema de funcionamiento de bomba scholander e imágenes obtención de potencial xilemáticos en campo.

El método consiste en aplicar presión sobre una hoja cortada hasta que aparece el agua en el extremo seccionado del tallo o del peciolo. Se interpreta que la presión positiva aplicada a la hoja corresponde a la presión negativa o tensión con la cual el agua estaba retenida en el interior del tallo antes de cortarse.

Sin embargo, la técnica de potencial xilemático mediante bomba scholander es demasiado ardua, fundamentalmente en cuanto a tiempo y mano de obra para su implementación en condiciones de terreno, además de ser una metodología destructiva, pues se requiere la extracción de hojas para la determinación, factor que se ha podido comprobar por el equipo de trabajo en estudios realizados en viñedos y también en frutales de predios comerciales. La integración de este tipo de información con sistemas basados en sensoramiento remoto permite el uso de modelos (Best et al., 2009 y 2012), los cuales permiten tener una representación más exacta de las condiciones de variabilidad hídrica espacial del huerto. Teniendo en cuenta que la diferencia de temperatura de la vegetación (T_c) y aire (T_a) han sugerido una relación con déficit hídrico en plantas como por ejemplo $T_c - T_a$ altos están presentes en plantas con mayor déficit hídrico, y los valores más bajos a plantas bien regadas, se puede pensar que este factor puede correlacionar con índices de estrés hídrico como los ya mencionados (potencial xilemático en planta).

En la última década se ha progresado en la tecnología de infrarrojos en el desarrollo de sensores más ligeros (Jones et al., 1999), con mejores ángulos de visión (FOV) y con mayor información espectral, teniendo los sensores térmicos de infrarrojos (IRT) (capturas de imágenes térmicas) una alta potencialidad para la estimación de temperatura de superficie de la vegetación y finalmente, al calibrarse estos, eficaces para la detección de estrés hídrico en huerto (Jones et al., 2002).

Así, sobre lo antes expuesto, en los puntos de muestreo antes mencionados, se efectuó simultáneamente la obtención de los potenciales hídricos de las plantas (potencial xilemático) mediante la utilización de una bomba Scholander, con el fin de correlacionar el índice derivado de la termografía con el potencial xilemático de planta determinado con la bomba Scholander. Para tal efecto se debió realizar un trabajo de calibración y desarrollo de una aplicación que permita realizar este ajuste automatizado para poder ser útil a nivel de productor y por lo tanto comercializable.

MANEJO DEL AGUA EN HUERTOS OLIVÍCOLAS

SISTEMA DE TERMOGRAFÍA PARA DETECCIÓN DE ESTRÉS HÍDRICO

El estudio tipo presentado en este capítulo, se centro en un huerto comercial olivícola localizado en Rapel, Región Metropolitana, Chile durante el periodo productivo 2009-2010-2011 y 2012 en cuarteles de 5 has promedio sobre *Var. Arbequina*. El objetivo principal que se buscó en esta investigación es la “obtención de un índice de predicción de niveles hídricos de un huerto olivícola, mediante el desarrollo de una aplicación de evaluación del nivel de estrés en plantas mediante el uso de información termal”.

La programación general de la presente investigación se desarrolló en tres etapas que correspondieron a: (a) Etapa I: Obtención de información empírica en terreno y análisis preliminares, (c) Etapa II: Desarrollo de plataforma digital automatizada. (d) Etapa III: Análisis definitivos. Correlación del índice termal evaluado y estatus hídrico real medido en terreno.

Etapa I.- Obtención de información empírica en terreno y análisis preliminares:

La localización de puntos en terreno fue desarrolla sobre la base de una distribución estadística de la variabilidad vegetativa existente en el terreno obtenida de las imágenes multispectrales y el uso del software ICAS 1.1. Dicho software se basa en el uso de imágenes multispectrales para el desarrollo de la variabilidad del índice NDVI por copas en huerto, variable sobre la cual mediante el uso de sistemas esterológicos estadísticos segmenta y localiza puntos de monitoreo sobre los cuales se capturaron las imágenes antes mencionadas y otras variables descritas en este libro. El formato de trabajo de este sistema puede visualizarse en la figura 11 y está ampliamente descrito en este Libro en el Capítulo atingente al software ICAS 1.1 y gestión de plataforma digital y telemetría.

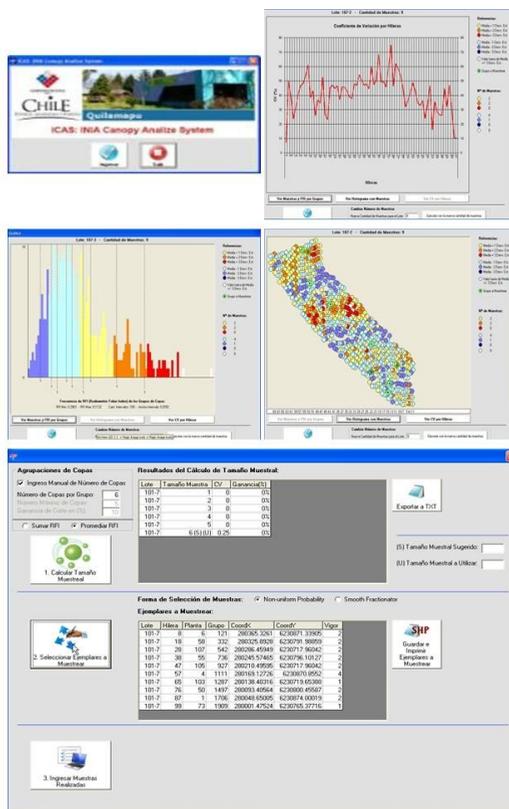


Figura 11. Imagen principal de icas 1.1 (a), variabilidad por hilera existente en el cuartel (B), plano de variabilidad de NDVI y distribución poblacional existente de las variables con los puntos seleccionados de monitoreo (C) y finalmente localización espacial de los puntos de monitoreo (D).

MANEJO DEL AGUA EN HUERTOS OLIVÍCOLAS

El sistema, mediante el modulo de gestión de puntos de monitoreo (Figura 12), permite importar la información de los puntos seleccionados a Excel para ser impresas y llevadas a terreno para la identificación de cada imagen térmica obtenida en terreno para su posterior análisis, el cual será explicado más adelante en este informe. Por otra parte, también permitirá la exportación de la información a las bases de datos espaciales y temporales de la plataforma de gestión productiva que será explicada en detalle más adelante en este informe.

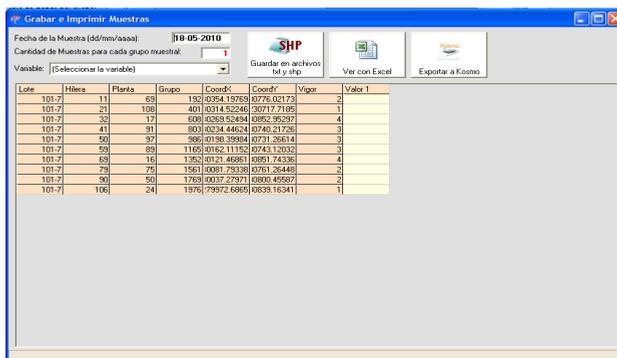


Figura 12. Imagen del modulo de gestión de puntos de monitoreo.

Para la captura de las termografías de las plantas, se utilizó una cámara termal FLUKE asociada al uso del software Smart-View para el manejo de las imágenes obtenidas durante la adquisición de información en terreno (fig 13), debido al formato de imágenes encriptado de este tipo de equipos, se deben traducir a formatos matriciales de texto para poder ser trabajadas, lo cual se realiza con este software, siendo este paso tan solo abrir la imagen fluke y exportarla a formato texto (*.txt) lo cual es altamente fácil y no complica el uso práctico de esta metodología.



Figura 13. Capturas de imágenes térmicas en terreno.

Por otra parte, antes de la captura de cada termografía, se debió ajustar en el programa de manejo de la cámara termal la temperatura ambiente, humedad relativa del aire, y la distancia entre la cámara y la canopia, usualmente 1.5 m por el problema de resolución de pixeles de la imagen, factor de real importancia y que será explicado en detalle más adelante en este capítulo. La emisividad de la canopia se consideró constante, con un valor de 0,98. La obtención de las imágenes térmicas en terreno, consistió en capturar termografías simultáneamente a la medición en los mismos puntos de con bomba scholander. Las mediciones se efectuaron durante días totalmente despejados para evitar distorsiones ambientales, entre las 11:30 y 14:30 hrs, considerando fechas de captura distribuidas los meses de Diciembre, Enero, Febrero y Marzo de las temporadas 20010/11 y 12.

La obtención de estos datos se dirigió con una periodicidad de 1 muestreo de tres árboles (en potencial y termografías) para todos los puntos distribuidos en 7 fechas de muestreo (para ambas temporadas), las cuales han servido como base para establecer un índice de monitoreo de estrés hídrico en olivos.

MANEJO DEL AGUA EN HUERTOS OLIVÍCOLAS

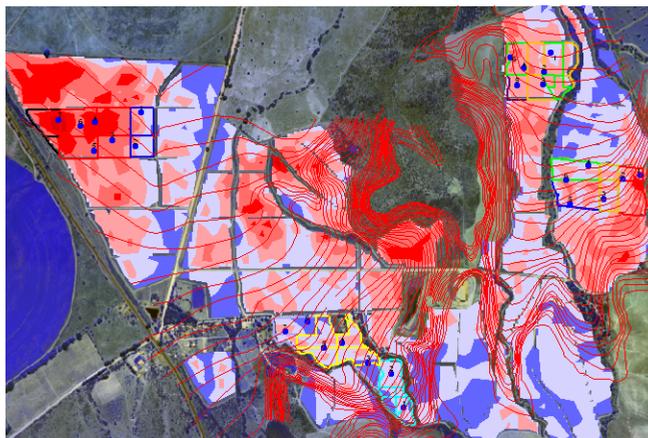


Figura 14. Localización de puntos de muestreo de potenciales y termografías en los cuarteles en estudio.

Etapa II: Desarrollo de plataforma digital automatizada.

Las imágenes térmicas tabulares (raw thermal images) fueron obtenidas en el formato del sistema Fluke y convertidas a imágenes térmicas, las que son exportadas en formato Texto. Para el análisis de los datos obtenidos, se tuvo que desarrollar un software diseñado en inicialmente sobre la base de Matlab (R2007b, Mathworks Inc.) diseñado por nuestro equipo de trabajo para trabajo de calibración y finalmente cuando se logra ajustar el sistema, se traspasa a Visual.net, lenguaje más rápido y eficiente de proceso para el empaquetamiento.

Teoría y ecuaciones

Como indicador del estatus hídrico derivado de las termografía obtenidas de los olivos. Se utilizó el “índice de estrés hídrico de cultivo” o CWSI, según la relación propuesta por Jones (1999), siendo expresado como:

$$CWSI = \frac{(T_{cr} - T_{cm})}{(T_{cx} - T_{cm})}$$

Donde, para una particular condición de déficit de presión de vapor,

T_{cr} : Temperatura foliar o de canopia promedio.

T_{cm} : Temperatura mínima de canopia para el cultivo (no estresado).

T_{cx} : Temperatura máxima de canopia para el cultivo (estresado).

Un CWSI con un valor de 0 indica que el cultivo no presenta estrés hídrico, mientras que un CWSI de 1, significa un estrés hídrico máximo para este cultivo. Para la obtención de los valores de T_{cm} y T_{cx} en terreno se plantearon diferentes modalidades de obtención como trabajar sobre base teórica física de estos valores utilizando modelos empíricos existentes (Idso, 1982) o el modelo propuesto por Jones (1999) de balance de energía dejando ver ambas propuestas serias limitaciones del orden práctico de ser llevadas a cabo en un formato empresarial de terreno. Así, evaluando la teoría en la cual se basa el CWSI, se decidió desarrollar un modelo sobre el cual la hipótesis fue que las zonas de vigores más bajos se localizan plantas que están bajo estrés (T_{cx}) y las de vigores más altos las que están bien hidratadas (T_{cm}). La detección de estas temperaturas durante toda las evaluaciones de la temporada nos permiten determinar estas temperaturas y prefijarlas, en especial la de T_{cx} que no se ve afectada mayormente entre temporadas y permitirán el ajuste adecuado del modelo como se explicará más adelante en los resultados.

MANEJO DEL AGUA EN HUERTOS OLIVÍCOLAS

Para evaluar el grado de ajuste del modelo se utilizó el índice estadístico de error medio cuadrático del valor estimado de potencial xilemático para cada dato real obtenido en terreno. El error típico es una medida de la cuantía de error en el pronóstico del valor de y para un valor individual del x . La ecuación para el error típico del valor y pronosticado es:

$$\sqrt{\frac{1}{(n-2)} \left(\sum (\hat{y} - y)^2 - \frac{[\sum (\hat{x} - \bar{x})(y - \bar{y})]^2}{\sum (\hat{x} - \bar{x})^2} \right)}$$

Donde x e y son las medidas de muestra conocidos (x) y estimadas (y) y n es el tamaño de la muestra.

Descriptores estadísticos de estratos para la segmentación de imágenes térmicas.

Definiendo a la imagen térmica A como un arreglo matricial de orden $n \times m$ definida previamente por la resolución del instrumento, entonces podemos definir a:

$$A_{n \times m} = f(T, d) = \begin{bmatrix} a_{1,1} & \dots & a_{1,m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n,1} & \dots & a_{n,m} \end{bmatrix}_{xm}$$

Sea z la intensidad discreta del arreglo $A_{n \times m}$, entonces definiendo convenientemente el momento n -ésimo de z con respecto a la media m se tiene:

$$\mu_n(z) = \sum_{i=1}^L (z_i - m)^n \cdot p(z_i)$$

Donde $p(z_i)$ corresponde al i -ésimo histograma con $i = \overline{1, L}$, tomando la media ponderada de cada histograma se obtiene la media discreta como:

$$m = \sum_{i=1}^L z_i \cdot p(z_i)$$

MANEJO DEL AGUA EN HUERTOS OLIVÍCOLAS

Una vez obtenidas las medidas texturizadas mediante histogramas, presentan la limitación de no contener información referente a la posición relativa de cada píxel con respecto a otros píxeles similares. Para solucionar este problema, es necesario considerar la posición junto con sus valores relativos de intensidad media. Definiendo la *matriz de co-ocurrencia* como

$C_d[i, j]$, donde d representa el desplazamiento en las direcciones Δ y Δ . Para efectos prácticos es conveniente

normalizar la matriz para obtener resultados homogéneos, donde N_d representa la *matriz de co-ocurrencia normalizada*, que queda definida por:

$$N_d = \frac{C_d[i, j]}{\sum_i \sum_j i + j \cdot C_d[i, j]}$$

[0,1]

Al normalizar los datos térmicos, la matriz co-ocurrencia queda acotada entre

Las matrices de co-ocurrencia capturan propiedades de texturas pero no pueden ser utilizadas directamente para comparar dos temperaturas. Utilizando la matriz de co-ocurrencia normalizada se pueden calcular ciertas características que describen las temperaturas de manera más compacta.

Haciendo una analogía entre texturas y temperaturas, podemos hallar el estrato o cluster deseado, donde las propiedades de energía, entropía, contraste, homogeneidad y correlación juegan un papel importante a la hora de encontrar una clara diferenciación de estratos térmicos.

Descriptores de Texturas para la segmentación de imágenes térmicas.

Un problema al derivar mediciones de texturas utilizando la matriz de co-ocurrencia es como elegir el tamaño del despla-

miento d . Una solución posible es utilizar la prueba estadística de χ^2 para seleccionar el o los valores de d que sean más representativo de la estructura, es decir, maximizar su valor:

$$\chi^2(d) = \left(\sum_i \sum_j \frac{N_d^2[i, j]}{N_d[i] \cdot N_d[j]} - 1 \right)$$

Donde:

$$N_d[i] = \sum_j N_d[i, j] ; N_d[j] = \sum_i N_d[i, j]$$

MANEJO DEL AGUA EN HUERTOS OLIVÍCOLAS

Desarrollo de plataforma digital.

Debido a la necesidad de generar un mecanismo que sea capaz de ser autónomo y fiable de análisis, se desarrollo una plataforma digital en MatLab (R2007b, Mathworks Inc.), la cual integra los resultados de esta investigación a un sistema automatizado de análisis (figura 15).

Este desarrollo integra todos los procesos antes descritos para la obtención del análisis termográfico de las imágenes capturadas en terreno, asociados a las curvas de calibración entre potencial xilemático y CWSI obtenido a partir de las imágenes y que será descrito en la sección de resul-

tados.



Figura 15. Pantalla principal de software de estimación de potencial Xilemático derivado de capturas térmicas.

El primer paso es el ordenamiento de las capturas por carpetas según fechas las cuales son accedidas desde el botón de buscar carpetas de la pantalla principal (Figura 16, A), de estas se accede a los archivos de imágenes a procesar (Figura 16, B), para posteriormente iniciar el proceso de análisis mediante el uso del botón del mismo nombre localizado en la pantalla principal (Figura 16, A). El proceso del software puede realizar en el formato batch sin visualización del proceso o puede inicializarse con la visión de las figuras procesadas con la segmentación que se está realizando en la imagen a imagen (original y procesada, Figura 16, C), de tal forma de tener una visualización del proceso que se está llevando a cabo por posibles problemas en errores en la captura de la imagen. Sin desmedro a lo anterior, se han tomado las providencias en el desarrollo de la aplicación para que este tipo de problemas no sucedan, sin embargo, debido a que tan solo se han procesado cerca de 800 imágenes puede ocurrir este problema con una mayor cantidad de imágenes a desarrollar y podrá servir para visualizar posibles problemas.

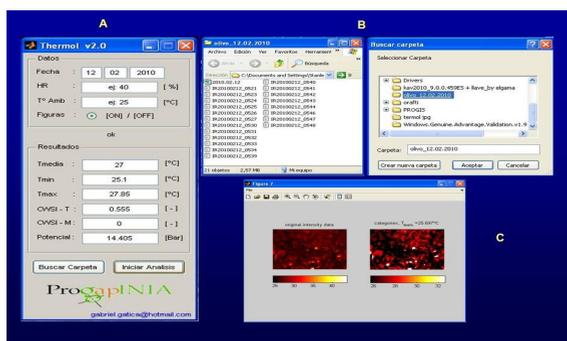


Figura 16. Pantalla principal de software desarrollado con el ingreso de información y resultados (A). Pantallas de direccionamiento del sistema a la localización de imágenes (B) y vista de imágenes, original y procesada, que el sistema deja visualizar si se activa el botón de figuras de la pantalla central.

MANEJO DEL AGUA EN HUERTOS OLIVÍCOLAS

Terminado el proceso de análisis de la aplicación, este genera un archivo Excel que es incorporado en el mismo directorio de las imágenes analizadas, el cual contiene toda la información del proceso como las Tmin, Tmedia, Tmax, CWSI, y potencial xilemáticos estimado (Figura 17).

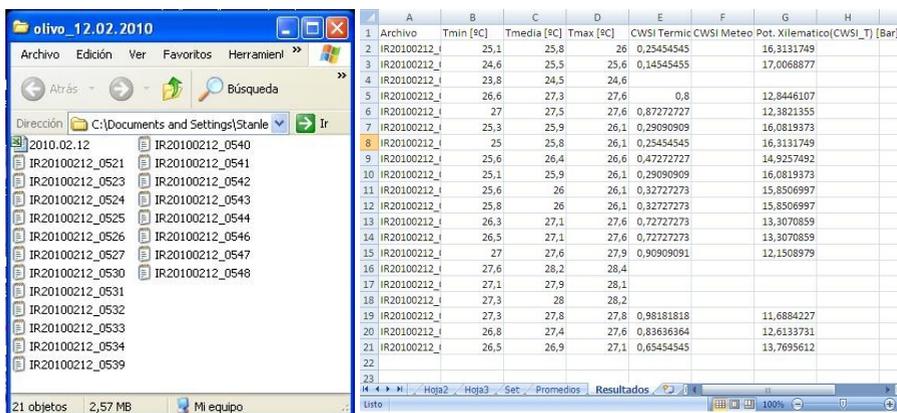


Figura 17. Directorio y archivo Excel de salida de la aplicación Thermol V 2.0 desarrollada.

El desarrollo antes mencionado poseía falencias en rapidez de trabajo ya que sobre plataforma MatLab, si bien tiene bondades de uso de librerías prediseñadas de algoritmos, la falencia que los ejecutables son poco personalizables, son bastantes pesadas ya que incluye diferentes librerías que lo hacen lentos de ejecución y requerimientos de instalación de MatLab. Por lo tanto, se decidió migrar el sistema a Visual.Net que es bastante más dinámico, personalizable, y rápido de ejecución factor muy importante debido a la alta cantidad de imágenes potenciales a procesar por día. Así, se generó el sistema Thermol V 2.1 (figura 18) al cual se le realizaron diferentes adelantos en cuanto a falencias que tenía el sistema V 2.0.

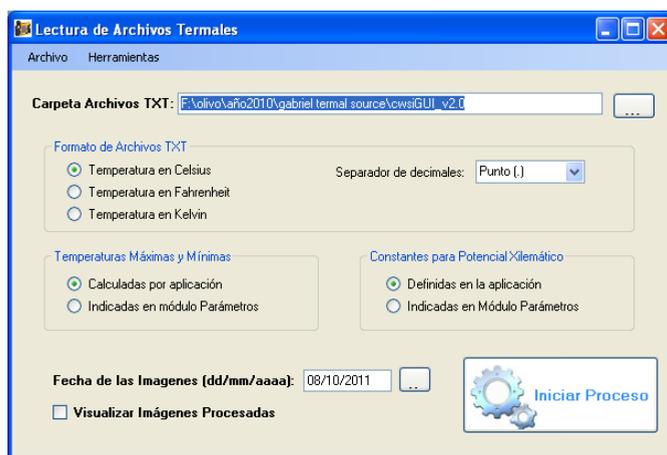


Figura 18. Pantalla Principal de la aplicación Thermol V 2.1.

MANEJO DEL AGUA EN HUERTOS OLIVÍCOLAS

En esta versión se mejoró por ejemplo la posibilidad de trabajar bajo diferentes temperaturas, direccionamiento de archivos de trabajo, ajuste de puntuación, utilizar diversos tipos de constantes las cuales son ingresadas en la sección herramientas/ parámetros como se puede ver en la figura 19.



Figura 19. Pantalla Principal y venta para ingreso de parámetros del sistema.

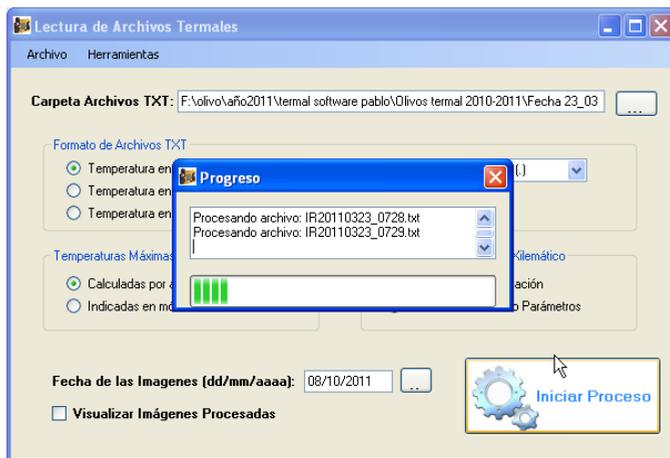


Figura 20. Pantalla de proceso del sistema.

MANEJO DEL AGUA EN HUERTOS OLIVÍCOLAS

Terminado el ingreso de variables se ejecuta el programa, el cual va mostrando imagen por imagen el trabajo de segmentación y definición térmica lo que servirá para ver posibles errores que se escapen al sistema si es que existen, este a la vez genera el mismo archivo Excel con los resultados mostrados anteriormente y que también realizaba el sistema anterior.

Finalmente, la información obtenida de potencial son integradas al sistema ICAS 1.1 de gestión de información de datos de monitoreo (Figura 21). Los cuales son enviados directamente al sistema de base de datos de la plataforma de gestión productiva (<http://www.oliviculturadeprecision.cl/>, Figura 22) y ser visualizada por internet desde cualquier parte del mundo.

Lote	Hileras	Planta	Grupo	CoordX	CoordY	Vigor	Valor 1
101-7	11	69	192	0394.19763	0776.02173	2	
101-7	21	106	401	0314.52246	00717.71885	1	
101-7	22	17	608	0263.52434	0982.98297	4	
101-7	41	91	803	0234.44624	0740.21726	3	
101-7	50	97	888	0198.39984	0731.26614	3	
101-7	59	69	1165	0162.11152	0743.12032	3	
101-7	69	16	1392	0121.48581	0981.74338	4	
101-7	79	75	1561	0081.79338	0761.26448	2	
101-7	90	50	1763	0037.27971	0800.45587	2	
101-7	106	24	1976	79972.6865	0039.16341	1	

Figura 21. Imagen del modulo de gestión de puntos de monitoreo.

MANEJO DEL AGUA EN HUERTOS OLIVÍCOLAS

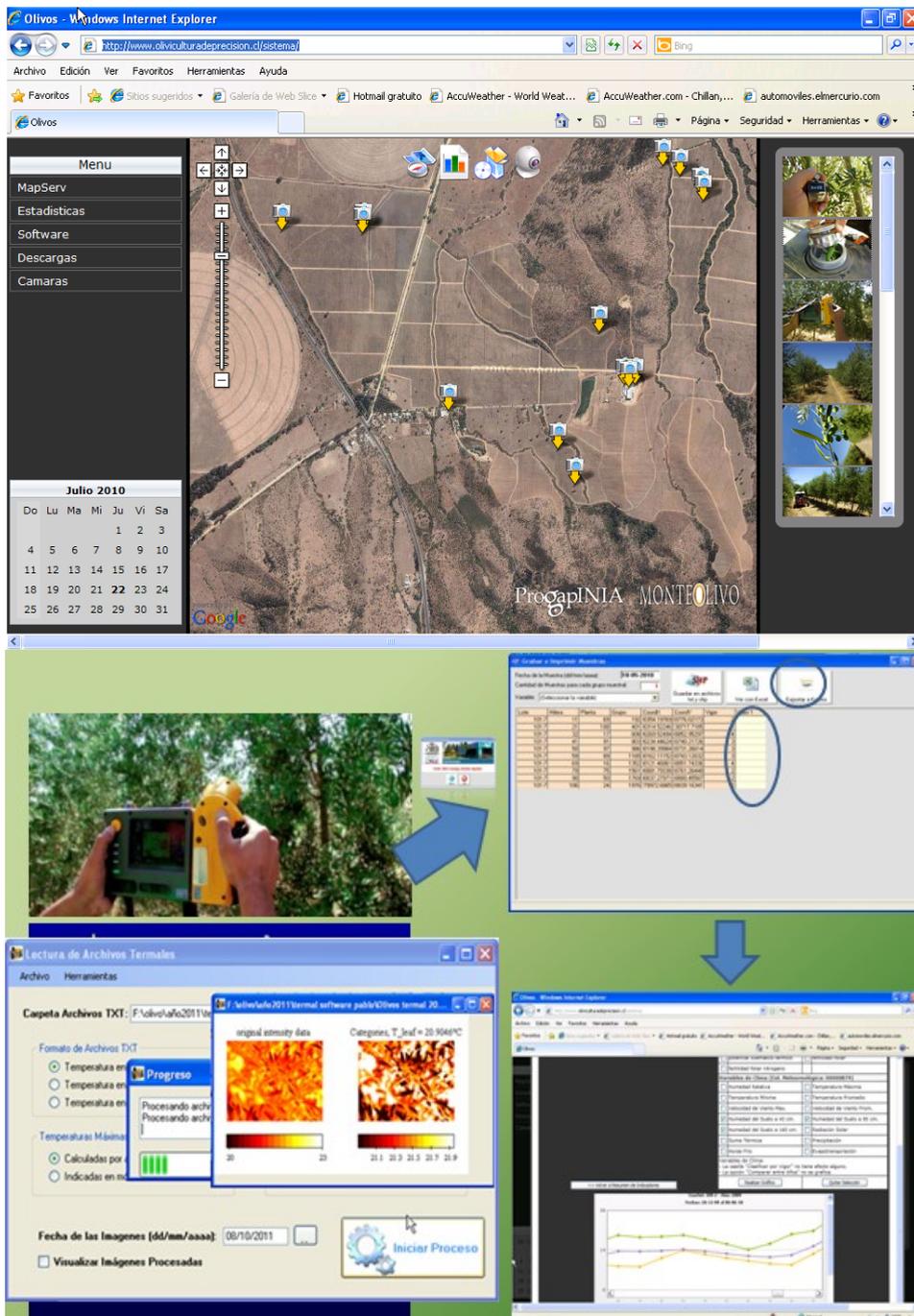


Figura 22. Plataforma de Gestión Geográfica Empresarial Productiva (GGP) <http://www.oliviculturadeprecision.cl/> y diagrama de acción del sistema.

MANEJO DEL AGUA EN HUERTOS OLIVÍCOLAS

Análisis de termografía en olivos e interpretación

Sobre la base de esta información se realizó el análisis de balance hídrico integral de cuarteles en estudio (Figura 23) y que son presentados a continuación.

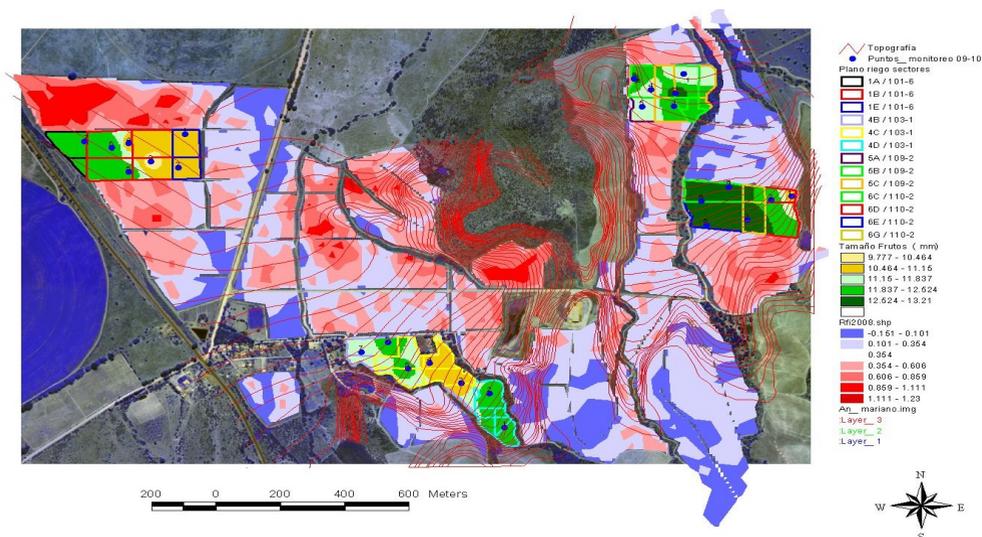


Figura 23. Zonificación de riego por cuarteles en estudio y variabilidad de vigor y tamaños de frutos por cuartel.

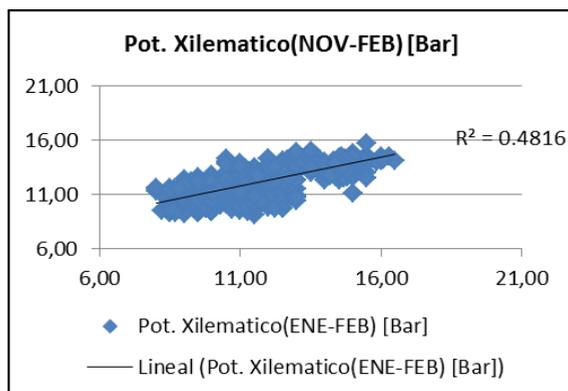
Análisis de termografías en olivos

El sistema de análisis del CWSI realizado por el equipo de trabajo, ha ido evolucionando en el tiempo, para dar mejores resultados a los datos cotejados. Desde el comienzo la manera de cómo se analizan los datos es función de los fenómenos climáticos y físicos. Si bien en 3 ocasiones se ha mejorado el proceso, finalmente se logró generar un mecanismo capaz de ser autónomo y fiable de análisis e interpretación de la información térmica obtenida en terreno, dando paso a la plataforma Thermol.

Esta plataforma digital nos permite analizar la información térmica capturada por cuartel generando reportes promedios del cuartel, pero, a la vez genera un reporte de información de temperaturas máximas, mínimas, CWSI y potencial xilemático para cada punto de monitoreo. Esta información es de alta validez e importancia para la generación de la información espacial de estos valores y finalmente del nivel de estrés hídrico del cuartel, necesario para la toma de decisiones de riego, especialmente cuando se poseen cuarteles desuniformes que no poseen el mismo nivel de estrés en toda el área (suelos diferentes). La visión sinóptica de evolución de las condiciones del estrés hídrico asociado al desarrollo de la planta y las vallas, es finalmente la información valiosa que requieren los olivicultores para gestionar el manejo de los huertos, adquiriendo así un gran valor el desarrollo realizado en esta investigación.

El resultado inicial de las capturas termográficas y su asociación a la información de potencial xilemático pueden verse en el gráfico 24.

MANEJO DEL AGUA EN HUERTOS OLIVÍCOLAS



En la figura 24, se presentan ejemplos de termografías capturadas en puntos de monitoreo, durante el periodo productivo del noviembre 2009 a febrero 2010. Si bien las relaciones encontradas son aceptables ($R^2=0.48$ con un error típico de 1.4 bares). Sin embargo, el análisis más de detalle dado por las imágenes obtenidas en el proceso nos indicó el problema de captura de información realizado en los primeros dos meses de captura en los cuales las imágenes fueron tomadas a una distancia más alejada de los arboles con el sentido de obtener la mayor cobertura (Figura 25) pero esto generó un problema de distorsión en los pixeles ya que las cámaras termales poseen una baja resolución y esto dificulta una clara definición de las hojas y su posterior segmentación.

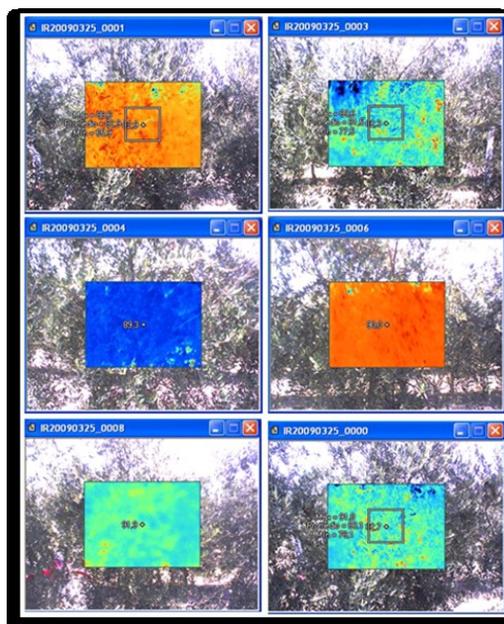


Figura 25. Imágenes termales obtenidas en olivo en Noviembre y Diciembre 2009.

MANEJO DEL AGUA EN HUERTOS OLIVÍCOLAS

Dicho problema fue resultado a partir de inicio de enero 2010 en adelante acercándose mas a la cobertura vegetal y permitiendo definir con mayor claridad las hojas como se puede ver en la figura 26.

La resolución obtenida en estas termografías, permitió una adecuada filtración toda información que no correspondía a hojas, la que producía distorsiones importantes en la obtención del CWSI, debido a la diferencias de emisividad de dichos elementos en relación al follaje. Para realizar este filtraje se utilizó Thermol V2.1, basado en el uso de filtros matemáticos, ya explicados anteriormente, generando una segmentación de cluster poblacionales de temperatura. Este último paso es de alta importancia en la definición adecuada del área de captura y su población térmica real (solo hojas), permitiendo una adecuada obtención de la amplitud térmica existente y finalmente del valor térmico promedio del sector, dando paso al desarrollo correcto de los respectivos CWSI y ajustes con potencial en la hoja.

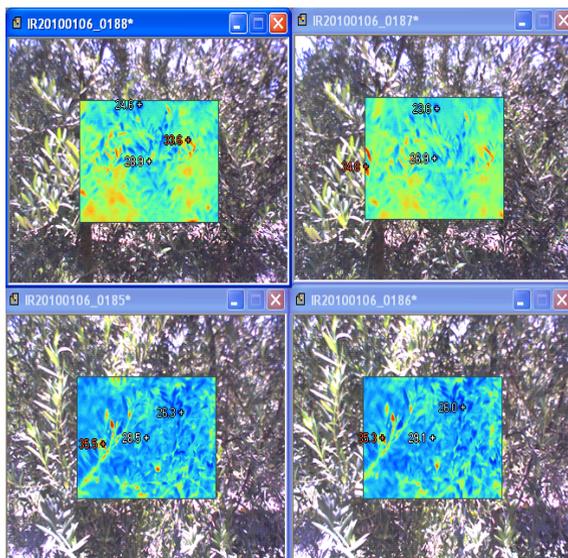


Figura 26. Imágenes termales obtenidas en olivo de Enero a Abril 2010.

El uso de estas temperaturas en el cálculo del CWSI dio excelentes resultados en cuanto al grado de ajuste con el potencial xilemático obtenido en terreno, como podemos visualizar en la fig. 27.

MANEJO DEL AGUA EN HUERTOS OLIVÍCOLAS

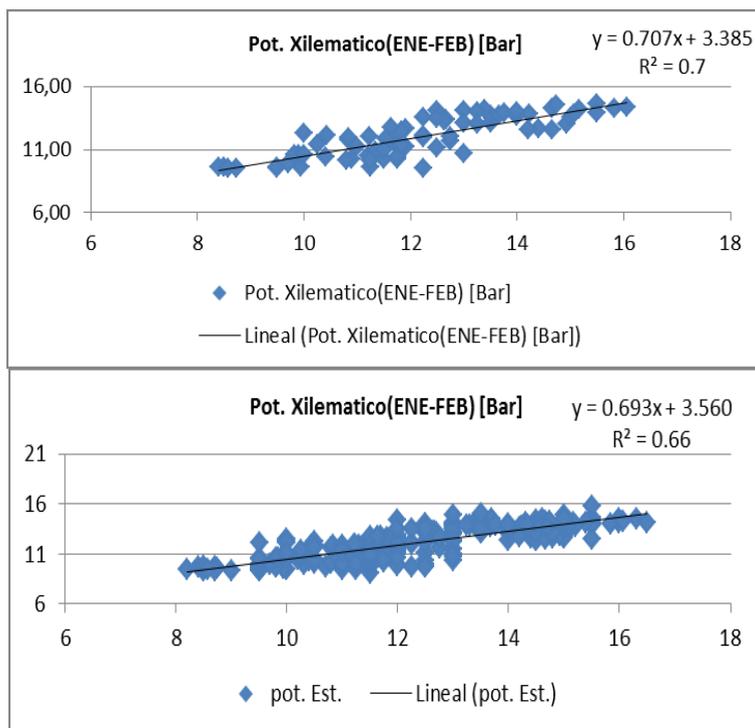


Figura 27. Curvas de calibración de potencial xilematico real y estimado para todas las imágenes obtenidas en terreno (Inferior) y promedios de tres imágenes por punto de monitoreo (superior).

De la grafica se desprende que existe una buena correlación tanto espacial como temporal del índice térmico evaluado con los valores encontrados en terreno, obteniéndose un R^2 de 0.66 y 0.7 (con todas las imágenes y la media por punto, respectivamente), para la información de trabajo, lo cual para efectos prácticos de terreno es excelente ya que con las imágenes se pueden obtener a lo menos 5 veces más puntos de monitoreo de terreno lo que generará una representación bastante más clara de la realidad de estrés existente que con un par de puntos con bomba. Además, el error típico encontrado entre los valores observados y estimados fue de 1.1 y 0.8 bares (con todas las imágenes y la media por punto, respectivamente), lo que en términos prácticos de terreno es una muy buena aproximación y nos indica que una buena política es sacar más de una planta por punto lo que permite reducir el error obtenido. Es destacable que bajo este formato se podrán obtener mayor cantidad de monitoreo lo que acorrerá un error menor como visión sinóptica del terreno que tener tan solo 1 o 2 como lo que ocurre actualmente.

Por otra parte, al integrar la totalidad de la información capturada durante las temporadas de trabajo (2010,11 y 12), podemos ver una clara estabilización del modelo desarrollado, con más de 380 puntos de medición en campo y asociación con la bomba sholander (figura 28), bajando quizás el R^2 del modelo debido a la gran cantidad de información obtenida, pero logrando un error de estimación del modelo (MSR) de tan solo 1 bar, el cual con este nivel de información lo hace muy estable.

MANEJO DEL AGUA EN HUERTOS OLIVÍCOLAS

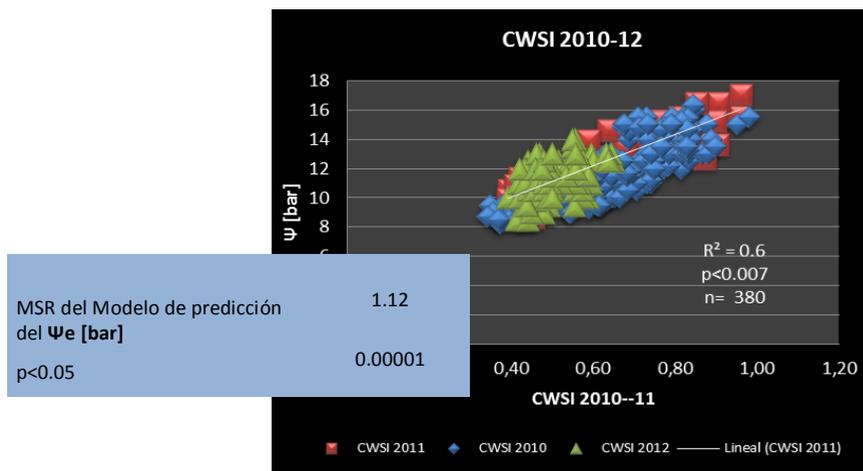


Figura 28. Evolución del modelo de estimación de potencial xilemático en planta para las 3 temporadas de trabajo.

Así podemos definir finalmente que el proceso general de trabajo de este desarrollo está asociado a un flujo de acciones tanto en captura, análisis y desarrollos matemáticos para la generación del modelo que permite la estimación deseada. Un flujo grama de las etapas desarrolladas para llegar a la estimación del potencial xilemático puede verse en la figura 29.

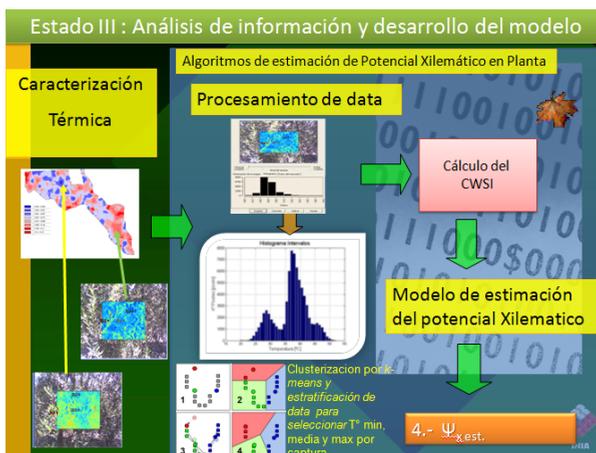


Figura 29. Flujo grama de integración del desarrollo del modelo de estimación del potencial xilemático en planta a partir de información termal.

MANEJO DEL AGUA EN HUERTOS OLIVÍCOLAS

TERMOGRAFÍA INFRARROJA Y RIEGO

RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN HÍDRICA

En el siguiente segmento se realizará un análisis por cuartel de estudio, en el cual se asociará toda la información relacionada al aspecto hídrico en su relación suelo-planta-clima y como las evaluaciones térmicas han tenido un resultado coherente con lo que ocurrió durante la temporada productiva.

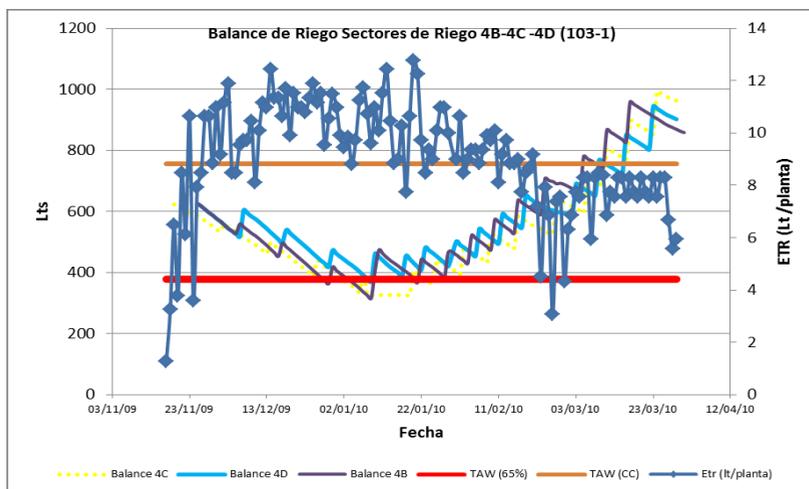


Figura 30. Balance hídrico del cuartel por zonas de riego, cuartel 103-1.

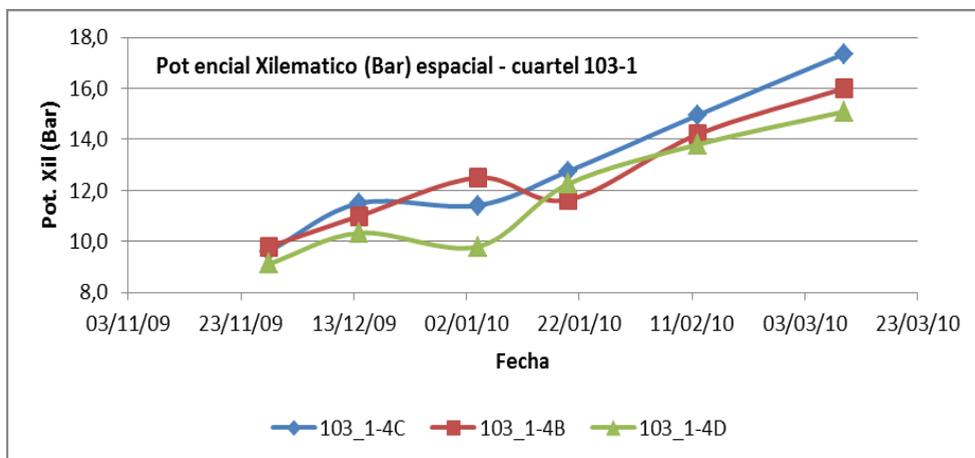


Figura 31 Evolución de potencial xilemático obtenido con bomba scholander (superior) y Balance hídrico del cuartel 103-1 (por zonas de riego), integrando los potenciales xilemáticos obtenidos con scholander y termografía.

MANEJO DEL AGUA EN HUERTOS OLIVÍCOLAS

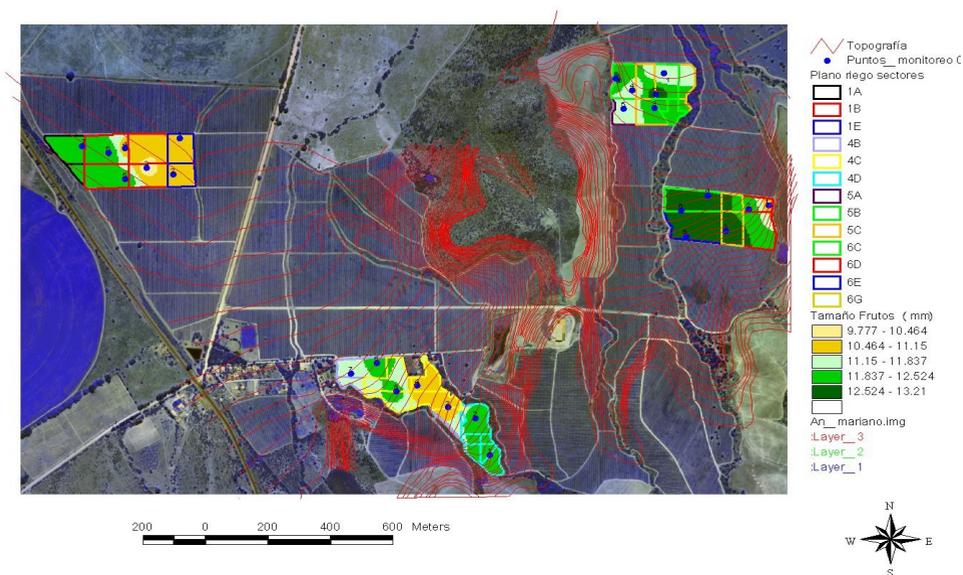
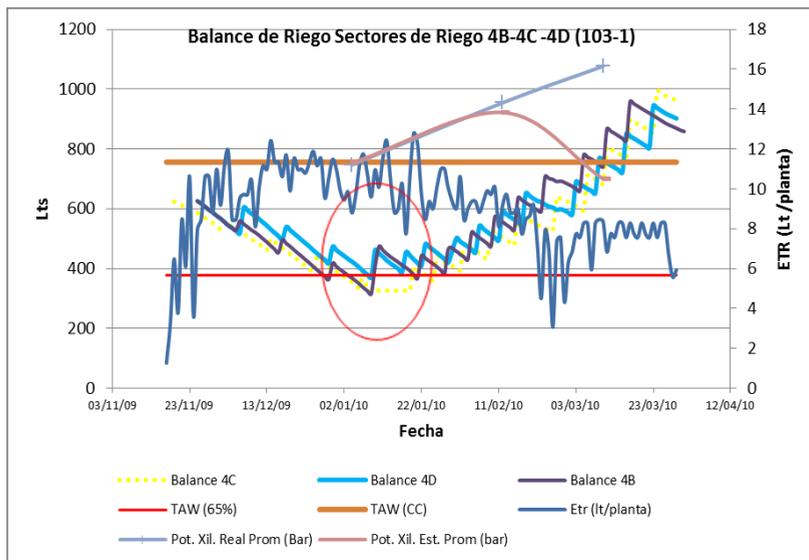


Figura 32. Evolución espacial del tamaño de frutos a cosecha de los cuarteles en estudio.

MANEJO DEL AGUA EN HUERTOS OLIVÍCOLAS

Del gráfico 31 se desprende que los sectores de riego tienden a decaer a mediados de enero hasta inicio de febrero (periodo de máxima demanda de Etr) en cuanto a entrar a un nivel de humedad inferior a la línea de riego (línea naranja), incrementándose la humedad posteriormente por la menor tasa de Etr y mayor riego aplicado (de 8 a 12 horas de riego semanales en marzo). Lamentablemente para este cuartel no se poseen los gráficos de humedad del perfil del suelo. Del gráfico 32 también se desprende que la zona de estrés existente fue mayor en 4 C, 4B y 4D, respectivamente, lo cual coincide con los tamaños de fruto a cosecha promedio por zona, como se puede verse en la figura 32 y reafirmado por los rendimientos obtenidos (Figura 33) a partir del monitor de rendimiento desarrollado por el Progap INIA.

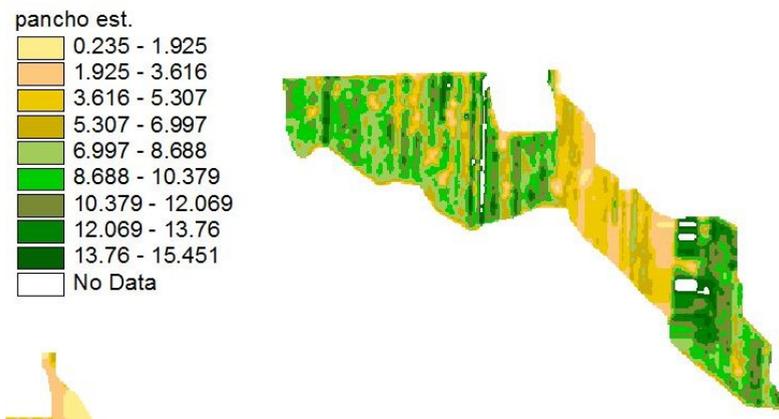


Figura 33. Mapa de Rendimiento del cuartel desarrollado a partir del prototipo de monitor de rendimiento desarrollado por el Progap INIA.

En el gráfico 30, se ve con claridad que el potencial xilemáticos estuvo en niveles bajos hasta fines de enero. Por otra parte, si bien a mediados de enero (mayor tasa de ETR) los potenciales eran bajos, se explica debido a que la lectura se realizó dos días posterior al riego, lo que en cierta manera encubrió la visión del potencial y condición de estrés temporal existente. Además, en este cuartel se ve la buena correspondencia entre los potenciales xilemáticos promedio por cuartel de la bomba scholander y el estimado de imágenes termales (inferiores a 1 bar) hasta fines de febrero, periodo en el cual los potenciales xilemáticos medidos con scholander tienden a seguir creciendo a diferencia de los termales que tienden a la baja, lo cual es coincidente en asociación con el resto de información climática y de balances de agua realizados. Este factor puede ser explicado ya que los tejidos xilemáticos empiezan a sube rizarse produciendo una mayor resistencia física a la presión ejercida por la bomba para sacar el agua de la hoja que la necesaria antes de estas fechas (tejidos jóvenes).

Análisis Final Multitemporal

Como ya se ha visto, existe una clara relación entre la información termal y el nivel de déficit de las plantas. Sin embargo, se debe también evaluar en formato práctico de campo, lo cual se asocia a cuando y donde se riega, lo cual se hace por block de riego tal como se presenta en la figura 34, teniendo así que tomar una decisión por bloques en cuanto a su realidad de variabilidad, compensando sus zonas, permitiendo generar una decisión óptima. De esta forma se realizó el análisis en cuanto a la evaluación de promedios de la información por bloques para evaluar su estabilidad y como herramienta de decisión.

MANEJO DEL AGUA EN HUERTOS OLIVÍCOLAS

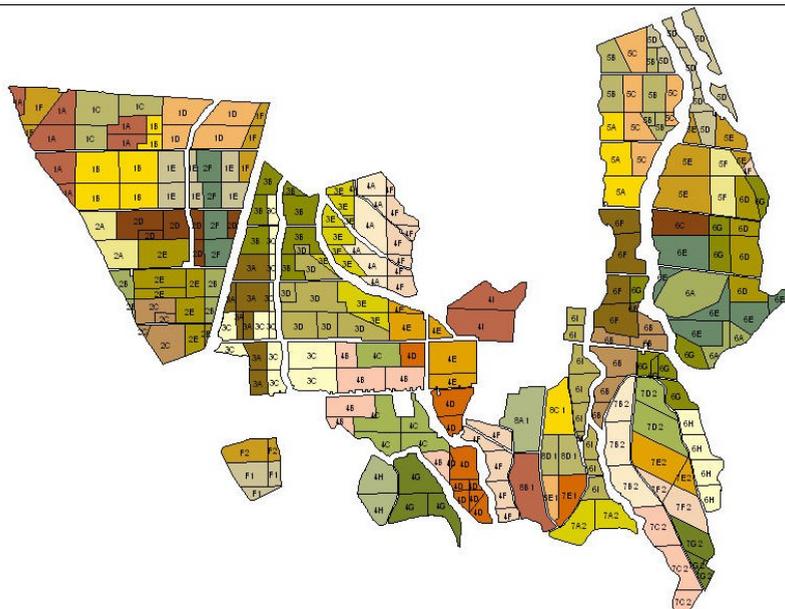


Figura 34. Estructura de bloques de riego del predio en estudio.

Así, se inicio viendo como estuvo la evolución temporal de las 3 estaciones en cuanto a los déficit existentes dentro del predio. De la tabal 2 y figura 34, se puede evaluar con claridad que el uso de las tecnologías de sensoramiento de suelo y termal integrados permitieron ir mejorando el déficit hídrico del predio ya que en la temporada 2010 existió una fluctuación de los déficit asociados los cuales se fueron estabilizando en el tiempo con una mayor déficit en la temporada 2011 que en la 2012 (más equilibrado ya que la zona de estudio estuvo mejor hidratada) pero en ambas con una gran estabilidad durante la temporada manteniendo los potenciales estables.

Tabla 2. Evolución promedio de potenciales xilemáticos reales y estimados de las temporadas 2010 hasta 2012.

Date	Met2		
	Real Steam Water Potential [Bar]	CWSI	Estimate Steam Water Potential (Bar)
28/11/2009	10.40	0.59	11.17
14/12/2009	11.24	0.69	12.24
4/1/2010	10.59	0.51	10.26
20/01/2010	13.67	0.77	13.17
12/2/2010	12.69	0.68	12.12
8/12/2010	9.3	0.4	9.5
5/1/2011	10.53	0.41	9.8
18/1/2011	14.47	0.90	14.9
2/2/2011	12.94	0.62	12.0
2/2/2011	14.75	0.90	14.9
18/2/2011	14.48	0.72	14.1
18/2/2011	14.60	0.80	13.84
1/3/2011	14.32	0.68	13.89
23/3/2011	14.82	0.64	13.79
23/3/2011	15.50	0.86	14.55
21/11/2011	9.813	0.457	10.311
4/1/2012	11.250	0.482	10.572
18/01/2012	11.583	0.588	11.681
1/2/2012	11.188	0.466	10.412
22/02/2012	11.500	0.497	10.730
7/3/2012	12.283	0.519	10.956

MANEJO DEL AGUA EN HUERTOS OLIVÍCOLAS

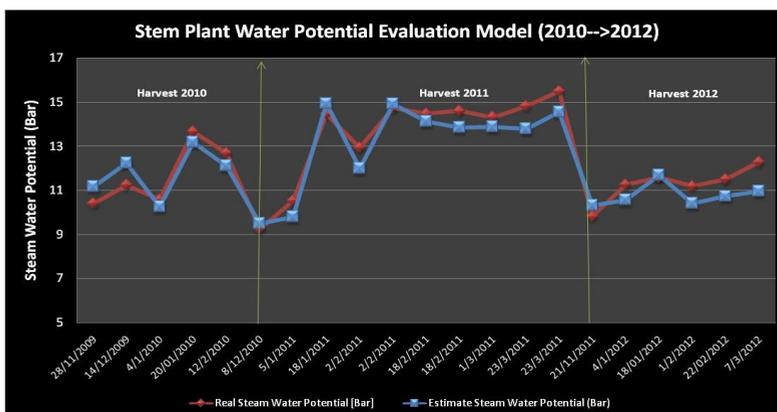


Figura 35. Evolución promedio de potenciales xilemáticos reales y estimados de las temporadas 2010 hasta 2012.

Por otra parte, de las misma figura anterior, se puede evaluar que a nivel de promedios la estabilidad de la información de scholander y térmica se acercan bastante. El análisis anterior, nos llevo a realizar el análisis de calibración del modelo nuevamente con la información de promedios de toda la temporada. De la figura 36, se puede ver que al realizar una media de los valores xilemáticos (reales y estimados) y modelar esta tendencia existe un incremento sustancial de las tendencias temporales con una reducción en el error de estimación a nivel de bloques.

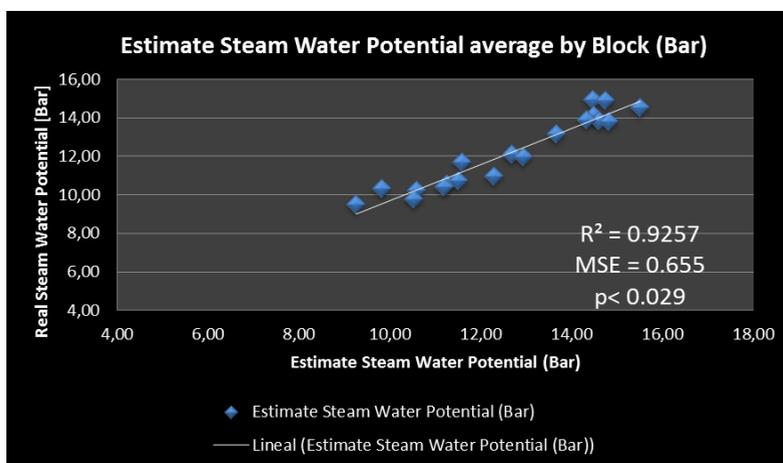
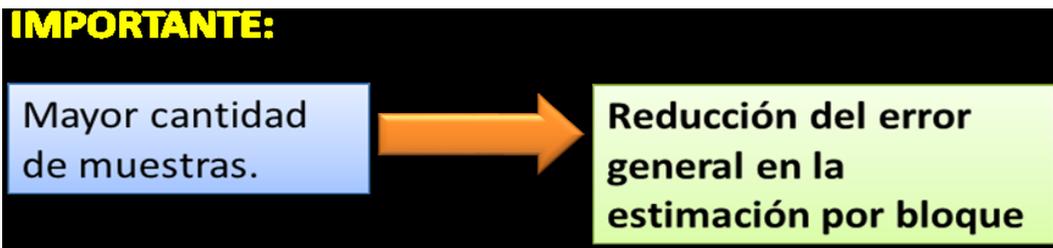


Figura 36. Modelo de estimación xilemático justado a valores medios de 3 temporadas.

Por otra parte, este nivel de error en cuanto a campo evaluación de campo es muy bajo y totalmente aceptable, ya que con esta metodología se pueden tomar muchas muestras en campo, a diferencia de la metodología de uso de bomba scholander, lo que finalmente reduce el error general.



Sin embargo, analizando la información en profundidad, se visualiza que este modelo posee una saturación en la estimación a niveles mayores de estrés hídrico (sobre los 15 bares, Figura 37), teniendo un rango de trabajo (credibilidad) no mayor a los 15 bares. Este fenómeno antes explicado, se debe a que a niveles mayores de estrés, el efecto incremental de la temperatura de hoja tiene un mayor rango de cambio en el potencial en hojas, es decir, pasado los 15 bares existe otro patrón de tendencia del comportamiento de la planta frente al estrés y su regulación xilemática, el cual es muy fino y el sensor no posee la sensibilidad adecuada para obtenerla. Pero, cabe destacar que a este nivel de estrés las plantas ya tienen un efecto en su rendimiento y no se debería sobrepasar este límite o por otro lado si este se marca en las lecturas es que ya se debió haber decidido regar o en caso contrario, si no existe el agua para hacerlo, saber que se sobrepasó el límite permisible de riego.

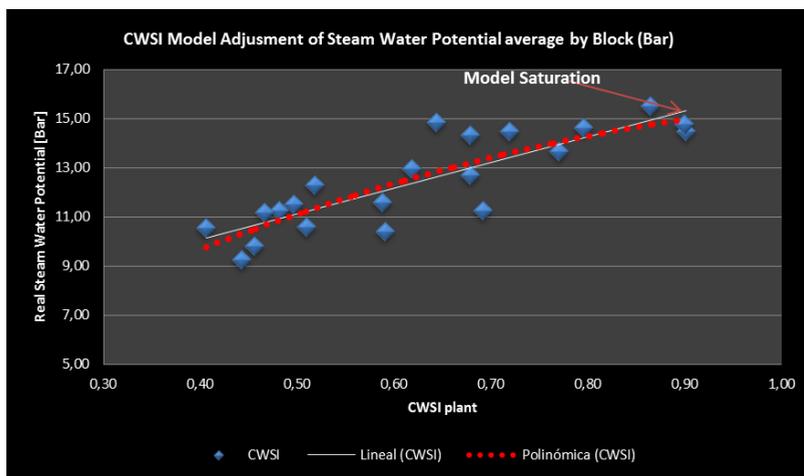


Figura 37. Modelo de estimación xilemático justado a valores medios de 3 temporadas, mostrando (línea roja) la tendencia a saturación del modelo sobre 15 bares.

MANEJO DEL AGUA EN HUERTOS OLIVÍCOLAS

CONCLUSIONES

El proceso de imágenes térmicas ha llevado a la comprensión del comportamiento de la planta de agua en el campo. Al contrastar los valores de potencial de la planta madre de agua obtenidas en el campo con los obtenidos con las herramientas tradicionales, el error y la curva de calibración correspondiente es aceptable ($R^2 = 0,6$ y $MSE = 1,1$).

Es importante para mostrar cuando se toma el valor promedio por bloque que aumentar la R^2 a 0,93 con una reducción de la RMSE de 0,65 bares, que muestran la importancia de obtener información suficiente y obtener el promedio de la misma por el sector con el fin de tener un una mejor representación para la toma de riego.

Es importante mencionar que el modelo desarrollado muestra una saturación del sensor a un alto nivel de estrés (15 bares), pero en este momento el productor debe haber tomado la decisión de regar más temprano y no llegar a este punto, teniendo claramente que si llega ya está produciéndose una merma.

Cabe señalar que a pesar de las relaciones de contraste son muy prometedores, más trabajo para otras variedades y validación de los resultados a nivel comercial están obligados a obtener un impacto real en la producción con este tipo de desarrollo.

Finalmente, en la medida que estas tecnologías se masifiquen, existirá la posibilidad de que los agricultores asociados a la empresa puedan acceder a ella, ayudándolos a incrementar las ganancias por venta al mejorar las calidades o simplemente por el hecho de ingresar al circuito de productores de uva de excelencia.

Bibliografía

- Best; S., L. León and M. Claret. 2005. Use of Precision Viticulture Tools to Optimize the Harvest of High Quality Grapes. En proceedings of Frutic05 congress, 7th edition of Fruit, Nut and Vegetable Production Engineering Symposium. Montpellier, France. P. 75.
- Best S., G. Gatica, L. León. 2009. Development of an assessment model of water stress. Of avar Merlot Vineyard, based on the use of infrared thermography. Proceedings of the 8th Fruit, nut and vegetable production engineering symposium. Frutic 09 Chile. p. 140-149.
- Idso, S. 1982. Non Water stressed baselines: A key to measuring and interpreting plant water stress. Agricultural meteorology. 27, 59-70.
- Jones, H. G. 1999a. Use of infrared thermometry for estimation of stomatal conductance as a possible aid to irrigation scheduling. Agr. For. Meteo. 95: 139 – 149.
- Jones, H. G. 1999 b. Use of thermography for quantitative studies of spatial and temporal variation of stomatal conductance over leaf surfaces. Plant, Cell and Environ. 22: 1043 – 1055.
- Jones, H. G., M. Stoll, T. Santos, C. Sousa, M Chavez, and O. Grant. 2002. Use of Infrared thermography for monitoring stomatal closure in the field: application to grapevine. J. Exp. Bot. 53: 2249 – 2260.
- Scholander PF, Hammel HT, Hemmingsen EA, Bradstreet ED. 1964. Hydrostatic pressure and osmotic potential in leaves of mangroves and some other plants. Proceedings of the National Academy of Sciences, USA 52, 119–125



EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO

Rodrigo Quintana L. Ing. Agro. Mg.

Hernán Aguilera C. Ing. Agro.

Fabiola Flores P. Ing. Agr. Dr.

EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO

ESTIMACIÓN DE RENDIMIENTO

En la actualidad la forma en la cual se estiman los rendimientos es contando la fruta de los árboles en su totalidad, lo cual se demora 2 a 3 horas en contar un solo árbol, como también se realiza en forma visual y subjetiva a través de un paseo por los cuarteles del olivar, lo cual no representa la variabilidad existente en los huertos.

Para los agricultores la importancia de conocer anticipadamente los rendimientos, ya sea en N°frutos/há o bien Kg/há les permite la planificación y logística de la cosecha y proceso productivo (bloques a cosechar, disponibilidad de tanques almacenamiento, personal, etc.). Permitiendo de esta forma reducir el tiempo entre la recolección y el inicio del procesado aumentando la calidad del aceite.

Por tal motivo se debe contar con herramientas que determinen la variabilidad del huerto y que nos permitan direccionarnos hacia la ubicación específica del lugar, representando los vigores de cada cuartel que se desea estimar, como también de herramientas estadísticas que permitan contar la fruta de los árboles en un menor tiempo y de gran precisión.

Para realizar dicha labor se deben emplear técnicas estadísticas de precisión, para ello se utilizarán las técnicas Estereológicas para el cálculo de estimación de rendimiento por punto muestral, con el apoyo de mapas de vigor para la ubicación espacial de los árboles en el cuartel.

Principios de la Estereología.

En los últimos años ha habido un fuerte avance de los métodos de cuantificación estereológicos. Con ellos, lo que persigue es la estimación cuantitativa de parámetros (volumen, área, longitud, número, etc.) a partir de secciones o proyecciones. Gracias a la aplicación de estos métodos, en el campo de la investigación se ha permitido estudiar parámetros morfológicos con una gran precisión y fiabilidad.

La estereología es definida como un conjunto de métodos útiles para obtener información cuantitativa de carácter geométrico-estadístico de un objeto de interés, a partir de secciones del objeto (Haug, 1986; Cruz-Orive, 1987).

En general, los métodos estereológicos gozan de una serie de ventajas metodológicas y prácticas de indudable interés para el estudio agronómico de estimaciones de rendimientos. Como ventajas metodológicas se podrían destacar por un lado, que son métodos insesgados, carentes de error sistemático, y por otro que la estimación de los parámetros no está influida ni por la forma del objeto, ni por su distribución y/o tamaño. Además, una clara ventaja metodológica y práctica es que los métodos estereológicos son altamente eficientes. En otras palabras, no exigen un gran esfuerzo para la cuantificación ya que con una muestra muy pequeña y pocas secciones (alrededor de 6-7 secciones) se obtienen coeficientes de error y de variación aceptablemente bajos (Royet, 1991; West, 1993).

Metodológicamente, la estimación del número de frutos por árbol, puede realizarse empleando numerosos métodos estereológicos. De ellos, el fraccionador es uno de los más recomendables. Este método se basa en la combinación de un muestreo sistemático seccionados (West, Slomianka and Gundersen, 1991; West, 1993b).

Metodología de estimación de Número de frutos por punto muestral, utilizando el Método Fraccionador.

Previo a la aplicación del método fraccionador se ha de proceder a una segmentación sistemática de la estructura de los árboles por punto a cuantificar, el total de segmentos por árbol se distribuyen en 3 sectores equidistantes entre ellos, denominándose **sector Bajo, Medio y Alto**, donde cada uno de ellos se divide en cuatro partes similares, denominados segmentos. Esta seriación permite conocer la separación entre las secciones que después será recogida en el cálculo de los parámetros estereológicos. De entre todas las secciones obtenidas se seleccionarán algunas, sobre las que se realizarán las cuantificaciones. Un requisito importante para realizar las cuantificaciones estereológicas de número frutos/segmentos/árbol es el muestreo sistemático de la zona elegida y para ello la orientación de las secciones debe ser al azar (Royet, 1991; West, et al. 1991).

En el muestreo sistemático, la cuantificación no se realiza en todo el árbol sino que se cuentan el número de frutos contenidas en los segmentos seleccionados al azar. Así, se evita el sesgo de que el experimentador seleccione los segmentos de densidad de frutos o aquellas que mejor se visualicen, ya que el conteo depende del lugar en el que se encuentren los disectores. Además el muestreo sistemático no provoca la sobrestimación numérica, pues se evita que un mismo campo sea cuantificado en repetidas ocasiones, como podría suceder con el muestreo al azar (Royet, 1991).

EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO

Fórmula Empleada:

Una estimación no sesgada del número total de frutos, está dada por la media de las dos estimaciones independientes.

Fractionator
(CO-90)

$$\overline{CE}_j^2(\hat{N}) \approx \frac{1}{3n_p} \cdot \sum_{i=1}^{n_p} \left(\frac{\hat{N}_{i1} - \hat{N}_{i2}}{\hat{N}_{i1} + \hat{N}_{i2}} \right)^2$$

np= número de unidades primarias (PU"s)

N= número estimado de l conjunto de PU i

En un estudio con dos o más grupos de árboles, es estrictamente necesario estimar el «error» de estimación dentro de la muestra con el fin de compararla con la variación de conteos de frutos (Gundersen y ésterby, 1981; Cruz-Orive, 1994).

El método fraccionador es muy sencillo para obtener una estimación eficiente e imparcial de una cantidad total; sin embargo, para predecir el error correspondiente es un problema difícil, porque las observaciones son dependientes de una manera compleja. Aquí aplicamos el error de fórmula de predicción de la Cruz-Orive (1990) que da sólo una aproximación, pero no una imparcial del estimador de la CE (estimado).

Metodología:

Esquema de segmentación de los árboles por punto muestral.

El esquema actual que se esta diseñando, tiene como objetivo poder dejar una metodología de fácil operación y tiempo, por lo cual el diseño consiste en:

- División de cada árbol en 6 zonas
- Haciendo un total en los 3 árboles de 18 zonas.

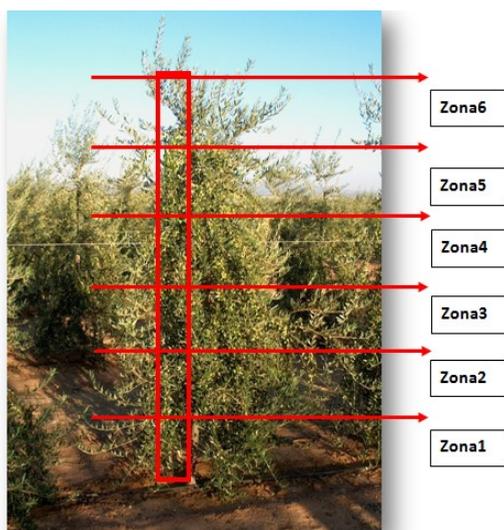


Figura 1. Esquema de segmentación de la planta de Olivo en 6 Zonas.

EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO

Cada una de las Zonas, se dividieron de en 4 partes, llamados segmentos 1, 2, 3, 4.

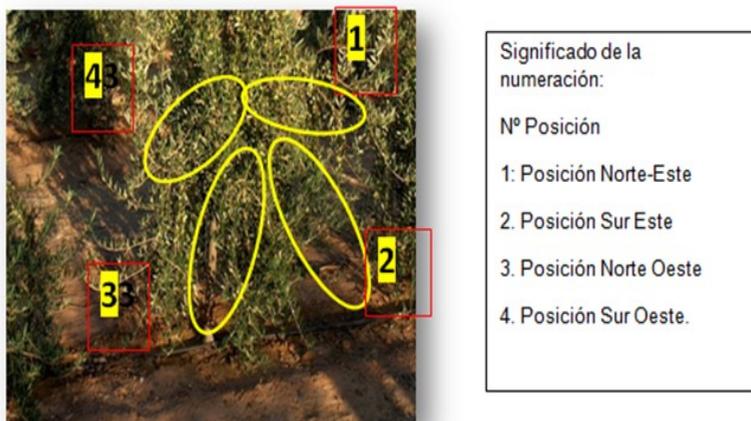


Figura 2. Esquema de segmentación de cada una de las zonas en 4 partes homogéneas.

Validación de la metodología con Cosecha Manual de árboles:

En esta etapa por medio de muestreo dirigido, a partir del plano de NDVI de la temporada se seleccionan árboles representativos a cada zona de vigor, donde se cosechan todos los frutos (figura 3). Esto permite obtener una estimación del rendimiento por unidad de área. En este caso se realiza un muestreo dirigido, el cual está basado en la variabilidad del NDVI/área de canopia en los cuarteles. En cada punto seleccionado se realiza una determinación del número de frutos y rendimiento total (Kg), con lo que se obtiene el rendimiento real.



Figura 3. Ubicación espacial de los puntos muestrales.

EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO

Resultados:

En la metodología para saber si el método utilizado era el correcto, se procedió a cosechar todos los árboles por punto, así también establecer el protocolo de conteo.

Se verificó por cada punto muestral, la relación entre la estimación por estereológica v/s conteo total, así como también obtener el error estimado y el coeficiente de error de la fórmula CE. En este último se utilizó la fórmula señalada en la metodología, todos los resultados se explicarán a continuación por punto muestral.

Tabla 1 Resultados de la evaluación de los puntos muestrales.

Punto Muestral	Rendimiento (Kg/árbol)	Numero de frutos		Error Estimación (CE)
		Real (Cosecha)	Estimado (estadística)	Real / Estima
P_1.2	8,64	7993	7071	9,21%
P_2.3	7,98	10310	9654	6,55%
P_3.1	11,20	9360	8940	4,19%
P_3.3	10,43	9334	8998	3,36%
P_4.1	9,93	9032	8457	5,74%
P_5.2	11,93	9872	8830	10,42%
P_1.1	14,95	12315	11705	6,09%
P_2.2	7,97	10112	9955	1,56%
P_4.3	10,65	10441	9745	6,96%
P_2.1	15,64	9988	8916	10,72%
P_4.2	11,70	10708	9994	7,14%
P_5.3	14,11	10074	9402	6,72%
P_3.2	18,59	9666	8737	9,28%
P_1.3	8,20	8931	7710	12,21%
P_5.1	1,93	9333	8977	3,56%

EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO

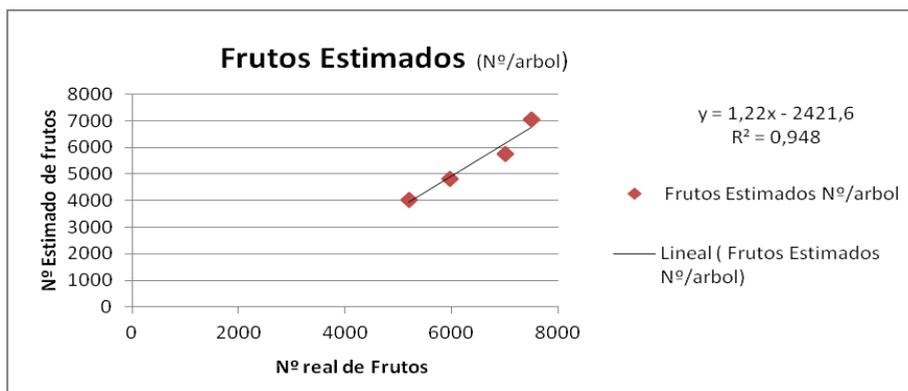


Figura 4. Relación frutos Reales/Estimados.

En la figura se muestra la relación entre los frutos reales por conteo total versus los estimados por la metodología, esto demuestra que la metodología empleada posee una fuerte relación con el total de frutos, esto nos entrega una amplia confianza en la herramienta utilizada para dicha función.

Conclusiones

El diseño propuesto para la estimación de frutos promedios por árbol en cada una de las zonas, es eficiente, en vista de los bajos valores de CE, lo que nos conlleva a pensar que el método fraccionador es muy certero para dicha labor, es también cierto que dicha herramienta goza de las siguientes ventajas.

1. Es imparcial, esto quiere decir que es independiente de la forma y grado de variabilidad. En este sentido, se puede sustituir por métodos alternativos como el modelo de anisotropía (Mathieu et al. 1983; Mattfeldt & Mall, 1984; Cruz-Orive et al. 1985), ya que estos supuestos no son justificados en todos los casos y no son fáciles de comprobar.
2. Es muy precisa para una carga de trabajo alta, donde se requiera alta eficiencia. En este sentido el tiempo de trabajo al medir estos árboles es de alrededor de media hora, considerando que un operario demora en medir un árbol en su totalidad cerca de 45 minutos.
3. Nuestro diseño, por su eficacia y certeza no sólo se podría aplicar en estimaciones de conteo, sino que también para mediciones de largo de brotes, peso y tamaños de frutos, favoreciendo la optimización de tiempo, recursos en el trabajo en terreno.

EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO

Bibliografía

- Haug, H. (1986). History of Neuromorphometry. *Journal of Neuroscience Methods*, 18,1-17.
- Cruz-Orive, L.M. (1987). Particle number can be estimated using a disector of unknown thickness: the selector. *Journal of Microscopy*, 145,121-142.
- Royet, J.P. (1991). Stereology: a method for analyzing images. *Progress in Neurobiology*, 37, 433-474.
- West, M.J. and Gundersen, H.J.G. (1990). Unbiased stereological estimation of the number of neurons in the Human Hippocampus. *J. Comp. Neurol.*, 296, 1-22.
- West, M.J. (1993). New stereological methods for counting neurons. *Neurobiology of Aging*, 14, 275-285.
- West, M.J. (1993b). Regionally specific loss of Neurons in the aging human Hippocampus. *Neurobiology of Aging*, 14, 287-293.
- West, M.J., Slomianka, L. and Gundersen, H.J.G. (1991). Unbiased stereological estimation of the total number of neurons in the subdivisions of the rat hippocampus using the optical fractionator. *The Anatomical Record*, 231, 482-497.
- GUNDERSEN HJG, ÉSTERBY R (1981) Optimizing sampling efficiency of stereological studies in biology: or 'Do more less well !'. *Journal of Microscopy* 121, 65±73.
- CRUZ-ORIVE LM (1994) Toward a more objective biology. *Neurobiology of Aging* 15, 377±378.
- CRUZ-ORIVE LM (1990) On the empirical variance of the fractionator estimate. *Journal of Microscopy* 160, 89±95.
- MATHIEU-COSTELLO O (1993) Comparative aspects of muscle capillary supply. *Annual Review of Physiology* 55, 503±525.
- MATHIEU O, CRUZ-ORIVE LM, HOPPELER H, WEIBEL ER (1983) Estimating length density and quantifying anisotropy in skeletal muscle capillaries. *Journal of Microscopy* 131, 131±146.
- MATTFELDT T, MALL G (1984) Estimation of length and surface of anisotropic capillaries. *Journal of Microscopy* 135, 181±190.
- CRUZ-ORIVE LM, HOWARD CV (1991) Estimating the length of a bounded curve in three dimensions using total.
- ROBERTS N, CRUZ-ORIVE LM (1993) Spatial distribution of curve length: concept and estimation. *Journal of Microscopy* 172,23±29.

EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO

ESTIMACIÓN DE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL FRUTO MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL

Hoy en día el desarrollo evolutivo de los sistemas de captura de información está potenciado por la automatización incluyendo componentes tecnológicos, implementando sistemas creados para otros propósitos y que se involucran en técnicas de agricultura, y en especial en el desarrollo de la Agricultura de Precisión (AP) (Best et al., 2008). El uso de la tecnología de análisis de imagen se está incrementando en los sistemas productivos, con la determinación de componentes digitales definidas en las imágenes capturadas y el uso de filtros de captura para potenciar la segmentación de la visión y la detección de objetos. Además, las computadoras están tomando más participación en procesos, desplazando a las mediciones tradicionales realizadas en terreno con instrumentos de precisión, que se ejecutan con mucho esfuerzo y ocupando un tiempo apreciable de otras labores, en cambio, el uso de tecnología asociada a la producción agrícola, ayuda a que al agricultor o fruticultor, sea más beneficioso en términos productivos de gestión y con resultados económicos positivos (Annamalai, 2004).

La información que proporcionan las diferentes tecnologías utilizadas, tales como: índices de vigor, índice de área foliar radiométrica proyectada, técnicas de monitoreo y muestreo, los sistemas de captura de imágenes y de procesamiento digital, permiten evaluar espacialmente y temporalmente el desarrollo del fruto, para así obtener una visión general del huerto. El uso de estas tecnologías, se incorporan en la *plataforma de gestión geográfica predial* (ver capítulo "Plataforma de Gestión Productiva de Huertos Olivícolas"), y nos permiten visualizar los gráficos de evolución de los diámetros y peso del fruto, en conjunto con las demás variables medidas en el huerto, obteniendo una visión temprana de las propiedades físicas del fruto a cosecha, lo cual ayuda en la toma de decisiones y gestión del huerto a lo largo de la temporada.

Características físicas del fruto de olivo

El fruto del olivo (olivas), es del tipo nombrado drupa, compuesto por un exocarpo, la capa exterior fina y protectora, un mesocarpo, la pulpa o carne, y un endocarpo endurecido, el hueso (King, 1938). De estos tejidos, el mesocarpo o pulpa es el de mayor interés económico, al ser la parte comestible de la aceituna de mesa y el tejido donde se acumula el aceite, dependiendo el rendimiento del olivar, de su buen desarrollo y crecimiento. Su formación está condicionada por los procesos de división y expansión celular, influyendo tanto la tasa como la duración de dichos procesos, al igual que en otros frutos carnosos (Sedgley y Griffin, 1989; Rapoport, 2001).

El tamaño del fruto es una característica de la variedad, determinada por el número de células, el tamaño de estas y el volumen de los espacios intercelulares. En una determinada variedad el tamaño del fruto varía notable entre años y en función fundamentalmente de la carga del árbol y de la disponibilidad de agua durante el crecimiento del fruto (Barranco et al. 2008).

Desde el punto de vista cuantitativo, la aceituna tiene un crecimiento que se ajusta a una curva de doble sigmoidea, con fases definidas: división celular y expansión, esclerificación o endurecimiento del endocarpo, el enverado o cambio de color del fruto. La división celular incluye un aumento de tamaño de la baya, el endurecimiento del endocarpo tiene como fin dar origen al endurecimiento de la semilla, en esta etapa se detiene o ralentiza el crecimiento del mesocarpo, posteriormente experimenta un nuevo incremento de tamaño. La fase final o enverado, ocurre cuando inicia un cambio de color de la epidermis que determina el comienzo de la maduración.

EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO

La evolución normal del crecimiento del fruto, la carga del árbol, es decir, el número de olivos, es posiblemente el factor determinante del tamaño del fruto en unas condiciones determinantes de medio y cultivo. En todos los frutales, existe una relación negativa entre el número de frutos por árbol y el peso del fruto (Muñoz-Cobo, Hidalgo y Vaga, 2008).

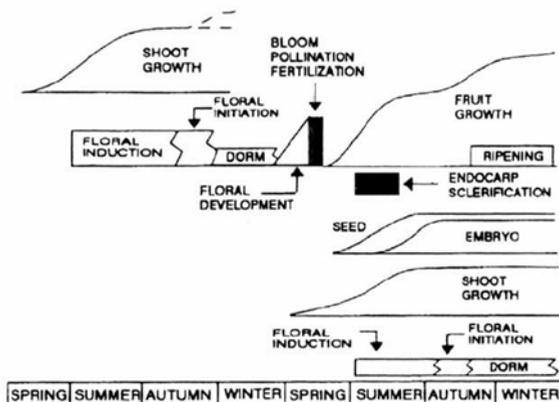


Figura 1: Ciclo bienal del olivo (adaptado de Rallo, 1994).

Sistema de Tecnología de Visión

Tecnología de visión artificial

La visión por computador, también denominada visión artificial, puede definirse como el proceso de extracción de información del mundo físico a partir de imágenes capturadas y transferidas a un computador. La información que un sistema de visión artificial puede realizar va desde la simple detección de objetos sencillos en la imagen, hasta la interpretación tridimensional de escenas. El procesamiento digital de imágenes se presenta actualmente como una piedra angular en el proceso de toma de decisiones, llevado a cabo en las unidades de control de los sistemas, por ejemplo: Sistema de estimación de la calidad en frutos de olivos, que cuentan con elementos de captación de imágenes como parte de su instrumentación y que lo realiza en tiempo real (Carfagni et al. 2008; Rojas et al. 2008).

Los seres humanos perciben el mundo a través de la vista, nuestro sistema de visión es un sistema natural. Sin embargo, simular la visión humana es un proceso altamente complejo. En la actualidad las escenas reales del mundo pueden ser vistas a través de un dispositivo digital como un cámara de visión y procesadas a través de la computadora, que puede obtener la información del mundo real y procesarla a través de complejos modelos matemáticos. Debido al rápido crecimiento de la visión por computadora, esta mantiene una estrecha relación con disciplinas como inteligencia artificial, robótica, gráficas por computadora, procesamiento de imágenes, fotogrametría, entre otras (Rendón, 2006).

EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO

La visión por computadora estudia la visión humana y animal, la cual modela haciendo uso de la geometría de la escena. La visión depende del entendimiento físico de las cámaras y el proceso físico de la formación de la imagen (Forsyth y Ponce, 2002) para obtener información de los valores de los píxeles (unidad mínima de una imagen), realizar operaciones y cálculos con ellos, para procesar la información disponible, y a partir de ello reconocer objetos, separar movimientos y otras operaciones a partir de la información geométrica disponible. Desde el punto de vista técnico, un sistema de visión por computadora es un sistema autónomo que realiza alguna de las tareas que el sistema de visión humano es capaz de realizar (Nevatia, 1982). Proporcionar a un computador la capacidad de emular el efecto de la visión humana a través de un sistema de percepción electrónico no es una tarea sencilla. El principal obstáculo se encuentra en que el ojo humano percibe la luz reflejada por los objetos en un espacio de tres dimensiones, mientras que los computadores tratan de analizar estos objetos a partir de proyecciones en imágenes de dos dimensiones. La reducción de una dimensión produce la pérdida de gran cantidad de información, lo que eleva notablemente la dificultad del proceso de visión (Sonka et al., 1993).

Las soluciones de visión artificial constituyen hoy la tecnología clave que representa el reconocimiento óptico de la automatización. Modernos sistemas industriales de elaboración de imágenes proporcionan a la industria la posibilidad de perfeccionar o completar sus máquinas aparatos con características completamente nuevas para hacerlas más competitivas. La gran cantidad de aplicaciones cubierto por la visión por computadora, se debe a que permite extraer y analizar información espectral, espacial y temporal de los distintos objetos. La visión artificial se utiliza en el control de calidad de procesos productivos, automatización industrial, biomedicina, robótica, agricultura, aplicaciones militares, identificación, seguridad, interfaces visuales, ayuda a discapacitados, control de tráfico, compresión de imágenes y en todo tipo de aplicaciones en que represente una mejora el suplantar la visión humana por un sistema de visión artificial (Villanueva y Córdova, 2008).

Debido a las imperfecciones de los sistemas de adquisición de imágenes, las imágenes adquiridas están sujetas a diversos defectos que afectan el posterior procesamiento. Aunque estos defectos pueden a veces ser corregidos ajustando el hardware de adquisición, por ejemplo aumentando el número de imágenes capturadas de la misma escena y adquirir instrumentos de mayor calidad, tales soluciones basadas en hardware, son lentos y costosos; por lo tanto es preferible corregir las imágenes después de ser adquiridas y digitalizadas, usando programas computacionales que son más rápidos y relativamente menos costosos. La eliminación del ruido, filtrado de la imagen, realce del contraste en las imágenes de bajo contraste, ecualización del histograma, se conocen como "pre-procesado" de la imagen y luego de este pre-procesado se realiza la segmentación de la imagen (Sun, 2008).

El gran desarrollo de las computadoras personales permite encontrar nuevas aplicaciones para el procesamiento y análisis digital de imágenes. La segmentación de las imágenes digitales es una parte importante para muchas tareas en el análisis y procesamiento digital. Se han generado una gran cantidad de trabajos que presentan técnicas, modelos y algoritmos para la segmentación de dichas imágenes. Estas técnicas se dividen en cuatro grandes grupos, el primer grupo lo conforman las técnicas de segmentación basadas en los valores de píxel. El segundo grupo contiene técnicas de segmentación basadas en el área. Las técnicas basadas orillas pertenecen al tercer grupo y finalmente las técnicas basadas en la física es el cuarto grupo (Báez et al., 2004).

EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO

La segmentación de imágenes se ha utilizado en diversos ámbitos en la agricultura, por ejemplo para la medición de características externas tales como: tamaño, forma, color, defectos y enfermedades, en tomates, pepinos, pimiento, papas, (Nimeshet al., 1993; Saber and Tosinia, 2011), manzanas (Puchalskiet al., 2008), naranjas (Li et al., 2011).

Jiménez et al. (2000) resume los primeros avances de métodos de visión por computadora para la localización de la fruta en los árboles. Moreda et al. (2009) discuten los métodos no destructivos de estimación de volumen de frutas y vegetales utilizando una amplia gama de modalidades de detección, incluyendo pero no limitando la visión por computadora. Taylor et al. (2005) presentan un estudio de métodos para incorporar nuevos sensores en prácticas de viticultura.

Ventajas de la Visión Artificial

A pesar del gran avance científico y tecnológico, los sistemas de visión artificial aún están muy lejos de alcanzar a los sistemas de visión humana, aunque no es necesario que se emule en todos los aspectos a este (Villanueva y Córdova, 2008). La aplicación de visión artificial en la agricultura ha aumentado considerablemente en los últimos años. Hay muchos campos en los que se está involucrando la visión por computadora: cartografía terrestre y aérea de recursos naturales, monitoreo de cultivos, agricultura de precisión, robótica, orientación automática, inspección no destructiva de las propiedades del producto, control de calidad y clasificación en líneas de procesamiento y en general en automatización de procesos. Muchos autores han aplicado satisfactoriamente algunas de estas técnicas desarrolladas en alguno de estos campos, ya que tratan de imitar el sentido de la visión humana (Chen et al., 2002; Brosnan y Sun 2004; Sun, 2008). Los sistemas de visión artificial proporcionan información importante acerca de la naturaleza y atributos de los objetos presentes en una escena. En general, la necesidad para el desarrollo de estas técnicas no destructivas para el control de calidad de frutas y vegetales, y procesos tecnológicos en general, se ha enfatizado (Bellon et al., 1992) debido a que presentan las siguientes ventajas (Sun, 2008, Villanueva y Córdova, 2008):

- Dentro del espectro electromagnético, la visión humana solamente capta un pequeño rango de frecuencias y amplitudes, conocido como "rango de luz visible", los sistemas de visión artificial pueden captar ondas de radio, de televisión, microondas, infrarrojos, ultravioletas, rayos X, rayos gamma y rayos cósmicos
- La visión humana se cansa y se ve afectada por las emociones, en los sistemas de visión artificial no.
- El ser humano puede discernir entre 10 ó 20 niveles de gris, los sistemas de visión artificial tienen una definición muy superior.
- La visión humana tiene muy poca precisión apoyándose en instrumentos de medida, los sistemas de visión artificial tiene gran precisión en la medición, dependiendo solamente de la resolución espacial de los componentes del sistema.
- La visión humana es poco consistente por la fatiga y las distracciones, en cambio la visión artificial mantiene su nivel de rendimiento constante a lo largo de su vida útil.
- Los sistemas de visión artificial pueden trabajar en entornos muy peligrosos, con riesgos radioactivos, químicos, biológicos, ruido, contaminación, temperaturas muy altas y muy bajas.

EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO

- Aumento de la productividad y especialización regional de los cultivos procedentes de la agricultura a pequeña y gran escala, agricultura altamente especializada, la cual requiere automatización del manejo y proporcionar una forma de salida para un volumen creciente de productos.
- El aumento de problemas con la disponibilidad de mano de obra estacional, aunque esto también se ve afectado por los ciclos económicos y sociales propios de cada región.
- Inconvenientes con los métodos destructivos de control de calidad, que aumentan el tiempo de inspección y no garantizan la calidad individual de los productos agrícolas.
- Desarrollo de nuevos sensores que permiten la detección de lesiones y anomalías, que no son visibles al ojo humano.

La calidad de la fruta, vegetales frescos y procesados es definida por una serie de características, que las hacen más o menos atractivas para el consumidor, tales como el grado de madurez, tamaño, peso, forma, color, presencia de defectos y enfermedades, presencia o ausencia de tallos de las frutas, presencia de semillas, etc(Sun, 2008).

Por otra parte la inspección automatizada permite la generación de estadísticas precisas sobre los aspectos relacionados con la calidad del producto, lo que conduce a un mayor control sobre el producto y facilita su trazabilidad, además de automatizar el conteo de frutos para las estimaciones de rendimiento.

Segmentación

La segmentación de imágenes es uno de los temas fundamentales más estudiado y útiles en procesamiento y análisis de imágenes, sobre todo porque constituye el paso primero e inevitable para la mayoría de las tareas de análisis cuantitativo de imágenes. El objetivo de la segmentación es obtener una partición de la imagen en regiones coherentes como paso previo al análisis de su contenido (Caselles y Frangi, 2005).

Según González y Wintz (1977), el objetivo de estas técnicas es procesar una imagen de tal modo que la resultante sea más adecuada que la imagen original para una aplicación específica. El término "específico es importante porque establece que el valor de la imagen resultante está en función del problema que se trata. Así, un método que es útil para realizar un determinado tipo de imágenes puede no serlo para otras.

Existen muchas técnicas distintas de segmentación de imágenes dependiendo del tipo de imágenes y de los objetivos deseados. La segmentación se basa principalmente en los siguientes principios (Suárez, 2009):

- Similitud: cada uno de los píxeles de un elemento tiene valores parecidos con respecto a alguna propiedad determinada.
- Discontinuidad: los objetos o regiones que los diferencian destacan del entorno y tienen por tanto unos bordes definidos.
- Conectividad: Los píxeles pertenecientes al mismo objeto o región tienen que ser contiguos, es decir, tienden a agruparse constituyendo regiones homogéneas.

EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO

El método de segmentación más simple se llama umbralización, que consiste en asignar los píxeles que tiene un valor determinado de niveles de gris (umbral) a la misma clase (objeto o fondo). Es particularmente útil en imágenes monocromáticas, pero en general esta técnica se ha propuesto para imágenes en color (Zude, 2009).

En muchos casos, el umbral es elegido desde el estudio del histograma. Esto normalmente ocurre cuando el histograma presenta una distribución bimodal porque los píxeles del fondo tienen similares niveles de grises. Esto hace aparecer un peak en un lado del histograma, mientras que los píxeles pertenecientes al objeto tienen diferentes niveles de grises, que son similares entre sí produciendo otro peak en el histograma (Figura 1XXX). En este caso, la búsqueda del valor óptimo de gris entre los dos peaks, facilita la distinción entre el fondo y los objetos de interés. Ejemplo en los cuales estas técnicas han sido implementadas encontramos la detección de grietas en maíz (Gunasekaran, 1987) o para encontrar defectos en duraznos (Miller y Delwiche, 1989).

En las imágenes a color, el umbral en una o varias bandas es igualmente empleado. A veces, la imagen a color se convierte en una monocromática. En este caso, la imagen original RGB es convertida a las coordenadas de color HSI (tonalidad, saturación, intensidad), y subsecuentemente el histograma de intensidad (I) es utilizado para segmentar los productos hortícolas desde el fondo de la imagen (Felföldi et al., 1996). Otros autores estiman la madurez de la manzana analizando el histograma de la componente de saturación (Varghese et al., 1991).

Técnicas más sofisticadas han sido desarrolladas para segmentación de imágenes a color. El análisis discriminatorio, permite distinguir entre los colores de las diferentes regiones de la imagen. En esta técnica, las coordenadas de color son utilizadas como variables independientes. Aunque al principio se aplicó para segmentar imágenes de naranjas en árboles (Harrel, 1991), esta técnica se ha utilizado en aplicaciones de clasificación para segmentar tallos de la cáscara de naranjas (Ruiz et al., 1996) o para detectar daños en pistachos (Pearson y Schatzki, 1998). Otras técnicas estadísticas, como el análisis de clúster también se utilizan, ya que automáticamente se puede dividir la imagen en un determinado número de regiones con características similares, por ejemplo, similar color o textura (Zude, 2009).

Todas las técnicas anteriores son orientadas al píxel: su objetivo es clasificar cada píxel como perteneciente a una determinada región de interés (Blasco et al., 2002). El color de cada píxel individual, expresado ya sea como un nivel de gris en una imagen monocromática o en dos o tres coordenadas de dimensiones en un espacio de color particular, se utiliza como la única característica de segmentación de imagen. En la mayoría de los casos, los procedimientos de segmentación son técnicas supervisadas, lo que significa que el sistema debería estar adecuadamente entrenado off-line en el paso de calibración antes del análisis de imagen on-line. Por el contrario, los métodos no supervisados, tales como segmentación orientada a regiones, analiza la información sobre áreas relacionadas de la imagen antes de clasificar los píxeles en las regiones de interés. Dado que la información utilizada para clasificar un píxel se obtiene de su entorno, estos métodos son robustos frente a variaciones de color. Un método consiste en la asignación de algunos píxeles a clases particulares entre los posibles objetos que pueden estar presentes en la imagen. Estos píxeles son conocidos como píxeles semilla. Los píxeles que rodean a uno semilla se añaden a la región, si previamente cumplen con los criterios de semejanza. Los píxeles vecinos son entonces agregados a la región. Las regiones con características similares, se pueden combinar. El procedimiento se repite hasta que todos los píxeles se asignan a una clase. Varios autores utilizan algoritmos orientados a regiones para segmentar imágenes de fruta fresca y procesada (Blasco et al., 2002); sin embargo, estas técnicas requieren normalmente de intensivos cálculos y no se aplican en tiempo real.

EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO

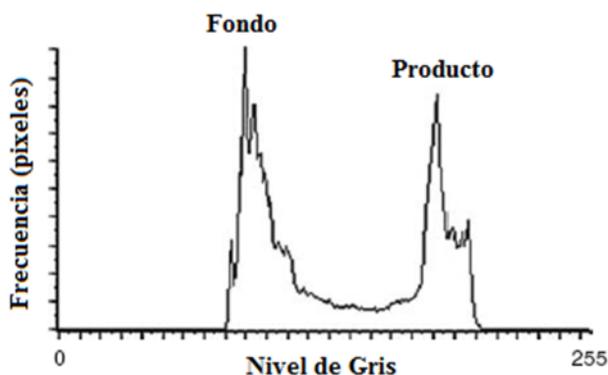


Figura 2: Histograma de distribución bimodal de píxeles en una imagen.

Para poder realizar estimaciones de rendimiento a partir de fotografías se deben tener en cuenta algunos aspectos al momento de realizar el procesamiento de las imágenes. Una vez realizada la segmentación de la imagen, donde los objetos son discriminados del fondo, las características de ellos deben ser calculadas. Estas características corresponden a los elementos esenciales para la interpretación de las imágenes y clasificación de los objetos (Ballard y Brown, 1982)

En los computadores, las imágenes son almacenadas y procesadas como matrices. Los elementos de las matrices son referidos como “píxeles”, los cuales entregan dos tipos de información: geométrica (ej. Localización de los píxeles en las imágenes) y de superficie (valores de intensidad asociados con los píxeles). Desde la información geométrica se pueden obtener dos mediciones del objeto: tamaño y forma; desde la información de la superficie se pueden extraer el color y la textura. Estas cuatro mediciones (tamaño, forma, color y textura) son clasificadas como las principales características del objeto que se pueden adquirir desde cualquier imagen (Du y Sun, 2004a).

Un gran número de métodos han sido desarrollados para adquirir las características de los objetos, mencionados anteriormente, sin embargo, aún no existe un método perfecto para cada tipo de medida, y especialmente para las mediciones de textura. Esto se debe a la falta de una definición formal y científica de la textura de la imagen, mientras se enfrenta a la infinita diversidad de patrones de textura (Zheng et al., 2006a). Hay algunos problemas con los métodos que pueden hacer que no funcione correctamente bajo ciertas circunstancias. Por ejemplo la transformada de Fourier, que es un método potencial para la extracción de forma, no funcionará correctamente cuando hay doble límite del objeto (Russ, 1999).

Tamaño:

La información en tres dimensiones (3D) con respecto al objeto, es perdida durante la adquisición de la imagen, a menos que técnicas especiales, como la iluminación estructural, sean utilizadas, la medida del tamaño del objeto en imágenes digitales se limitan a ser de una y dos dimensiones (1D y 2D, respectivamente). Las mediciones de volumen y área de la superficie, las cuales son en 3D, son por lo tanto menos populares. La longitud, ancho, área y perímetro son las medidas preferidas y especialmente las últimas dos.

EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO

El área y el perímetro son calculados simplemente contando el número de píxeles que pertenecen a un objeto, y sumando la distancia entre cada dos píxeles vecinos en la frontera del objeto, respectivamente. No importa lo irregular de la forma del objeto, o su orientación, las medidas del área y el perímetro son estables y eficientes, una vez que el objeto ha sido correctamente segmentado desde el fondo (Sun, 2008).

- Forma:

La forma del objeto que se está segmentando juega un papel importante en la en la toma de decisión en las aplicaciones de visión artificial. Las aplicaciones típicas de mediciones de forma incluyen la evaluación de los productos aceptados por los clientes, utilizando técnicas de aprendizaje (Du y Sun, 2004a; 2006; Leemans y Destain, 2004), y la discriminación de los objetos con diferentes características (Ghazanfari y Ylrudayaraj, 1996; Zion et al., 1999; 2000).

- Color:

El color proporciona la información básica para la percepción humana. Además de esto, el color es también la información elemental que se almacena en los píxeles que constituyen una imagen digital. El color es por lo tanto clasificado como una de las mediciones más importantes del objeto para la comprensión de la imagen y descripción del objeto. Según la teoría tricromática, el color puede ser discriminado por la combinación de tres componentes de colores primarios (MacAdam, 1970), tres valores digitales son asignados a cada píxel de la imagen a color. Dos medidas estadísticas típicas, como la media y la varianza, se obtienen de cada componente de medición de color. Diferentes tipos de valores almacenados para los tres componentes de color, y diferentes métodos de reproducción de color usan estos tres valores, y dan lugar a diferentes espacios de color. Estos espacios pueden ser clasificados generalmente en tres tipos: orientado a hardware, orientado a humanos e instrumental. Las mediciones de color dependen de estos espacios (Sun, 2008).

- Textura:

La textura describe efectivamente las propiedades de los elementos que constituye la superficie del objeto, por lo tanto las medidas de textura se cree que contienen información importante para el reconocimiento de patrones de objetos (Amadasun y King, 1989). A pesar de que la textura puede ser más o menos definida como la combinación de algunas propiedades de la imagen original, incluyendo la pureza, tosquedad, suavidad, granulación, aleatoriedad, delineación, montículos, etc, una definición estrictamente científica para la textura aún no ha sido determinada (Haralick, 1979). En consecuencia no existe un método ideal para medir textura. Sin embargo, un gran número de métodos han sido desarrollados y estos se clasifican en estadísticos, estructurales, transformada de base y métodos basados en modelos (Zheng et al., 2006). Estos métodos de captura de medidas de textura pueden ser de dos maneras diferentes, por la variación de intensidad entre los píxeles, y por la intensidad de la dependencia entre los píxeles y sus píxeles vecinos (Bharati et al., 2004).

EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO

Tecnología de captura fotográfica

Para realizar la adquisición de imágenes, es necesario contar con un dispositivo físico sensible a una determinada banda del espectro electromagnético. Actualmente existen en el mercado diferentes tipos de dispositivos que pueden ser utilizados para este fin, desde los más básicos, por ejemplo: los que responden únicamente a la presencia o no de luz visible, como las cámaras con sensores CCD o cámaras compactas, que son utilizadas con mayor frecuencia en los sistemas de procesamiento de imágenes (Montes, 2001).

Las imágenes se forman por la luz incidente (directa) y difusa (rebote) en el espectro visible, que penetra sobre una superficie reflectiva, la cual es detectada en el lente de la cámara; esta se convierte en señales eléctricas, ya sea por tubo de vacío, CCD (dispositivo de carga acoplada; de su sigla en inglés) o sensor CMOS (Complementary metal-oxide-semiconductor) de la cámara. Existen además, otras técnicas para generar imágenes, tales como: métodos térmicos y ultrasónicos, rayos X, ondas electromagnéticas, entre otras (Sun, 2008).

La configuración del hardware, basado en sistema de visión artificial es relativamente estándar, por lo general, un sistema de visión consiste en:

1. Un dispositivo de iluminación, que ilumina las muestras bajo prueba.
2. Un CCD de estado sólido, para obtener una imagen.
3. Un "frame" de grabación, que permite transformar la imagen de analógico a digital.
4. Computador o un sistema de microprocesador, para proporcionar almacenamiento en disco, de imágenes y la capacidad de cómputo con que ofrece el proveedor de software y programas específicos de aplicación.
5. Un monitor de color de alta resolución, útil en la visualización de las imágenes y los efectos de diferentes rutinas de análisis de imagen.

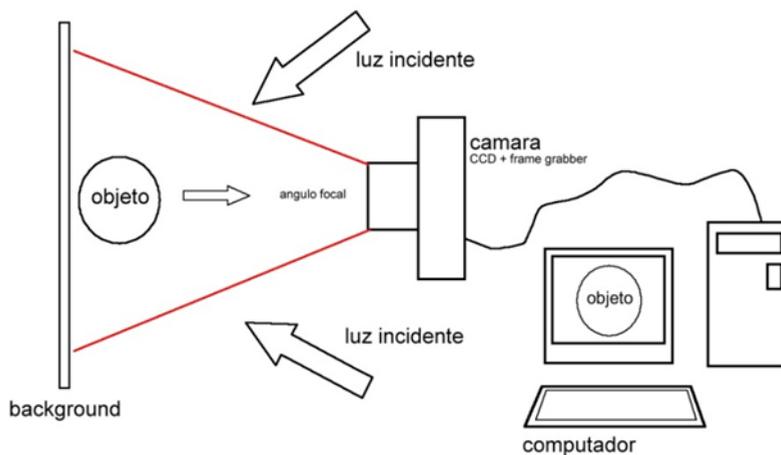


Figura 3: Elementos típicos de captura, en qué consiste un sistema de visión por computadora basado en el diseño propuesto.

EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO

La tecnología de visión por computador no sólo ofrece un nivel de altura de la flexibilidad y capacidad de repetición, a un costo relativamente bajo, pero también, y lo más importante, permite aumentar el rendimiento de la industria sin comprometer la precisión (Sun, 2008).

Iluminación Ambiental

Es importante una correcta y alta calidad de la iluminación en muchas aplicaciones de visión, y es absolutamente decisivo para la captura de información, para ello muchos ingenieros incluyen en sus aplicaciones sistemas de control de la iluminación (Morimoto et al., 2000), además, en la gran mayoría de aplicaciones de visión artificial, se realiza la adquisición de imágenes con la luz reflejada, a pesar que el uso de la técnica con retro-iluminación (iluminación desde atrás) es menos eficiente, todavía se pueden utilizar. Por lo tanto, el aspecto más importante de la iluminación es comprender lo que sucede cuando la luz llega a la superficie, más específicamente, para saber cómo controlar la reflexión, donde en la imagen sea de una calidad razonablemente buena para el procesamiento y la detección de los objetos de interés (Matas et al., 2005).

La homogenización de las fotografías es una parte primordial para capturar imágenes para procesarlas, la eliminación de agentes y factores en la imagen genera fidelidad en la información de captura; para este trabajo se elaboró una metodología de captura, donde influyen parámetros de iluminación sin luz artificial, caracterizado por el horario de captura y las condiciones ambientales. Donde, según nuestros estudios, el horario ideal de captura comprende entre las 8:30 y las 18:00 horas en temporada de verano, fuera de este horario representa distorsiones de iluminación, por efecto de sensibilidad del sensor (CCD) de la cámara utilizada, debido que al disminuir la iluminación, la cámara se ajusta a un nivel de sensibilidad de la escala ISO (International Standard Office), que se refiere al nivel de sensibilidad del sensor de la cámara a la luz que entra, por ello al ajustarse a una mayor escala de sensibilidad, por la falta de iluminación, este genera ruido fotográfico en la imagen, distorsionando la calidad y los pixel de las imágenes, permitiendo obtener información errónea. Tomando en cuenta este parámetro, la cámara siempre debe mantenerse a un estándar de ISO entre 100 y 300 dentro de la escala y con nivel de velocidad de obturación no menor a los 1/30 segundos, variando de lo anterior, esto se refiere a la velocidad de captura de la imagen por la cámara.

El método de captura estará dado por condiciones de sombra en la pantalla o filtro del soporte de la cámara, para ello es necesario utilizar ambas manos y diferentes ángulos de obtención de la captura fotográfica, esto es que la cámara no debe estar en un ángulo menor a 180º grados con respecto al sol y en lo posible que no queden registros directo de sol en la imagen.



Figura 4: Representación de captura de imágenes digitales en condiciones de sombra.

EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO



Figura 5: Diferencia en capturar las fotografías en condiciones de exposición directa al sol y en condiciones de sombra, se logra una imagen más limpia y libre de ruido fotográfico.

Software de estimación de diámetros y peso de las olivas

Como factores de calidad en la cosecha del olivo se determina por el tamaño del fruto en la aceituna de mesa y por el rendimiento graso en la aceituna para aceite, relacionado directamente con el tamaño de ella. Actualmente existen métodos para medir diámetros en las frutas, como son los dendrómetros y lo instrumentos de precisión como el caliper (pie de metro), estos sistemas cubren con mucha precisión la información, pero poco prácticos al momento de usarlos, basado en esto elaboramos un método alternativo de medición del diámetro, este consta de imágenes y un software que las procese y extraiga la información, donde este método no destructivo, permite estimar los diámetros ecuatoriales, longitudinales y el peso de la baya, como demuestra la figura 6, este software posee una interfaz grafica que permite el vital desarrollo de la estimación.

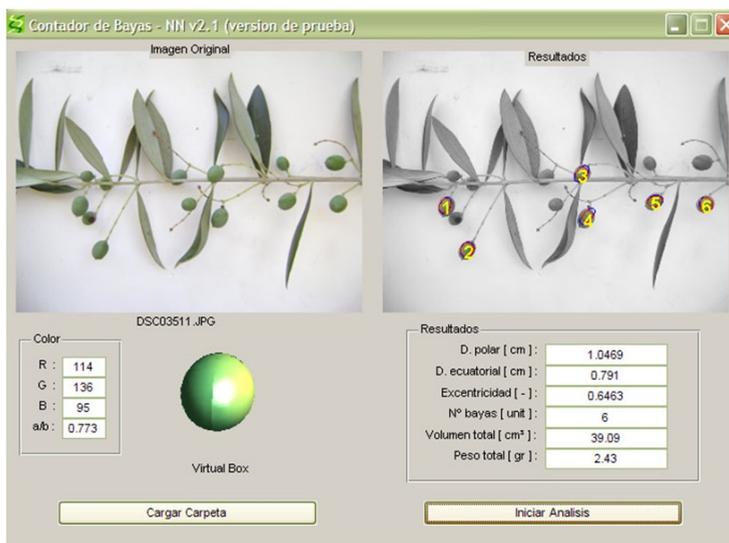


Figura 6: Software de estimación de diámetro de olivas (Best y Gatica, 2011)

EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO

El software diseñado de estimación del diámetro y peso de aceitunas, consta de diferentes partes en su desarrollo, las cuales se describen a continuación:

Los procesos de extracción de fondo de la imagen se realizaron mediante el algoritmo de Clustering k-means, descrito por Kanungo et al., (2002), el cual divide en k particiones una muestra de n observaciones. Además se establecieron y agruparon los datos de las imágenes en los siguientes conjuntos o estratos: bayas o aceitunas, Hojas tipo 1, Hojas tipo 2 y tallo. Dado que el fondo de la imagen permanece relativamente constante, no se considera como otro estrato. En la Figura 7, se presenta un ejemplo de una imagen RGB a la cual se le ha extraído el fondo y está etiquetada con sus respectivos estratos .

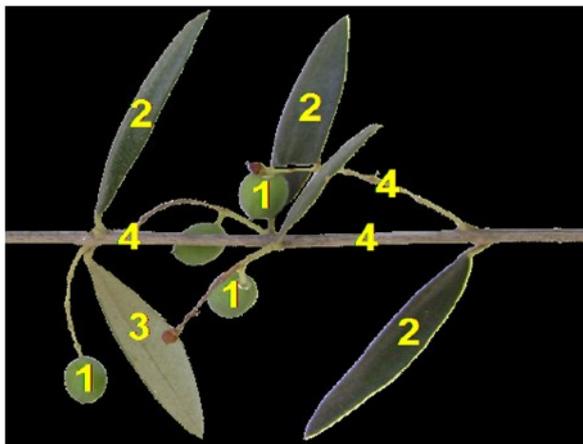


Figura 7: Estratificación de los objetos: (1) Bayas o aceitunas; (2) Hojas tipo 1; (3) Hojas tipo 2 y (4) Tallo.

La segmentación o separación de los objetos en la imagen RGB se realiza mediante la transformación de la imagen desde el espacio de color RGB al CIE L^*a^*b (Lab), el cual se basa en la percepción humana del color. Una de las ventajas de este espacio de color es que la imagen se hace inmune a los cambios lumínicos.

Una vez realizada la segmentación de los objetos se puede realizar el conteo de aceitunas en cada imagen, determinando así las propiedades físicas de ellas. El proceso de segmentación de las aceitunas en el software implica varios subprocesos, dentro de los cuales se incluyen:

Estandarización de la imagen: normalización de la imagen con el fin de tener todas las imágenes de la misma resolución.

Extracción del background: extraer el filtro incorporado en el sistema diseñado, expresado gráficamente en la figura 9, para así separar el objeto a diferenciar.

Búsqueda de los candidatos más probables: realiza una estimación probabilística de que corresponde cada objeto en la imagen, categorizando que es fruta, hoja o tallo.

Análisis de componentes principales: para encontrar los factores principales que dan forma a todas las posibles combinaciones de aceitunas, es decir, identificación de patrones.

EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO

Estimación de contornos: define el perímetro de la fruta, primordial para determinar su tamaño.

Discernimiento: determina el error del sistema, de si es o no fruta en la imagen.

Análisis morfológico: interfiere en la capacidad de separar los frutos si se encuentran traslapados.

Modelamiento: Simplifica la forma del fruto de olivo, llevándolo a un modelo de excentricidad.

Estimación: se ajusta los frutos detectados a un modelo matemático, cuantificando el valor de los píxeles asociados.

Información: Entrega la información a modo que el usuario la pueda utilizar.

Calibración del Software y Hardware

Calibración del hardware

Para la captura de la información mediante sistema de análisis de imagen, se necesitan imágenes de los frutos que tengan un objetivo claro a detectar y clasificar, donde, la homogenización de las capturas es crucial para obtener un estándar en información, el primer paso para ello, es utilizar un pre-filtraje, que al momento de adquirir la imagen se deben visualizar los frutos sin alteraciones de otros tipos, limitando la visualización de otros objetos y factores de ruido en la imagen, tales como el fondo, luz solar directa, hojas que impidan ver el fruto y otros objetos que encubra el objeto de interés; fue necesario crear un sistema de captura, que permita el pre-filtraje y los factores de estandarización lumínica de la imagen.

Un importante factor para realizar la detección de frutos en la fotografía, es la definición de la imagen con la cual se captura, y donde influye la resolución de pixel del sensor utilizado. Es necesario utilizar un cámara convencional de alta resolución y con capacidad de captura macro (se refiere la capacidad de la cámara de obtener una buena calibración de su foco o lente en objetos que están demasiado cerca). Las cámaras compactas poseen muchas de estas características (Sony DSC S650), entre ellas una resolución de 7,2 mega pixel que ayuda a la definición, además, alimentado por dos pilas doble AA y con una capacidad de almacenamiento en memoria externa de 1 Giga bits.

Una distancia fija entre los objetos de interés y el sensor de la cámara, genera un parámetro de estandarización, ya que el tamaño del pixel siempre será el mismo y así disminuyan las distorsiones de tamaño del fruto producto de la distancia focal al sensor de la cámara, de lo anterior, los objetos que son fotografiados varían su tamaño si están más cerca o más lejos del sensor de la cámara. Entonces, el diseño de un soporte de aluminio, con una pantalla de filtrado en color blanco por el frente del lente de la cámara y en negro por detrás de la pantalla, y modificando el botón de obturación y enfoque de la cámara, que son llevados a un botón a distancia en el soporte de aluminio, ayuda a facilitar la captura en terreno.

El uso de ajustes de blancos o "White Balance", predefinido en la cámara a modo de "nieve", ayuda a una definición clara de los verdes expuestos en las frutas y hojas y como le representa la figura 9, además, ajustar la resolución a una cantidad de mega píxeles en la imagen óptimos y acordes con el nivel de procesamiento y la capacidad del computador, ayuda a ser más apreciable el proceso de detección.

EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO

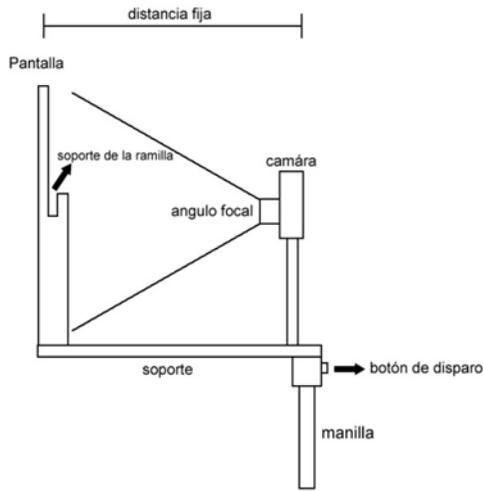


Figura 8: Hardware de captura de imágenes.



Figura 9: Ejemplo de "White balance" ajustado a una imagen.

EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO

Calibración del Software

El elemento principal en la imagen, son los pixeles, cada uno de ellos contiene la información de color para conformar la imagen, el conjunto de estas unidades conforman una matriz, representado en la figura 10.

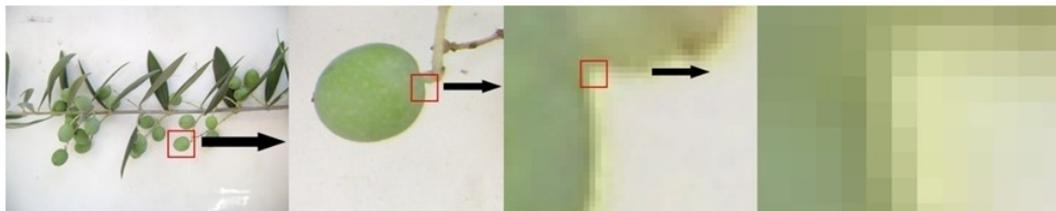


Figura 10: Amplificación de una imagen para representar un pixel.

El área del fruto en la imagen está asociada a la cantidad de pixeles que representan al objeto;

El set de datos (Figura 11) se utilizó para la calibración del software, obtenido de imágenes capturadas dentro de la temporada, esto complementa el patrón de reconocimiento; adquirido de la figura 7, que es necesario para el software internamente pueda discernir que es realmente hoja, tallo y fruto. Por otro lado, al utilizar espacios de color; mencionado anteriormente, la detección de los frutos, hojas y tallos, lleva a este set de datos a entregarnos información relevante de la colorimetría de los pixeles, asociados a cada cosa en la imagen.

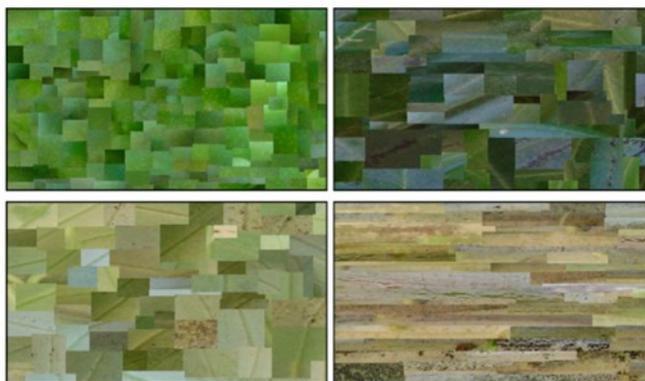


Figura 11: Set de datos utilizados para el análisis estadístico. Arriba izquierda: bayas; arriba derecha: hojas tipo1; abajo izquierda: hojas tipo2 y abajo derecha: tallo.

En el espacio de color utilizado en el software (CIElab), y es en este espacio donde podemos diferenciar cada objeto en las fotografías, graficado en la figura 12 la probabilidad de cada pixel que representa cada objeto en la imagen. Se observa que los frutos (línea azul), se escapan en la curva de probabilidad, y que el traslape producido con las hojas 1 y 2, produce cierto ruido al momento de la detección, no reconociendo si es hoja o fruto, he aquí radicando algunos errores en la estimación.

EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO

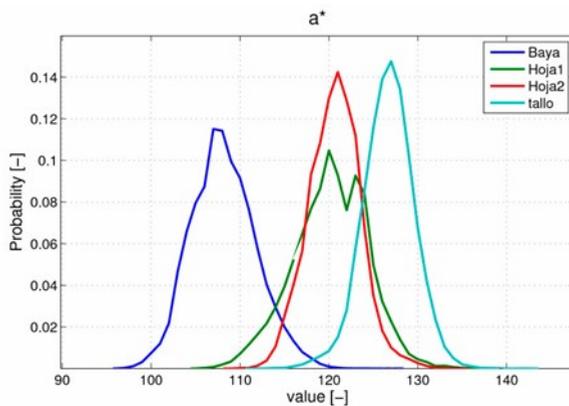


Figura 12: Análisis del espectro de datos del canal a del espacio de color CIELab, para los cuatro estratos (bayas, hoja1-2, y tallo).

Para seguir dentro de esta secuencia de procesos. La calibración y detección hasta ahora se basa solamente en la ambivalencia entre la cantidad de píxeles asociado al objeto y la longitud real de lo estimado. Actualmente, la herramienta de calibración es mediante el conteo de píxeles a una regla a una distancia conocida. En la siguiente figura se muestra la imagen utilizada para la calibración actual.



Figura 13: Imagen utilizada para la calibración del modelo.

EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO

Memoria Inteligente

El proceso de discernir si es o no aceituna, está basado en dos pasos, integrado en una red neuronal en el software: el primero en verifica si es o no aceituna, basado principalmente en características de color, tamaño, área y excentricidad. Si en esta etapa discrepa que no es aceituna la desecha y busca otro candidato, cuando la muestra a sido categorizada como "aceituna" pasa a la segunda etapa de la red neuronal, donde, el programa entra en una rutina de modelamiento elíptico y super-elíptico (parámetros geométricos), para determinar y estimar las variables de salida, las cuales son entregadas en una planilla de cálculo Excel. Como resultado final, las imágenes procesadas se muestran con objetos detectados, en este caso los frutos de olivos (Figura 14).

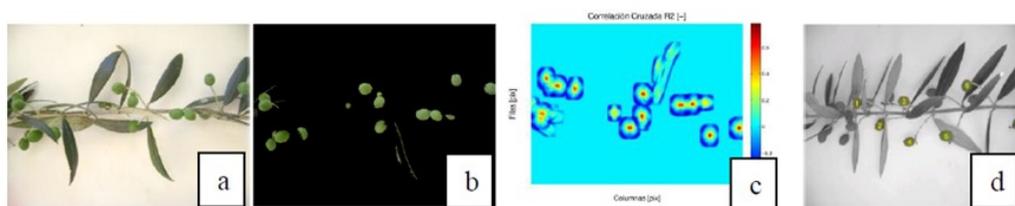


Figura 14: (a): Imagen original; (b): Imagen segmentada y filtrada; (c): imagen después de realizada la correlación cruzada con la eigen-image. (d): imagen de salida.

Comparando ambos datos obtenidos a lo largo de la temporada, podemos diferenciar que ambas curvas poseen el mismo comportamiento, marcando diferencias muy mínimas en el periodo entre el 1 de enero y el 20 de febrero), en la figura 15 se visualizar estos cambios, donde podemos distinguir lo dicho anteriormente que en las fechas en torno a una de las fechas de calibración. Donde la zona esquematizada con el círculo, representa las fechas con mejor estimación.

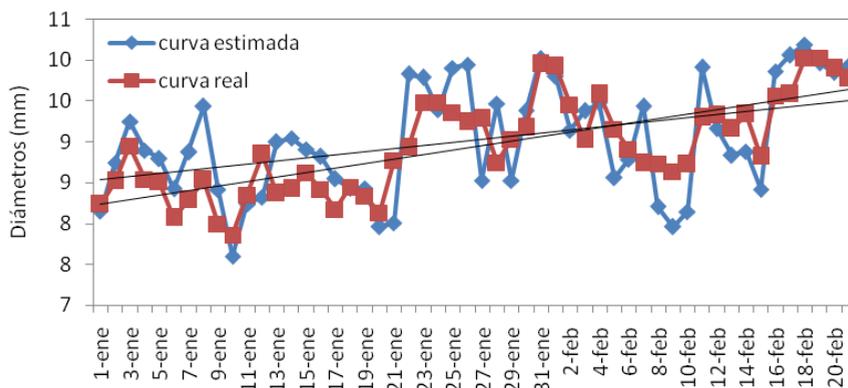


Figura 15: Comparación de ambos datos obtenidos en un trazo de la temporada.

EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO

Bibliografía

- Aguilera, H.¹, Best, S.¹, Gatica, G.², Flores, F.1. (2012). Evaluation of spatial and temporal variability of the physical characteristics of berries olives (*Olea europaea* L.), Arbequina variety, using image technology processing. ¹Instituto de Investigaciones Agropecuarias, ²Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. International Conference of Agricultural Engineering, CIGR.AGENG 2012. Julio 8/12, Valencia, España.
- Amadasun, M y R. King. 1989. Textural features corresponding to textural properties. IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics.19: 1264-1274.
- Annamalai, P. (2004). Citrus yield mapping system using machine vision. Thesis degree of Master of Science, University of Florida, E.E.U.U.
- Báez, J., M. Guerrero, J. Conde, A. Padilla y G. Urcid. 2004. Segmentación de imágenes de color. Revista Mexicana. 50(6): 579-587.
- Ballard, D.A. y C.M. Brown. 1982. Computer vision. Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
- Barranco, D., Fernández-Escobar, R., Rallo, L., (2008). El Cultivo del Olivo (6ª ed.). Departamento de Agronomía, Universidad de Córdoba. España.
- Bellon, V., G. Rabatel, y C. Guzard. 1992. Automatic sorting of fruit: Sensors for the future. Food Control. 3: 49-54.
- Best, S., Gatica, G. (2011). Estimación del diámetro de aceitunas, mediante el análisis de imágenes RGB. Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA-Quilmapu. The Third Chilean Workshop on Pattern Recognition (CWPR 2011) will take place in Pucón, Chile, November 15-18, 2011.
- Best, S., Leon, L., Zamora, I., iQonsulting Ltda. (2008). Tecnologías Aplicadas a la Agricultura de Precisión, Innovación Agraria Chile.
- Bharati, M.H., J.J., Liu, J.F. MacGregor. 2004. Image texture analysis: methods and comparison. Chemometrics and Intelligence Laboratory Systems. 72: 57-71.
- Blasco, J., N. Alexios, J.M. Roger, G. Rabatel, y E. Molto. 2002. Robotic weed control using machine vision. Biosystems Engineering. 83: 149-157.
- Brosnan, T. y D.W. Sun. 2004. Improving quality inspection of food products by computer vision – a review. Journal of Food Engineering. 61: 3 – 16.
- Carfagni, M. (1), Daou, M. (2), Furferi, R. (1). (2008). Real-time estimation of olive oil quality parameters: a combined approach based on ANNs and Machine Vision. (1) Dipartimento di Meccanica e Tecnologie Industriali, (2) Dipartimento di Ingegneria Agraria e Forestale University of Florence. Via di Santa Marta, 3 50137. Firenze. Italy.
- Caselles, V. y A. Frangi.2005. La segmentación de imágenes. El método de los contornos activos geométricos. Departamento de Tecnología, Universitat Pompeu Fabra.
- Chen, Y.R., K. Chao y M.S. Kim. 2002. Machine vision technology for agricultural applications. Computers and Electronics in Agriculture. 36: 173-191.
- Du, C.J. y D-W. Sun. 2004a. Recent development in the applications of image processing techniques for food quality evaluation. Trends in food science & technology. 15: 230-249.
- Du, C.J. y D-W. Sun. 2006. Learning techniques used in computer vision for food quality evaluation: a review. Journal of Food Engineering. 72: 39-55.

EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO

- Felföldi, J., A. Fekete y E. Györi. 1996. Fruit color assessment by image processing. EurAgEng Paper N° 96F-031.
- Forsyth, D. y J. Ponce. 2002. Computer vision: A modern approach. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, EUA. 693 p.
- Ghazanfari, A., J. Irudayaraj. 1996. Classification of pistachio nuts using a string matching technique. Transactions of the ASAE. 39: 1197-1202.
- González RC and P. Wintz. 1977. Digital Image Processing. Adisson-Wesley.
- Gunasekaran, S. 1987. Image processing for stress cracks in corn kernels. Transactions of the ASAE. 30: 266-270.
- Haralick, R.M. 1979. Statistical and structural approaches texture. Proceeding of the IEEE. 67: 786-804.
- Harrel, R.C. 1991. Processing of color images with Bayesian discriminate analysis. In I International Seminar on Use of Machine Vision Systems for the Agricultural and Bio-Industries, Montpellier. pp. 11-20.
- Jiménez, A., R. Ceres, and J. Pons. 2000. A survey of Computer vision methods for locating fruit on trees. Transaction of the ASAE. Vol. 43(6):1911-1920.
- Kanungo, T., N. Netanyahu, and A. Wu. 2002. An efficient k-Means clustering algorithm: Analysis and implementation. IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence. 24 (7): 881 – 892.
- King, J. R. 1938. Morphological development of the fruit the olive. Hilgardia. 11: 437 – 458.
- Leemans, V. y M.F. Destain. 2004. A real-time grading method of apple based on features extracted from defects. Journal of Food Engineering. 61: 83-89.
- Li, J., L. Xue, M. Liu, X. Wang and C. Luo. 2011. Detection of defect on navel orange using hyperspectral reflectance image. Advanced Material Research. Vol. 320:569-573.
- MacAdam, D.L. 1970. Sources of Color Science. Cambridge: MIT Press.
- Matas, J., Marik, R., Kittler, J. (2005). Color –based object recognition under spectrally non-uniform illumination. Image and Vision Computing. 13 (9), 663-669.
- Miller, B.K. y M.J. Delwiche. 1989. Peach defect detection with machine vision. ASAE Paper N° 89-6019.
- Montes, N. (2001). Desarrollo de algoritmos de segmentación de frutos maduros y verdes de café en imágenes tomadas en condiciones controladas, basados en las propiedades de color. Tesis de grado, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Manizales. Universidad Nacional de Colombia.
- Moreda, G. J. Ortiz-Cañavate, F. García-Ramos and M. Ruiz-Altisent. 2009. Non-destructive technologies for fruit and vegetable size determination – a review. Journal Engineering. 92(2):119-136.
- Morimoto, Koons, Amir, Flickner. (2000). Pupil detection and tracking using multiple light source. Image and Vision Computing 18,331-335.
- Muñoz-Cobo, M., Hidalgo, Javier., Hidalgo, Juan C., Vaga Macias, V. (2003). Riego de Olivar con cantidades deficitarias de agua. IFAPA, Junta de Andalucía.
- Nevatia, R. 1982. Machine perception. Prentice Hall, Englewood Cliffs, Nueva Jersey.
- Nimesh, S., M. Delwiche and R. Johnson. 1993. Image analysis methods for real-time color grading odstonefruit. Computer-sand Electronic in Agriculture. 9(1):71-84.
- Pearson, T.C. y T.F. Schatzki. 1998. Machine vision system for automated detection of aflatoxin-contaminated pistachios. Journal of Agricultural Food Chemistry. 4: 2248-2252.

EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO

- Puchalski, C., J. Gorzelany, G. Zagula and G. Brusewitz. 2008. Image analysis for apple defect detection. *TEKA-Kom.Mot.Energ.Roln.* 8:197-205.
- Rapoport, H. F. 2001. Botánica y morfología. P.35 – 60. En: Barranco D., Fernández-Escobar, R. y Rallo, L. (eds.). *El Cultivo del Olivo*. Mundiprensa, Madrid.
- Rendón, J. 2006. Estimación y segmentación de movimientos en secuencias de video. Tesis Maestro en Ciencias. Centro de investigación científica y de educación superior de Ensenada (CICESE).
- Rojas, T., Sanz, W., Arteaga, F. (2008). Sistema de visión por computadora para la detección de objetos esféricos a través de la transformada de Hough. Centro de Investigación y Tecnología en Automatización, Electrónica y Control. Universidad de Carabobo, Venezuela.
- Ruiz, L.A., E. Moltó, F. Juste, F. Plá, y R. Valiente. 1996. Location and characterization of the stem-calyx area on oranges by computer vision. *Journal of Agricultural Engineering Research.* 64: 165-172.
- Russ, J.C. 1999. *Image processing handbook*. 3rd edn. Boca Raton: CRC Press.
- Saber, M. and A. Tosinia. 2011. Classification tomatoes on machine vision with fuzzy the mandani inference adaptative neuro fuzzy inference system based (anfis-sugeno). *Australuan Journal of Basic and Applied Sciences.* 5(11):846-853.
- Sedgley, M. y Griffin, A.R.. 1989. Seed and fruit development. Sexual reproduction of tree crops. Academic Press Ltd: 149 – 168.
- Sonka, M., V. Hlavac and R. Boyle. 1993. *Image processing, analysis and machine vision*. Chapman & Hall, Londres, Reino Unido.
- Suárez, A. 2009. Análisis de métodos de procesamiento de imágenes estereoscópicas forestales. Proyecto fin de Máster en Ingeniería Informática para la industria. Facultad de Informática, Universidad Complutense de Madrid.
- Sun, Da-Wen. (2008). *Computer Vision Technology for Food Quality Evaluation*, National University of Ireland, Earlsfort Terrace, Dublin. Elsevier inc.
- Sun, D-W. 2008. *Computer vision technology for food quality evaluation*. Academic Press/Elsevier, San Diego, California, USA. 583 pp.
- Taylor, J., B. Tisseyre and J. Praat. 2005. Bottling good information: Mixing tradition and technology in vineyards. In *Information and technology for sustainable fruit and vegetable production*, Fruit, nut and vegetable production engineering symposium.
- Varghese, Z., C.T. Morrow, P.H. Heinemann, J.H.. Sommer III, Y. Tao y R.M. Crassweller. 1991. Automated inspection of golden delicious apples using color computer vision. *ASAEpaper N° 91-7002*.
- Villanueva, J. y S. Córdova. 2008. *Sistema de Visión Artificial*. Universidad de San Martín de Porres. Facultad de Ingeniería y Arquitectura.
- Zhen, C., D-W. Sun y L. Zheng. 2006. Recent development of image texture for evaluation of food qualities – a review. *Trends in food science & technology.* 17: 113-128.
- Zion, B., A. Shklyar y I. Karplus. 1999. Sorting fish by computer vision. *Computers and Electronic in Agriculture.* 23: 175-197.
- Zion, B., A. Shklyar y I. Karplus. 2000. In-vivo fish sorting by computer vision. *Aquaculture Engineering.* 22: 165-179.
- Zude, M. 2009. *Optical monitoring of fresh and processed agricultural crops*. CRC Press. Taylor & Francis Group. 537 p.

EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO

PROTOTIPO DE MONITOR DE RENDIMIENTO PARA OLIVOS Y GENERACION DE MAPAS DE RENDIMIENTO

El potencial de agricultura de precisión es reducir los costos en la producción, aumentar la productividad y hacer un uso más eficiente de los insumos, para ello es necesario tener una variada gama de información de campo, ya sea de manejo agronómico como también aspectos naturales, intrínsecos de cada predio de trabajo, una de la tecnologías de las cuales entrega información del rendimiento espacial, es denominado Monitor de Rendimiento. A través del monitor de rendimiento, podemos conocer la variabilidad de los cuarteles y el área que ocupa cada sitio y cuantificar las diferencias de rendimientos entre cada uno de ellos.

Los datos provistos por el monitor más el GPS conforman un mapa de rendimiento que permite conocer los rendimientos del cultivo en cada parte del lote y los factores que intervinieron en la expresión del mismo.

GENERALIDADES.

Para la cosecha del presente año (2011) se implementó un segundo prototipo, idéntico al primero en cuanto a funcionalidad. Esta nueva unidad fue instalada en una segunda cosechadora propiedad de la empresa olivícola. De esta forma, habilitadas las dos máquinas cosechadoras con el prototipo, se dieron las condiciones para monitorear el proceso de cosecha en forma espacialmente continua dentro del huerto, logrando continuidad espacial en los datos referentes al flujo de aceitunas registrados por el prototipo. Una vez recogidos los datos desde los prototipos se trabajó en desarrollar un algoritmo estadístico-matemático para derivar a partir de ellos información aproximada de rendimiento espacial de aceitunas a la cosecha y así trazar un mapa de rendimiento. Dicho algoritmo actualmente se encuentra en proceso de empaquetamiento en un software que permite realizar el procesamiento de los datos de manera rápida y versátil.

MODIFICACIONES EFECTUADAS AL PROTOTIPO ORIGINAL.

- Módulo Identificador de Estado de Cosecha (On/Off). Debido a las frecuentes detenciones o interrupciones que tiene la cosecha, por causas tales como fallas mecánicas de la máquina cosechadora, detenciones para descanso del conductor, etc., es que se incorporó al prototipo un módulo para identificar el estado de la labor, es decir proporcionar la capacidad de reconocer en qué momento debe o no considerar y almacenar los datos provenientes de las celdas de carga y del GPS.

Para tal efecto se implementó un sensor de proximidad de efecto Hall, el que se dispuso en el mecanismo de la máquina cosechadora, específicamente en el eje que proporciona el movimiento hacia el sistema de varas golpeadoras. Sabiendo que el mecanismo de golpeadores sólo es activado por el operario toda vez que se efectúa la labor de cosecha, y ante cualquier pausa de la cosecha el operario inmediatamente detiene este mecanismo, de esta forma se determina la mejor ubicación del sensor de proximidad.



Figura 1. Sensor de Proximidad de efecto Hall.

EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO

- Módulo de Medición de Inclinación de Cosechadora. De acuerdo a la experiencia del primer año con el prototipo (2010), se detectó la necesidad por parte del prototipo monitor de reconocer los cambios en la inclinación de la máquina mientras se efectúa la cosecha. Se detectó que la inclinación repercute directamente en el dato de flujo de aceitunas, ya que al cambiar aunque sea levemente la inclinación de las celdas de carga, respecto a la horizontal y en un sentido longitudinal a la línea de avance, se produce una respuesta diferente para una misma magnitud de flujo de aceitunas.

Para intentar cuantificar la inclinación se decidió incorporar una nueva celda de carga con la única finalidad de detectar y cuantificar la inclinación. Usar una celda de carga como “sensor de Inclinación” se consideró una solución asequible económicamente y además técnicamente factible de incorporarse al prototipo desarrollado. La celda de carga y su localización se muestran en las figuras 2 y 3.



Figura 2. Celda de Carga, mod. 108TA, 5kg.



Figura 3. Ubicación Celda de Carga como “Sensor de Inclinación”.

Fi-

EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO

IMPLEMENTACIÓN SEGUNDA UNIDAD PROTOTIPO.

Dado que en el huerto en estudio la cosecha se realiza paralelamente con dos máquinas, se implementó una segunda unidad del prototipo original anteriormente descrito y con las mismas modificaciones efectuadas en los puntos anteriores, con el fin de ser instalada en la segunda máquina cosechadora. Así, para esta nueva unidad se debieron adquirir los mismos componentes básicos utilizados en el prototipo original, de tal forma que se adquirieron dos celdas de carga para conformar los dos sensores de flujo instalados en la nueva cosechadora, más una tercera celda de carga como recambio. Así también se adquirieron dos celdas de carga para utilizar como "sensores de inclinación", una por cada prototipo. Se adquirió también otro GPS, y toda la electrónica y componentes eléctricos y el hardware para la correcta implementación del nuevo prototipo.

Una vez implementada la unidad de control del nuevo prototipo (fig.4), además de los soportes de las celdas de carga (fig.5), y el cableado y hardware en general, entonces se procedió a instalar esta segunda unidad en la segunda máquina cosechadora verificando su correcta operatividad.



Figura 4. Unidad de Control instalada en la cabina de la segunda cosechadora de aceitunas.



Figura 5. Placa de Impacto con Celda de Carga instalada en la línea de cosecha derecha.

EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO

ANÁLISIS DE DATOS REGISTRADOS.

Una vez iniciada la cosecha se fue recuperando diariamente la información registrada por los dos prototipos desde sus respectivas unidades de memoria extraíble. En primer lugar se realizó a los datos un tratamiento de filtrado y suavizado, calculando desviaciones estándar, y utilizando medias móviles de periodo 5.

Al observar los datos y la labor en terreno, pronto se pudo identificar una fuente de ruido recurrente que afecta directamente los sensores de flujo. El problema consiste en que, con la presencia de cierto nivel de humedad ambiental y/o agua presente en las plantas y aceitunas debido a la lluvia, el polvo que normalmente esta en las aceitunas, ramas y hojas, al juntarse con el agua se pega a las placas de los sensores y a medida que transcurre la cosecha va aumentando el grosor de la capa de barro adherida a las placas. De esta forma los sensores “ven” un impacto de la fruta mayor al real por esta carga extra que representa la capa de barro, incorporando un ruido que induce error al prototipo.

Luego de un análisis del problema se dilucidó un procedimiento dirigido a restar el ruido implícito en los datos, y que tiene asiento en el siguiente razonamiento: En el transcurso de tiempo en que la máquina sale de una hilera para entrar a otra, existe un lapso de tiempo en que la máquina cesa de cosechar, y por tanto se asume que los sensores no debieran acusar existencia de flujo, y si lo hacen entonces ese valor se atribuye a ruido, el que sería causado por la capa de tierra existente sobre la placa del sensor y que el operario por descuido no ha extraído.

La aplicación del razonamiento anterior para aislar el ruido incorporado en los datos consiste en apartar los datos correspondientes a los finales de cada hilera, que son los datos tomados en el transcurso de tiempo en que la máquina sale y entra a otra hilera sin cosechar, de los datos correspondientes a la cosecha efectiva dentro de las hileras del cuartel. Luego, los datos de cada hilera cosechada se corrigen restando el valor ponderado entre que la máquina sale de la hilera y entra a la hilera siguiente. Así el protocolo utilizado se detalla a continuación.

Descripción General de los Datos Originados por el Prototipo:

Los datos de sensores y GPS captados por el prototipo son almacenados como archivo de texto en una tarjeta de memoria tipo SD.

- Cada archivo de texto se identifica con el nombre correspondiente a la fecha diaria en que se realizó la labor de cosecha. Por ejemplo si se enciende el equipo el día 03 de Julio del año 2011, por primera vez ese día, entonces se crea un archivo de texto con el nombre: “03_07_11”, y se comienzan a almacenar en ese archivo todos los datos relativos a la cosecha que monitorea el prototipo.
- En cada archivo diario los datos son almacenados como registros, los que se pueden identificar por la hora, minutos y segundos en que fueron captados.
- Los Campos en cada Registro están separados por punto y coma “;”.
- Cada Registro está compuesto por 23 Campos, con diversa información considerada útil para la evaluación del sistema.

Fase de Conversión y Acondicionamiento de Datos.

Datos del GPS: Posición y velocidad

Desde el GPS se obtiene la información de posición global y la de velocidad.

Posición: La posición se obtiene del GPS y se almacena en coordenadas geográficas en los campos nº6 (latitud) y nº7 (longitud) de cada registro, como se muestra a continuación: **3402.80906,S** (para la latitud) y **07121.74990,W** (para la longitud). El formato de las coordenadas está en grados y minutos, por lo que se hace necesaria su transformación a grados de la siguiente forma (Ecuaciones 1 y 2):

$$Lat = \left\{ ENT \left(\frac{C_6}{100} \right) + \left[\frac{C_6 - ENT \left(\frac{C_6}{100} \right) * 100}{60} \right] \right\} \dots\dots\dots (1)$$

donde:

- Lat: latitud en grados,
- C₆: valor contenido en el campo nº6 del registro, correspondiente a la latitud en grados y minutos.
- ENT(x): función que extrae la parte entera del número x.

EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO

De la misma forma se hace con el valor de la longitud:

$$\text{Long} = \left\{ \text{ENT} \left(\frac{C_7}{100} \right) + \frac{\left[C_7 - \text{ENT} \left(\frac{C_7}{100} \right) * 100 \right]}{60} \right\} \dots \dots \dots (2)$$

donde:

- Long: es la longitud en grados,
- C₇: es el valor contenido en el campo n°7 del registro, correspondiente a la longitud en grados y minutos,
- ENT(x): función que extrae la parte entera del número x.

Velocidad: La velocidad de avance en la labor de cosecha se almacena continuamente, y corresponde al *campo n°9* de cada registro, y en unidades de km/h. Para facilitar cálculos posteriores conviene transformar la velocidad a unidades de m/s, como sigue:

$$V = \frac{C_9 * 1000}{3600} \dots \dots \dots (3)$$

donde:

- V: velocidad de cosecha en m/s,
- C₉: velocidad de avance en la cosecha, en km/h.

Datos del sensor de Inclinación:

Si el relieve del terreno en que se cosecha no es plano, la inclinación afecta las mediciones de los sensores de cosecha. Por tal razón se implementó en cada unidad Prototipo un sensor destinado a captar el nivel de inclinación existente en la máquina cosechadora. El valor de inclinación corresponde al *campo n°12* de cada registro. El valor almacenado en este campo corresponde a un valor de voltaje digitalizado proporcional al grado de inclinación del sensor. Para llevar el valor al nivel de inclinación en grados sexagesimales, se utiliza la ecuación 4, que fue previamente derivada de su calibración en laboratorio.

$$\text{Incl} = 0.00006903 * C_{12}^2 - 0.14294904 * C_{12} + 74.24709552 \dots (4)$$

donde:

- Incl: inclinación en grados sexagesimales de los sensores de flujo,
- C₁₂: valor relativo a la inclinación de la máquina durante la cosecha.

EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO

Datos de los sensores de Flujo:

Los sensores de flujo entregan una señal eléctrica de voltaje proporcional al flujo de aceitunas cosechadas y que circulan por la máquina cosechadora en un instante de tiempo “Δt”. Ese voltaje es digitalizado y almacenado en los *campos n°10* (Sensor lado Derecho) y *n°11* (Sensor lado Izquierdo) de cada registro.

Entonces para cada sensor de flujo (derecho e izquierdo) se debe corregir el valor considerando la influencia de la inclinación de la máquina. Esta corrección se realiza mediante la ecuación 5 para el sensor del lado derecho de la cosechadora:

$$S_{der} = C_{10} + K_{incl} \dots \dots \dots (5)$$

donde:

- S_{der}: valor corregido del sensor de flujo de lado derecho,
- C₁₀: valor contenido en el campo n°10 del registro, correspondiente a la señal del sensor de flujo del lado derecho de la máquina cosechadora,
- K_{incl}: ajuste de error por influencia de la inclinación de la cosechadora.

De igual modo, la ecuación 6 se aplica para corregir el valor del sensor del lado izquierdo:

$$S_{izq} = C_{11} + K_{incl} \dots \dots \dots (6)$$

donde:

- S_{izq}: valor corregido del sensor de flujo de lado izquierdo,
- C₁₁: valor contenido en el campo n°11 del registro, correspondiente a la señal del sensor de flujo del lado izquierdo de la máquina cosechadora,
- K_{incl}: ajuste de error por influencia de la inclinación de la cosechadora (ver ecuación 7).

El error inducido por influencia de variaciones de la inclinación de la cosechadora se puede calcular en base a la ecuación derivada de pruebas de laboratorio realizadas a los sensores de flujo (ver ecuación 7).

$$K_{incl} = 0.312143 * Incl^2 - 59.127143 * Incl + 2430.085714 \dots \dots \dots (7)$$

donde:

- K_{incl}: ajuste de error por influencia de la inclinación de la cosechadora,
- Incl: inclinación en grados sexagesimales de los sensores de flujo (ver ecuación 4),
- E₀: constante de referencia que corresponde a la lectura de los sensores de flujo dispuestos en la inclinación normal de trabajo (30° bajo la horizontal), que es cuando la máquina cosechadora esta sobre superficie horizontal. Las pruebas dieron un valor de E₀ = 57.

EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO

Fase de Filtrado de Datos.

El prototipo no tiene, hasta ahora, una forma directa de reconocer si la máquina está efectivamente realizando la labor de cosecha, si está detenida en el predio, en pana, o se mueve por algún camino interno del predio. De tal manera que siempre que esté encendido el sistema almacenará la información de los sensores y GPS. Por ello, se agregó un algoritmo en el programa de control del prototipo de manera que si la velocidad está entre 0.5 km/h y 5 km/h, por ejemplo, se podía asumir que la máquina estaría cosechando. Y si la velocidad está fuera de tal rango el sistema no almacena información en la memoria. Sin embargo debido al error normal esperado en un GPS, algunas veces este criterio falla para el fin descrito, por tanto se aplican una serie de filtros con la finalidad de eliminar datos que no corresponden a momentos de cosecha o que contengan cierto nivel de ruido.

Filtrado por Posición: La primera tarea consiste en identificar los registros que corresponden a un estado activo de la cosechadora, es decir que la máquina avanza sacando fruta, de los correspondientes estados pasivos, con la máquina detenida o moviéndose por entre caminos. Teniendo un mapa georreferenciado de todo el predio, habría que separar por cada cuartel dos grupos de registros de interés:

- **Registro de Cosecha:** Separar en un archivo todos los registros cuya posición global concuerda con las áreas efectivas de cultivo de un cuartel, es decir justamente sobre las hileras con árboles.
- **Registro de Cabeceras:** Separar en un segundo archivo los registros que corresponden al lapso de tiempo entre la salida de una hilera y la entrada a la siguiente, por cuartel.
- **Filtro Estadístico de los datos:** Se calculan medias y desviaciones estándar móviles de orden 10 para los datos de los sensores de flujo, ya corregidos por inclinación y tara. Luego se utiliza el criterio de “suavizar” dichos valores considerando un margen de desviación estándar estrecho.
- **Filtrado por Velocidad:** Luego, habría que aplicar un rango de velocidad de trabajo como parámetro de filtro, congruente con la variedad presente en cada cuartel, de tal forma de eliminar registros correspondientes a periodos en que la máquina está detenida, y por ende sin cosechar.
- **Filtro del tiempo:** El sistema realiza N cantidad de mediciones cuyo promedio es representativo de un lapso de tiempo “dt”, es decir que las mediciones tienen unidades con valores proporcionales a kg/s. Con el sistema cosechando de forma continua el valor de “dt” debiera estar entre 1 y 2 segundos. Si en los datos aparecen valores tomados con un tiempo mayor a 2 segundos, entonces se puede suponer que la máquina no está cosechando durante esos instantes de tiempo, por tal razón que cuando el tiempo “dt” es mayor que 2 se le asigna valor igual a cero, y así se elimina la influencia de los valores de flujo asociados a aquellos datos de tiempo.

●

Fase de Corrección de Datos de Rendimiento.

Uno de los problemas técnicos principales que se ha encontrado en terreno, del punto de vista de la implementación del prototipo, es el de la acumulación de tierra sobre los sensores de flujo. Este problema se remarca con la presencia de mayor humedad ambiental o después de una lluvia, de manera que se facilita la adherencia y aglomeración creciente de partículas de tierra en las placas de acero solidarias con los sensores de flujo. La capa se convierte en una costra dura y pesada muchas veces de más de un centímetro de grosor, generando así una carga extra en el sensor de flujo que hace pensar al sistema de control que el rendimiento es mayor al real que se está cosechando. En ocasiones si la temperatura sube, la costra de tierra se puede reseca y con la vibración de la máquina y golpe de las aceitunas se puede quebrar y soltar de la placa del sensor, esto haría volver trabajar normalmente al sistema, pero también podría hacer parecer al sistema que el rendimiento es menor que momentos antes cuando aún estaba adherida la capa de tierra. Todo lo anterior provoca ruido en la información recogida que dificultaría la calibración del prototipo.

En la figura 7 aparece una sección del gráfico con las mediciones de uno de los sensores de flujo instalados en la cosechadora. En el gráfico superior se observa que los valores de cabecera están muy alejados del eje horizontal, lo que sería un error producido por el exceso de peso producido por la acumulación de tierra sobre el sensor.

En el gráfico superior se puede observar que el valor más bajo en la Cabecera 1 es de alrededor de 1900, lo que es incorrecto ya que tal valor debiera ser igual a cero o acercarse claramente a este valor. Para corregir este desfase probablemente producido por la existencia de carga “extra” o ruido sobre el sensor, se debiera sustraer el valor de 1900 a todos los datos de la cabecera 1 e hilera 1, y así se logra el desplazamiento de la curva hasta que la zona de la cabecera quede tocando el eje horizontal. Se debe repetir la misma corrección para el resto de las curvas, dejando siempre descansar las zonas de las cabeceras sobre el eje horizontal, tal cual se puede observar en el gráfico inferior de la figura 7.

La forma de calcular el valor a descontar se reduce a apartar desde cada cabecera los valores con una desviación estándar o menos bajo la media. De estos valores se calcula la media y este valor se considera para descontarse y corregir los valores de hilera cosechada.

EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO

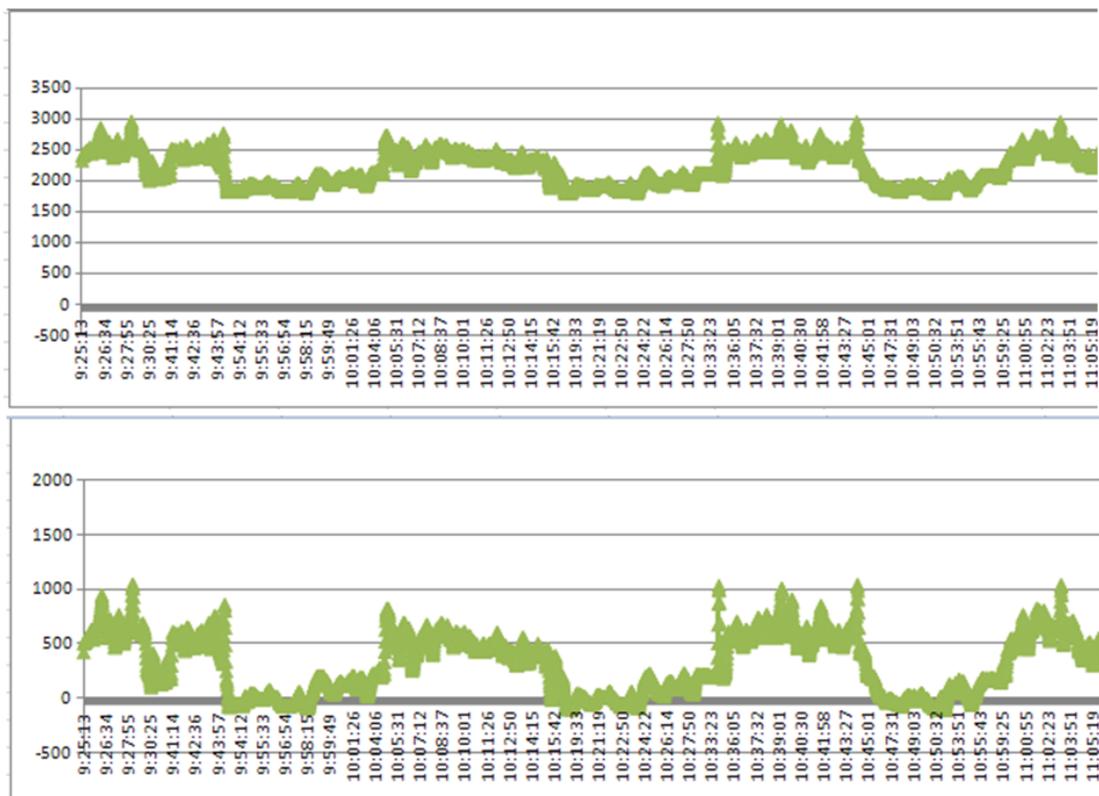


Figura 7 Corrección de datos en base a valores de Cabeceras.

Con la corrección descrita gráficamente se logra modificar los valores de los sensores de flujo S_{der} y S_{izq} , en cada uno de los registros, a nuevos valores que podemos denominar S'_{der} y S'_{izq} .

EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO

Confección de los mapas de Rendimiento Estimados.

Una vez realizada la corrección descrita en el punto anterior, se descartan los registros correspondientes a las cabeceras y nos quedamos con los registros corregidos por Cosecha efectiva por cuartel. Entonces realizamos una integración de todos los valores de flujo estimados con ambos sensores para obtener el valor total medido con el prototipo, que no es más que un número que debiera ser proporcional al flujo de aceitunas cosechado, por cuartel (ver ecuación 8).

$$F_{tot} = \sum_{i=1}^n (S_i^{der} + S_i^{izq}) * \Delta t_i \dots \dots \dots (8)$$

donde:

- F_{tot}: valor total medido con el prototipo,
- S^{der}: valor corregido del sensor de flujo de lado derecho,
- S^{izq}: valor corregido del sensor de flujo de lado izquierdo,
- Δt: tiempo transcurrido, en segundos, entre el registro actual y el precedente.

Si en algún prototipo se ha perdido funcionalidad en uno de los dos sensores, entonces se puede calcular el valor total de la siguiente forma:

$$F_{tot} = 2 * \sum_{i=1}^n S_i' * \Delta t_i \dots \dots \dots (9)$$

donde:

- F_{tot}: valor total medido con el prototipo,
- S': valor corregido del único sensor de flujo funcional,
- Δt: tiempo transcurrido, en segundos, entre el registro actual y el precedente.

Existen dos formas para realizar la calibración de los datos del prototipo. La primera es conociendo el peso real cosechado por cuartel, información que se puede obtener en la planta de procesos, cuando esta disponible. Entonces calculamos la constante de proporcionalidad "K", por cuartel, como muestra la ecuación 10:

$$K = \frac{P_{real}}{F_{tot}} \dots \dots \dots (10)$$

donde:

- K: constante de Calibración para el prototipo monitor,
- P_{real}: peso Real medido en planta,
- F_{tot}: valor total medido con el prototipo.

EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO

Luego, se aplica el factor **K** para corregir los valores de flujo de los sensores en unidades de kg. Ver ecuación 11.

$$P_i = F_i * K \dots\dots\dots(11)$$

donde:

P_i: rendimiento instantáneo estimado con el prototipo, en kg,

F_i: valor i-ésimo medido con el prototipo,

K: constante de Calibración para el cuartel dado.

Si no existe la información del peso por cuartel, entonces se puede recurrir a una ecuación de ajuste que se ha logrado luego de diversos ensayos en terreno, la que por ahora tiene la siguiente forma:

$$P_i = 0.002453 * F_i^{1.032869} \dots\dots\dots(12)$$

donde:

P_i: rendimiento instantáneo estimado con el prototipo, en kg,

F_i: valor i-ésimo medido con el prototipo.

Sólo falta calcular el flujo en unidades de kg/m lineal, para poder trazar el mapa de rendimiento estimado:

$$Rend_i = \frac{(P_i)}{V_i * \Delta t_i} * SSH \dots\dots\dots(14)$$

donde:

Rend_i: rendimiento estimado según avance, en kg/m,

P_i: rendimiento instantáneo estimado con el prototipo, en kg,

V_i: Velocidad del dato i-esimo en m/s,

Δt: tiempo transcurrido, en segundos, entre el registro actual y el precedente,

SSH: separación sobre hileras, en m.

EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO

CALIBRACIÓN DE PROTOTIPOS

Dado que no existen “sensores de impacto” comerciales propiamente tal para utilizar en aplicaciones como esta, es que se tomó la decisión de desarrollarlos con componentes y materiales conocidos y accequibles. Las celdas de carga se pueden también llamar sensores de peso o fuerza que al estrellarse contra una superficie genera sobre esta una fuerza proporcional a su masa y velocidad, por lo tanto se decidió utilizar celdas de carga a las que se les adhirió una placa rígida de acero inoxidable, de tal forma que la placa traspase a la celda de carga la fuerza generada por el “chorro” de aceitunas que abandona la cinta transportadora a una velocidad v_0 . Luego, si la velocidad inicial es constante, es posible encontrar una relación entre la masa y la fuerza generada en el impacto, al menos teóricamente. Lo anterior se basa en el estudio de la física, específicamente en los conceptos de Momento Lineal y la Segunda Ley de Newton.

Siendo así, se procedió en primer lugar a caracterizar o calibrar los sensores de impacto desarrollados, lo que se hizo cosechando ciertos volúmenes de fruta, y posteriormente graficando los valores reales pesados en la planta procesadora contra los valores registrados con la unidad de control del prototipo.

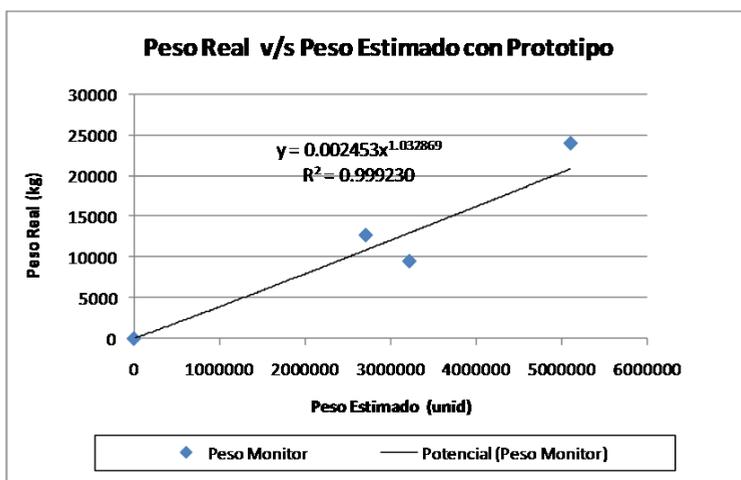


Figura 8. Curva de Calibración para Prototipo Monitor de Rendimiento.

A los puntos graficados se trazó una línea de tendencia del tipo potencial, ya que fue la que se consideró más representativa para los datos tratados.

ESTIMACIÓN DE RENDIMIENTO

Considerando como alta la correlación encontrada ($R^2 = 0.99$) entre los rendimientos reales y los estimados con el prototipo, se procedió luego a interpretar los demás datos obtenidos con los prototipos utilizando la ecuación correspondiente a la curva de ajuste, a partir de lo observado en la figura 8, y que es la siguiente:

$$Q_r = 0.002453 * Q_m^{1.032869}$$

Donde:

Q_r = Rendimiento real, en kg.

Q_m = Rendimiento estimado por el monitor, en kg.

Luego, se trazaron los mapas de rendimiento estimados a partir de los datos obtenidos con el prototipo para su análisis y comparación con el resto de la información que se maneja del cultivo.

EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO

PROBLEMAS TECNICOS ENCONTRADOS

En primer lugar hubo dificultad para lograr que el sensor de proximidad trabajara de manera confiable. Esto se puede explicar por las pocas posibilidades que se encontraron para colocar el sensor dado la función que se esperaba obtener de él. Su ubicación se vio dificultada por la estrechez en el espacio físico existente en el lugar en que se localiza el eje que distribuye el movimiento hasta las varas golpeadoras. Aunque en un principio se logró dejar operativo este sensor, una vez de lleno en la labor de cosecha comenzó a presentar inconsistencia en su funcionamiento en una de las cosechadoras. Si la máquina estaba cosechando y el sensor no daba cuenta de esto, entonces podrían dejarse zonas sin registrar, con lo que se perdería continuidad en los datos, por tal motivo se decidió deshabilitar este módulo de cada una de las cosechadoras, con la intención de retomarlo posteriormente.

El otro problema de importancia es el descrito en el punto 4, que dice relación con la aglomeración de tierra y agua formando una costra de barro sobre las placas de impacto. Este problema se ve difícil de evitar, por esa razón se ha optado por subsanar tal dificultad por medio de la aplicación del algoritmo matemático-estadístico que se implementó en un software de análisis del monitor como los problemas antes descritos para limpieza de la información.

Software de monitor de Rendimiento

Para el análisis e interpretación automática de la información recopilada en el monitor de rendimiento, se desarrolló el software del monitor el cual posee su pantalla inicial el ingreso de variables (Figura 9) en la cual deben ser ingresadas la localización de los archivos *.txt obtenidos de la tarjeta SD del monitor y el shape de los cuarteles (SIG) del predio con la definición de cuarteles existentes. Por otra parte, deben ingresarse los archivos de salida de información (Figura 9), definiendo donde dejará los shapes asociados a los puntos internos de cuarteles (maquina trabajando) y los externos (maquina en movimiento sin trabajo).

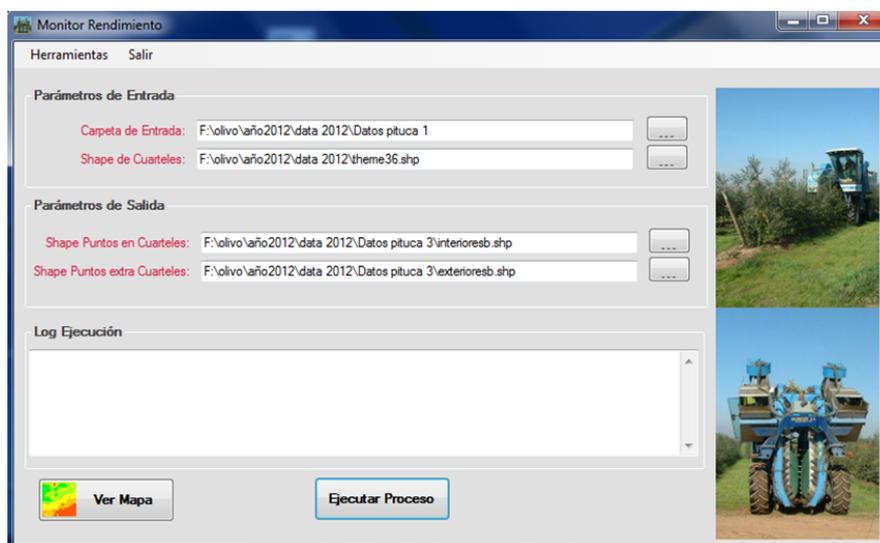


Figura 9. Pantalla de inicio del software de monitor de rendimiento.

Terminado el ingreso de variables se ejecuta el programa apretando el botón de ejecución, el software mostrará en la pantalla de log de ejecución todas las operaciones realizadas de tal forma que si existe un error uno pueda darse cuenta en que sección ocurrió este, sino existe ninguno el sistema mostrará una pantalla de finalización de ejecución (Figura 10). Cabe destacar que existe un botón de opciones del programa en el cual se encuentran las constantes de ejecución del programa el cual no debe ser tocado (por eso se bloquea dicha opción a usuarios de nivel de administrador) el cual se desarrolló para futuros avances en el ajuste de calibración del modelo con mayor información de campo.

EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO

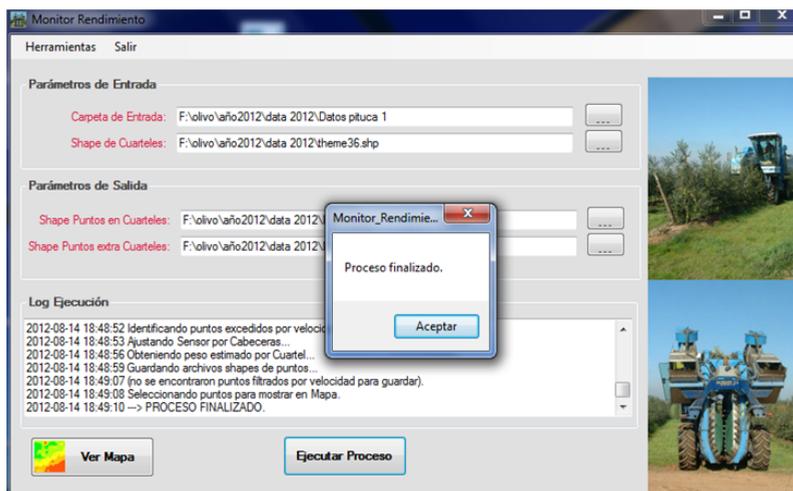


Figura 10. Pantalla de finalización de proceso (ver sección log ejecución) del software de monitor de rendimiento.

Terminada la ejecución, se puede ir a ver el mapa desarrollado el cual se visualiza la variación espacial sobre la base de los rendimientos obtenidos en campo (Figura 11). Dichos rendimiento también pueden salvarse como imagen y ser enviados por email o ir al archivo shape para evaluar espacialmente patrones que permitan determinar puntos de interés a ser cruzados con la información de campo.



Figura 11. Pantalla de visualización de resultados.

Por otra parte, si se desea correr solo un cuartel existe la posibilidad de realizar dicha función en la ventana herramientas, datos de cuartel, el cual despliega la ventana de sig del predio y elementos de depuración de información como por ejemplo incorporar velocidad de máximas y mínimas de cosecha (evitar data con ruido por velocidad fuera de rango por ejemplo paradas en potreros u otros). Además, es factible incorporar los kilos totales reales obtenidos en planta por cuartel y estos son distribuidos espacialmente acorde al patrón de variabilidad que se obtuvo por el monitor.

EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO

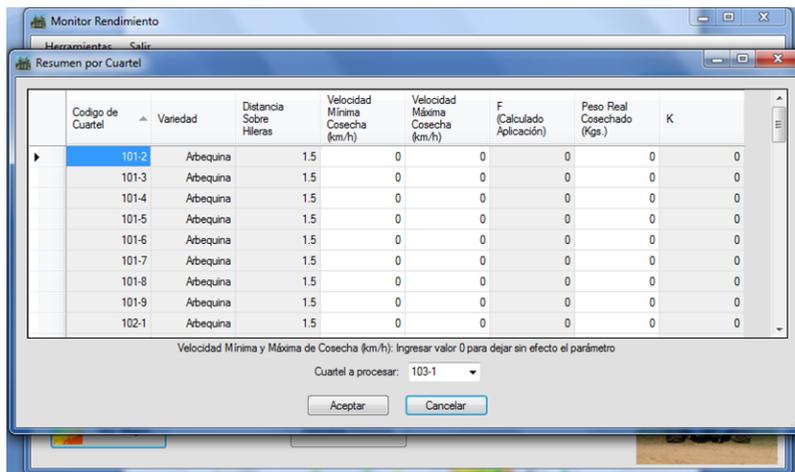


Figura 12. Pantalla de ajuste de velocidades (filtrado) y de kilos espaciales reales a partir de medición en planta.

Comparación espacial de los datos del monitor de rendimiento versus puntos muestrales.

Dada la necesidad de poder verificar la información entregada por el equipo, ya sea por su distribución espacial del rendimiento y cantidad real por zonas, se hizo necesario adquirir la información generada por los puntos muestrales de estimación (estereología) y rendimiento total por el cuartel.

El rendimiento del cultivo es un valor derivado o calculado. La calibración es ejecutada para asegurar que el dato del sensor y datos ingresados son usados apropiadamente por el monitor para producir el dato final en unidades de kilogramos por hectárea. Durante esta etapa se generaron los mapas de rendimientos del monitor y de grillas de puntos muestrales, en la cual se explican a continuación.

- Generación de Planos de rendimiento a través del Monitor de Rendimiento.

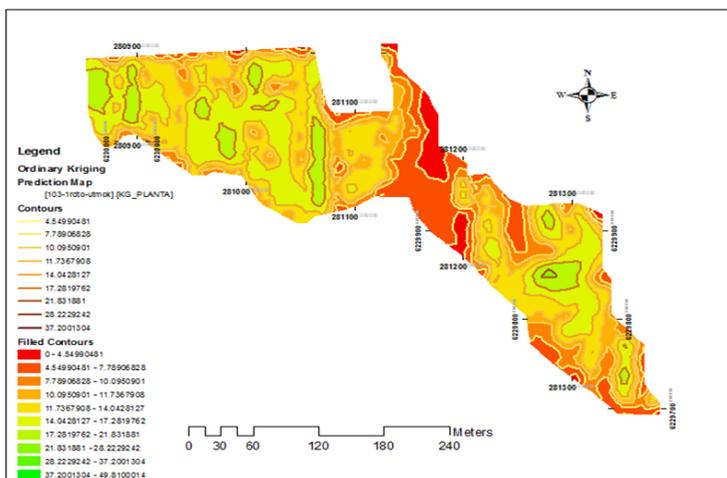


Figura 13. Las zona uno es de mayor rendimiento, la zona dos menor rendimiento y la zona tres es la zona media.

EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO

- **Generación de Planos de rendimiento a través de puntos muestrales.**

Los análisis anteriores permitieron demostrar que la metodología es bastante estable para poder estimar rendimiento por punto. Utilizando la información anterior, esta nos permitió extrapolarla y generar planos de rendimiento espacial. Figura14.

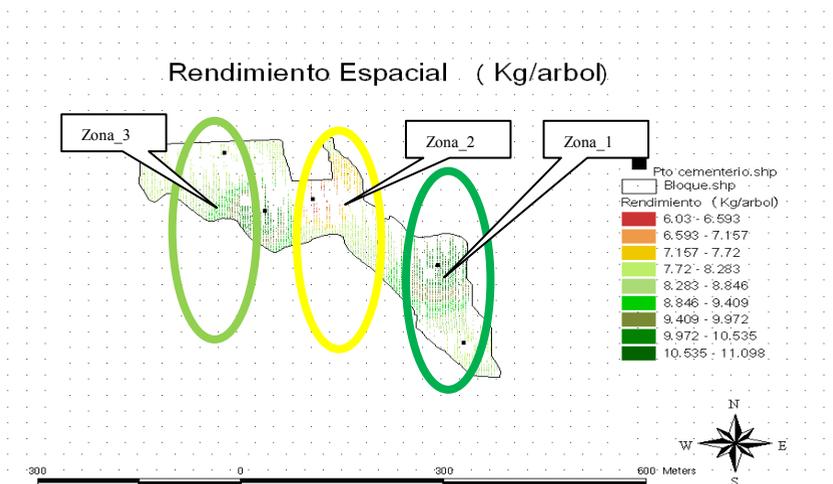


Figura 14. Distribución espacial de los kilos por árbol.

En ambas figuras (13y 14) se observan la distribución espacial de los kilos por árbol en el cuartel, donde colores más verdes significa mayor rendimiento. Además de ello se denotan tres grandes zonas de rendimiento, que se debe a múltiples causas tanto intrínsecas de cada sector, como también del mismo manejo agronómico que induce a que se genere estas diferencias. Se encontraron tres grandes zonas, en las cuales se identifican: Las zona uno es de mayor rendimiento, la zona dos menor rendimiento y la zona tres es la zona media.

Pues bien ambas metodologías representan la variabilidad de rendimiento en el cuartel, además de ello la distribución que representan son homogéneas, esto nos indica que las herramientas generadas son útiles para representar la distribución espacial del rendimiento en cada cuartel y además en todo el huerto.

Por otra parte, al evaluar los planos de rendimientos generados a partir del monitor de rendimiento, y asociarlo a los planos de calidad (cantidad de aceite) espaciales (Figura 15), podemos visualizar una clara tendencia del mapa de rendimiento con la calidad obtenida que es un patrón claro de segmentación para tomar acciones de manejo asociados.

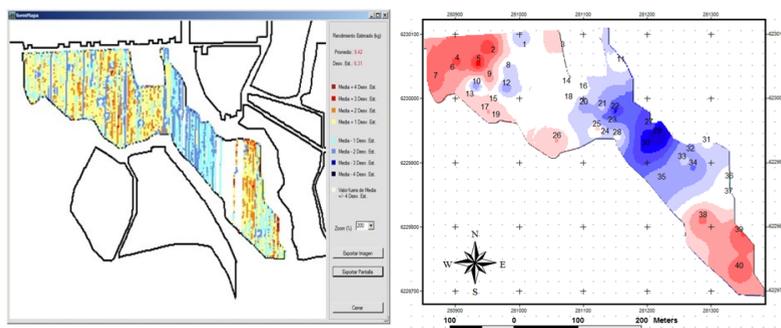


Figura 15. Mapa de rendimiento (izquierda) y de contenido de aceite (derecha) con un claro patrón en sus valores.

EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO

Además, se puede agregar que al hacer el análisis de clústeres considerando en ambos casos la variabilidad de factores vegetativas y reproductivas al interior del bloque de trabajo y el mismo mapa generado a partir de la información de clúster de monitor de rendimiento (Figura 16). En el análisis se puede evaluar la cierta tendencia de la información con ciertos patrones en la información que puede ser utilizada para gestión de manejo de estas zonas.

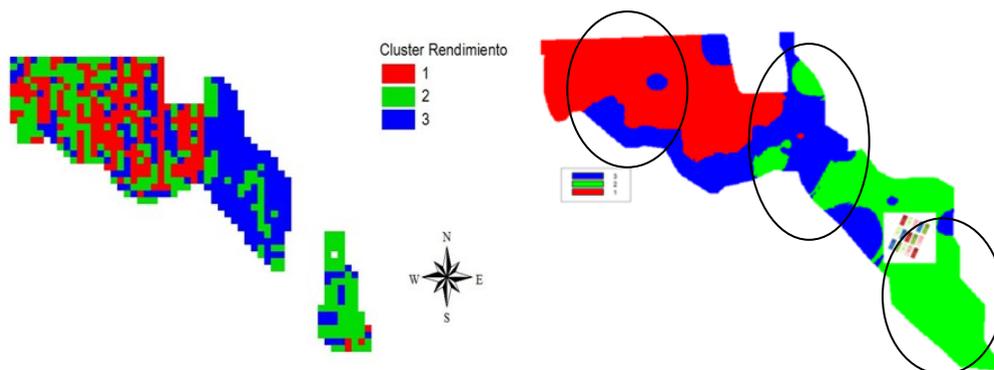


Figura 16. Comparación de Clúster análisis de características vegetativa y reproductivas (derecha) y del monitor de rendimiento (izquierda).

CONCLUSIONES

- Se ha observado que la segunda unidad prototipo implementada se comportó de manera estable y robusta, midiendo y almacenando correctamente toda la información proveniente de los sensores y GPS, manteniendo los patrones existentes en el bloque obtenidos a partir del primer prototipo desarrollado. Sin embargo, si bien los patrones de producción son estables el prototipo tiende a sobrestimar los rendimientos, lo cual es corregido por los rendimientos totales en planta (almazara) para poder realizar un mejor ajuste de este valor por planta y poder evaluar cambios temporales.
- Dada la complejidad de recopilar, ordenar y procesar la gran cantidad de datos recogidos por cada uno de los prototipos, alcanzando cerca de 30.000 datos diarios por cada prototipo, es que se elaboró un software que realice todas las operaciones necesarias a los datos originales para entregar finalmente un mapa de rendimiento.
- Es importante destacar que la información obtenida de los mapas de rendimiento, generan una herramienta altamente potente para el manejo de huertos en especial en este cultivo altamente heterogéneo y con alta tendencia a añerismo, pudiendo ser útiles en las decisiones de manejo de fertilidad y riego en asociación al monitoreo continuo de la evolución de los cuarteles.
- Finalmente, cabe destacar que si bien el monitor posee un comportamiento estable en cuanto a la detección de patrones, no genera una información altamente confiable en lo referente a la medición exacta del rendimiento, sin embargo como la medición en planta se realiza con exactitud, la incorporación en el software de análisis el poder repartir asociado a los patrones del monitor dicho rendimiento mejora sustancialmente las mediciones. Es importante destacar que el desarrollo de este tipo de monitores en el caso de granos se demoró más de 10 años antes de salir en un formato comercial como el de AGleader.



EVALUACIÓN ESPACIAL DE CALIDAD DE ACEITE CON SISTEMA NO TRADICIONAL DE EVALUACIÓN

Lorenzo León G. Mg. Sc.

EVALUACIÓN ESPACIAL DE CALIDAD DE ACEITE CON SISTEMA NO TRADICIONAL DE EVALUACIÓN

Introducción y problemática

Actualmente, existe el gran desafío de representar el estatus del cultivo del olivo a través de la evolución de la calidad de su producción mediante técnicas no destructivas durante la temporada, y que dicha evolución pueda ser asociada al resultado del cultivo en términos industriales. En este sentido, una de las técnicas que se ha evaluado con resultados más promisorios en los últimos 6-7 años en la industria olivícola ha sido la espectroscopia en el infrarrojo cercano (NIR).

Esta necesidad de un monitoreo de la producción en condiciones de terreno responde a una tendencia que se produce de igual manera en distintos rubros productivos, y muy particularmente en frutales, en donde las mediciones desarrolladas con fines de manejo tienden a ser sobre el cultivo y especialmente sobre los frutos. La representación de los atributos de calidad con tecnologías no destructivas abre la posibilidad de hacer más mediciones, a un menor costo, sobre una base espacial (varias mediciones por cuartel) y temporal (varias mediciones en la temporada).

Hoy en día en Chile el término "calidad" para fines de manejo agronómico del olivo y de los requerimientos a nivel de planta se asocia ampliamente al contenido o concentración de aceite en el fruto, ya sea en base a materia seca o peso fresco. En la industria internacional, este factor de calidad es muy utilizado para la valoración de la producción, el cual depende fundamentalmente de la variedad y del grado de maduración en el momento de la recolección (Civantoset al., 1992).

La necesidad de aplicar tales tecnologías ha surgido del hecho que los métodos estándar (en particular el método de Soxhlet) de determinación de laboratorio presentan de distintos inconvenientes a la hora de representar en un mapa o hacer un seguimiento de los atributos asociados a calidad, entre ellos que dichos métodos son altamente demandantes de tiempo y mano de obra especializada, además de equipamiento que demanda un laboratorio de análisis, o, en su defecto el alto costo de cada una de las muestras que pueden ser colectadas en forma destructiva a nivel de terreno.

Dado lo anterior, con los métodos estándar de determinación no es posible establecer una grilla o un conjunto de datos en los cuarteles a ser manejados y posteriormente cosechados bajo el concepto de agricultura de precisión, sino más bien tan solo mediciones puntuales que apuntan a determinar promedios a nivel de cuartel. Por el contrario, con el uso de las metodologías no destructivas es posible establecer un conjunto de puntos de muestreo en los cuarteles de trabajo, lo cual permite el confeccionar **mapas de la variación de los atributos** para los puntos en el espacio, pudiendo asimismo hacer distintas mediciones en una temporada, para determinar de esta forma la variación temporal de la misma. Dicha información puede ser empleada tanto para ser asociada a variables que expliquen tal comportamiento diferencial en los atributos de calidad, como también establecer zonas hacia la época de cosecha en función de las cuales se pueda recolectar la producción en forma diferencial, con la finalidad de obtener productos con un mejor precio y calidad. Por otra parte, se espera en el mediano plazo una variación de los atributos de calidad, fundamentalmente en aspectos sensoriales a nivel de consumidor, en torno a los que se podrán establecer precios diferenciales para los volúmenes cosechados y ante lo cual se requerirá de una mayor capacidad analítica de frutos en la industria tanto a nivel de huerto, como en las plantas de producción de aceite.

La espectroscopia NIR como una herramienta analítica en olivicultura ha presentado promisorios resultados especialmente a nivel de evaluación de aceites y, en menor proporción a nivel de campo. En el presente capítulo, se dan a conocer varios avances desarrollados en Chile durante las temporadas 2009 a 2012, teniendo una especial orientación de la aplicación de esta técnica en condiciones de campo mediante el uso de espectrómetros NIR portátiles. De esta manera, se dará a conocer las principales experiencias desarrolladas hasta el momento y los resultados derivados de las mismas. De la misma forma se dará una breve descripción de los métodos de determinación empleados así como de los criterios usados en la definición de los lugares de muestreo, los que se relacionan con aquellos descritos para el caso de determinaciones de número de fruto en el arboles (*Capítulo Estimación de Rendimiento*) y de crecimiento de frutos (*Capítulo Estimación de características físicas del huerto mediante visión artificial*), también descritos en el presente volumen.

EVALUACIÓN ESPACIAL DE CALIDAD DE ACEITE CON SISTEMA NO TRADICIONAL DE EVALUACIÓN

Tecnologías empleadas métodos empleados**Métodos estándar de medición de extracción de aceite:**

A continuación se realiza una revisión de los principales métodos de extracción de aceite, basado en la descripción desarrollada por Martínez et al., (1999).

Muestra a procesar: Aproximadamente 3 Kg de cada una de las muestras se trituran en un molino de martillos. La pasta de aceitunas molidas se homogeniza y se toman, siempre por triplicado, 600g para la determinación del contenido en aceite parcial, según el sistema Abencor y aproximadamente 50g para las determinaciones de humedad y contenido en aceite sobre seco.

Abencor: Utilizando el analizador de rendimientos **Abencor**[®]. Este sistema reproduce el proceso de trabajo de una almazara industrial de aceitunas a pequeña escala, con el que se obtiene una muestra de aceite con todo su sabor, que puede utilizarse para valorar sus características organolépticas u otras determinaciones analíticas. Las muestras de aceitunas se trituran en un molino de martillos obteniéndose una pasta que es homogeneizada inmediatamente; de cada lote se toman 600g, las que se someten a un proceso de batido y posterior centrifugación a 3500 r.p.m., donde se obtiene el aceite, que es recogido, junto con el agua de vegetación, en una probeta graduada de 500 ml. Una vez decantado se evalúa, por lectura en la probeta, la cantidad total de aceite obtenido, que representa el «contenido en aceite parcial sobre húmedo» (C.A.H.), expresado como porcentaje.



Figura 1: Equipamiento utilizado en el método de abencor de extracción de aceite de olivas. Foto por: http://www.uclm.es/grupo/gao/lab/lab-qui_gao.htm

“Según lo expresado por García Sánchez et al., (2005), los métodos de referencia más utilizados en la industria (Soxhlet y autelec) para la determinación en aceitunas del contenido de aceite se caracterizan por la lentitud de etapas de la desecación en estufa y extracción en Soxhlet (Norma UNE 55030), por el uso de disolventes orgánicos (Soxhlet y Autelec), todo lo que ha hecho evidente la necesidad de contar con nuevas técnicas analíticas”.

Soxhlet: Según el método oficial, Norma UNE 55030. Las muestras previamente secadas en estufa de aire a 105° C se extraen con hexano, en un extractor soxhlet, durante un mínimo de 5h. A continuación en la estufa a 105 o C se eliminan las trazas de disolvente. Con la cantidad de aceite recuperado, se determina la riqueza grasa seca, y a partir de éste la riqueza de grasa húmeda. De esta manera, se obtiene el «contenido de aceite total sobre seco» (C.A.S.), expresado como porcentaje.

EVALUACIÓN ESPACIAL DE CALIDAD DE ACEITE CON SISTEMA NO TRADICIONAL DE EVALUACIÓN

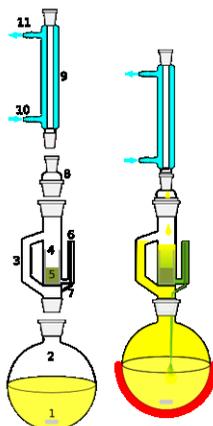


Figura 2: Esquema y funcionamiento del método de soxhlet de extracción de aceites.

En figura 2, se observa una representación esquemática de un extractor Soxhlet 1: Agitador de barras 2: pote de disolvente 3: Ruta de destilación 4: Thimble 5: Sólido; 6: sifón; 7: salida del sifón 8: adaptador de expansión 9: condensador 10: Entrada agua de refrigeración 11: salida agua de refrigeración http://en.wikipedia.org/wiki/Franz_von_Soxhlet

Centrifugación: para la ejecución de este método, se introducen 50g de pasta de aceitunas molidas, de cada una de las muestras, en tubos de plástico translúcidos de 50 ml, que se colocan en una centrifuga, con capacidad para 4 vasos. Las muestras se centrifugan durante cinco minutos a 4500 r.p.m. Para los ensayos con sulfato sódico y talco, la dosis empleada fue, en ambos casos, de 2g (4% en peso), que se adicionaron, una vez pesada la masa en el tubo, sobre su superficie. Transcurrido el tiempo correspondiente, se produce la separación de fases, quedando el aceite en la parte superior, por debajo de éste, una zona constituida por el agua de vegetación de la aceituna, que en el caso de las muestras tratadas con sulfato sódico es muy reducida e incluso nula, y por último, los sólidos ocupando el mayor volumen.

Método de autelec:

Equipo semiautomático de laboratorio, cuyas características fundamentales de este instrumento es que otorga la riqueza grasa de aceitunas en recepción en pocos minutos incluso antes de proceder a la descarga. Esto, diferencia de soxhlet, sin necesidad de pesar ni secar la muestra. Es posible asimismo obtener la acidez de aceituna en recepción. Por otra parte, es posible obtener una cuantificación de las características de los orujos durante el proceso industrial con la finalidad de obtener información para el control de la planta de extracción aumento de rendimiento. Es menos contaminante que soxhlet en tanto emplea como elemento extractor Heptano, compuesto de carbono e hidrogeno sin ningún componente del grupo de los halógenos, como el Hexano utilizado en soxlet. En general presenta una mayor facilidad de uso y rapidez que el método estándar de soxhlet, sin embargo existen reportes a nivel de industria que es menos exacto que la referencia, siendo más errático en las determinaciones. A pesar de ser semiautomático, requiere un protocolo de manipulación de muestras y el solvente sigue siendo un elemento toxico en la operación.



Figura 3: Equipamiento de extracción Autelec.

EVALUACIÓN ESPACIAL DE CALIDAD DE ACEITE CON SISTEMA NO TRADICIONAL DE EVALUACIÓN

A continuación se presentan los fundamentos de la metodología de determinación de contenido de aceites en base a la espectroscopia NIR y una revisión del actual empleo que se realiza con esta tecnología en la industria olivícola.

Espectroscopia NIR:

Fundamentos y desarrollo. La Espectroscopia de infrarrojo cercano (NIR o “NearInfrared”) corresponde a un tipo de espectroscopia que utiliza la región del infrarrojo cercano del espectro electromagnético (de alrededor de 800 nm a 2500 nm). Las aplicaciones de dicho método, además de las mencionadas en el presente manual para el caso de agricultura incluyen diagnósticos farmacéuticos, médicos (incluyendo azúcar en la sangre y la oximetría), la alimentación y el control de calidad de productos agroquímicos, entre otros.

La espectroscopia NIR se basa en el uso de una fuente de luz visible cuya “firma espectral” es conocida y que se hace interactuar con una muestra definida (en nuestro caso agrícola, ya sea en frutas o granos). Una vez que la luz interactúa con la muestra, la luz saliente (modificada), esta es medida con el sensor del aparato NIR (o “espectrómetro NIR”). La luz que en un principio entra en el producto se ve modificada según las características físicas y químicas del mismo. Con esto, lo que el instrumento finalmente graba una “firma espectral modificada”, la que se encuentra en el rango de 800 nm a 2500 nm, la cual a través de un modelo de calibración puede darnos información de las características asociadas a la calidad del producto en cuestión.

Dicha modificación del espectro electromagnético se produce por que las distintas longitudes del mismo en el rango NIR (800 -2500 nm), las que interactúan en forma distinta con los enlaces de las moléculas del producto, estando a su vez esta modificación en relación a la concentración de las moléculas de nuestro interés. Así, el espectro electromagnético interactúa con diversas moléculas orgánicas presentes en la fruta o granos, con lo cual es posible establecer una relación entre la concentración de dichas moléculas y las modificaciones sufridas por el espectro electromagnético entrante en la muestra.

Esta región contiene información sobre las proporciones relativas de los enlaces C-H, N-H, y O-H, que son los principales componentes estructurales de las moléculas orgánicas (Williams y Norris, 2002). Las mediciones cuantitativas de NIR se basan generalmente en la correlación entre la composición de la muestra, según se determine por métodos de referencia “tradicionales”, y la absorción de la luz en diferentes longitudes de onda en la región NIR, medido ya sea por o mediante espectroscopia de reflectancia de transmisión (Cen and He, 2007)...” (Guidetti et al 2010).

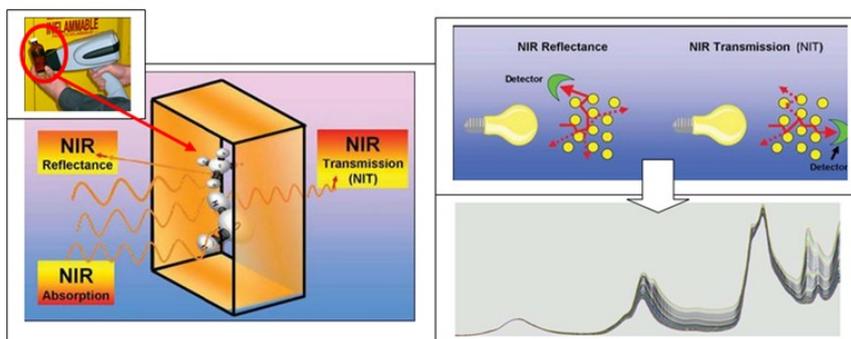


Figura 4: Principio de funcionamiento tecnología NIR. Modificado de:

http://www.bayertechnology.com/typo3temp/fl_realurl_image/spectrobay-bessere-daten-bieten-n12-01-sp.jpg; <http://en.engormix.com/MA-pig-industry/articles/near-infrared-nir-spectroscopy-t136/p0.htm> ; <http://www.photonics.com/Article.aspx?AID=25502>

EVALUACIÓN ESPACIAL DE CALIDAD DE ACEITE CON SISTEMA NO TRADICIONAL DE EVALUACIÓN

Algunos ejemplos de aplicación de tecnología NIR**Vitivinicultura y fruticultura**

Dentro de los cultivos frutales en los que la técnica NIR ha tenido mayor empleo a nivel de la industria está el caso de la vitivinicultura, en donde también se ha empleado para segmentación de zonas para cosecha (y eventual manejo diferenciado), habiendo en Chile casos de aplicaciones concretas a nivel comercial.

Varios autores han reportado el uso de la espectroscopia NIR para medir la los sólidos solubles totales (SST) en la uva (por ejemplo, Osborne et al, 1993; Gishen y otros, 2000; Gishen y Damberg, 1998; Damberg y otros, 2003a; Arana et al, 2005; Shenk et al. 1992). Algunos autores han estudiado y desarrollado Vis / NIR o Sistemas NIR no destructivo para determinar tecnológicos parámetros útiles para la clasificación de las uvas (Damberg y otros, 2006; Damberg y otros otros, 2003b; Gishen y Damberg, 1998; Herrera et al, 2003). En particular, Vis / NIR La espectroscopia se ha utilizado para predecir la SST, pH y contenido de antocianinas totales en las uvas rojas desde 1999 en la industria del vino australiano (Cozzolino et al, 2004.; Damberg y otros otros., 2003a; Guidetti et al., 2010). (fig (2).



Figura 5: Aplicación de espectroscopia NIR en (a) uvas y (b) naranjos. http://www.electrooptics.com/features/feature.php?feature_id=75

En el caso de frutales, tanto de hoja caduca como de hoja persistente, han sido varias las aplicaciones de esta tecnología para la determinación de variables asociadas a calidad, en donde destacan las determinaciones de sólidos solubles y acidez en frutos. Algunas investigaciones en fruticultura corresponden al caso de la mandarina (Kawano et al, 1993.), durazno (Kawano et al, 1992.; Kawano y Abe, 1995), nectarinas (Slaughter, 1995), kiwi (Jordán et al.1997) , destacando notablemente la manzana, como uno de los frutales más estudiados en la aplicación de técnicas NIR (Moons et al, 1997;.Lammertyn et al. 1998;. Peirs et al, 1999; 2001; Lu y Ariana, 2002; McGlone et al., 2002).

Cereales y Hortalizas

Los primeros reportes del empleo de la espectroscopia Nir se encuentran en el análisis de producto en cereales, en donde las variables de interés han sido especialmente referidos a contenidos de proteínas en los granos. Actualmente se cuenta con monitores comerciales de proteínas en base a tecnología NIR y que permite obtener mapas en tiempo real de las proteínas en grano de los cuarteles que están siendo cosechados (fig. 6).

La espectroscopia infrarrojo cercano (NIRS) se ha utilizado para medir no destructivamente variables asociadas a la calidad interna en una amplia variedad de hortalizas, como la cebolla (Birth y otros., 1985), Cantaloupe (Dull et al., 1989), melones (Dull et al., 1992). Se ha utilizado para determinar el contenido de nitrógeno de las hojas de papa (Young et al. 1995), el contenido de materia seca del tubérculo (Dull et al. 1988), y la identificación de la enfermedad en las papas (Porteous et al. 1981). Por otra parte, en papas ya procesadas se han generado distintas aplicaciones en respuesta a la demanda de la industria, así, por ejemplo (Yee et al., 2006) han sugerido que es posible utilizar el análisis infrarrojo cercano con el fin de identificar cultivares diferentes en lotes individuales de patatas fritas.

EVALUACIÓN ESPACIAL DE CALIDAD DE ACEITE CON SISTEMA NO TRADICIONAL DE EVALUACIÓN

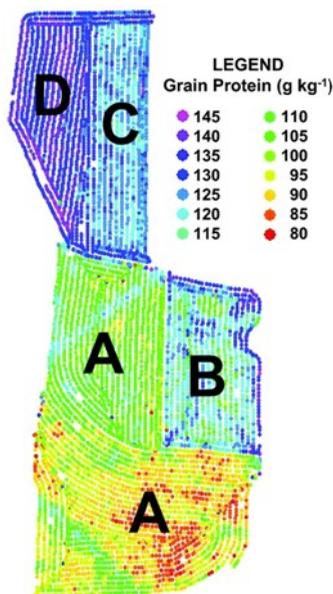


Figura 6: Contenido de proteínas (gr/kg) para un campo de trigo cosechado con un monitor de rendimiento en donde se ha implementado un sensor de proteínas en base a NIR. <https://www.soils.org/publications/ai/articles/100/2/247>

Forrajes:

Por su parte en el ámbito de los forrajes, desde la década de 1970, espectroscopia NIR se ha utilizado para analizar grandes cantidades de muestras de pastos y forraje para el PC, fibra detergente neutro (FDN), lignina y DIVMO (Norris et al, 1976; Starr et al, 1981; Ruano-Ramos et al, 1999; Deaville y Flinn, 2000) y se ha reportado también como una técnica para predecir la composición química, digestibilidad de materia seca (DMD), la ingesta de materia seca (DMI), digestibilidad de la materia orgánica (DMO) y energía digestible de admisión (DEI) en el pasto y varias leguminosas forrajeras (Norris et al, 1976; Roberts et al, 2004.). Resultados recientes han reafirmado el potencial del NIR para predecir la composición química de forrajes; además se sugiere que la técnica podría ser usada como un procedimiento de rutina en programas de mejoramiento sin embargo, esto sería factible sólo si se realiza calibración para cada especie, estación y condiciones particulares (García y Cozzolino, 2006).

Análisis de aceites

Las aplicaciones de la NIR para el aceite de oliva y otros aceites ha sido objeto de una amplia investigación. Galtier et al. (2007) logró identificar la zona geográfica origen y composición de los aceites de oliva vírgenes a través de análisis quimiométricos del espectro de NIR. Por su parte, Costa et al. (2008) determinó la acidez, índice de refracción y viscosidad de los aceites de maíz, soya, canola y girasol con esta tecnología. Los resultados mostraron que para cada parámetro estudiado, el modelo predictivo mismo era válida para los cuatro tipos de aceite. Mailer (2004) informó predicciones satisfactorias de los ácidos grasos libres, índice de peróxidos, contenido de polifenoles, tiempo de inducción, clorofila y la composición de los principales ácidos grasos de aceite de oliva mediante NIR. Los Coeficientes R² oscilaron entre 0,86 a 1,00. Previamente, Conte et al. (2003) desarrollaron aplicaciones para la determinación de índice de peróxidos, acidez libre y contenido de ácido oleico en aceite de oliva y el rendimiento de aceite de las aceitunas, los resultados en acuerdo con los obtenidos en el método estándar, con la excepción del índice de peróxidos, que mostró valores más bajos. Del mismo modo, el uso de NIR ha sido evaluado para el control de la calidad en clasificación de los aceites de oliva vírgenes, el análisis de la acidez libre, sabor amargo (K225) y la composición de ácidos grasos con resultados interesantes (Jiménez et al., 2005). Por otra parte, el potencial del NIR para analizar la adulteración en aceite de oliva también ha sido probado (Downey et al, 2002; Wesley et al, 1995; Yang y Irudayaraj, 2001).

EVALUACIÓN ESPACIAL DE CALIDAD DE ACEITE CON SISTEMA NO TRADICIONAL DE EVALUACIÓN

Análisis de frutos

Según Cayuela et al., (2009), la información relativa a la caracterización química cuantitativa o parámetros de calidad a través de NIR con aceitunas intactas es escasa en la literatura científica. Así, León et al. (2003) obtuvo modelos de regresión por mínimos cuadrados parciales (PLS) y NIR, con errores de predicción suficientemente pequeños, para el análisis de contenido de aceite (R^2 0,83), la humedad (R^2 0,88) y la composición de ácidos grasos (R^2 de 0,77 a 0,81 para oleico y linoleico) en aceitunas intactas, como un herramienta útil en programas de mejoramiento de oliva. Por último, como parte de un programa de mejoramiento genético de árboles de oliva, los mismos autores (León et al., 2004) informaron de la influencia de los padres y el año de cosecha, sobre el contenido de aceite, la humedad y los ácidos grasos determinada por NIRS análisis de las aceitunas intactas.

Análisis en el proceso industrial

La analítica asociada a los productos intermedios en el proceso de industrialización, a través de técnicas NIR, al igual que en el caso de los frutos, han sido escasamente reportados en la literatura. Actualmente existe un gran potencial de empleo de estas técnicas a nivel de planta en orden a efectuar monitoreo, control y optimización del proceso industrial de producción de aceites.

Experiencias recopiladas en proyecto de olivicultura de precisión**Técnicas de muestreo**

Al igual que en las otras determinaciones desarrolladas en el presente libro, (crecimiento de fruto, conteo, relaciones hídricas, entre otras), es necesario el capturar la información referida a la calidad de los frutos a partir de puntos específicos. Dichos puntos deben ser elegidos según un muestreo que posibilite el capturar la variabilidad existente al interior de los cuarteles, entre arboles y dentro de un árbol. Dichas técnicas incorporan análisis estadísticos vinculados con el área de estereología y que han sido abordados en profundidad en el capítulo "Estimación de Rendimiento" de conteo de frutos. En el anexo 1 se presenta un tutorial que detalla el método de elección de puntos de muestreo para el caso del muestreo para análisis de calidad de frutos no destructivo en terreno.



Figura 7: Técnica de muestreo no destructiva NIR a nivel de campo.

Calibración evaluación de modelos

Seis a siete puntos de muestreo fueron definitivamente seleccionados tomando en consideración el RFI por medio del uso del software ICAS v. 1.0, el cual utiliza algoritmos de estereología para el proceso de selección (Wulfsohn and Olivier, 2007; Aggelopoulou et al. 2009). Un ejemplo de la representación espacial del huerto puede ser apreciada en la figura 4, mostrándose los puntos finales de muestreo. Una representación del software ICAS puede ser apreciada en la fig. 5., para un escenario en el que el muestreo se efectuará sobre 4 puntos (5-a) o sobre 40 puntos (5-b)

Considerando los puntos ya seleccionados con el software Icas, cada 10 días (ver tabla 1) fueron tomadas muestras a partir de 3-4 puntos de cada cuartel, siendo estas las más representativas de la variabilidad del cuartel. En cada punto fueron seleccionadas 18 plantas alrededor de la posición central, en cuya posición fueron incluidas 6 plantas para determinaciones no destructivas con NIR. Desde las plantas adyacentes a las 6 centrales, fueron tomados 34 frutos provenientes de las posiciones alta, media, y baja de los árboles, Los frutos provenientes de cada sección específica fueron puestos en bolsas individuales. Las posiciones específicas de muestreo según segmento en cada árbol fueron determinadas mediante un algoritmo que emplea el principio de estereología propuesto por Wulfsohn and Olivier (2007) y Aggelopoulou et al. 2009. En cada segmento, los frutos fueron tomados a partir de la posición este y oeste, en orden a capturar la variabilidad en relación a la posición de la fruta en la canopia. Las bolsas con la fruta recolectada fueron trasladadas en forma inmediata para análisis en el laboratorio implementado en la empresa, en donde se determinó la curva espectral con instrumento NIR (PolychromixPhazirmod. 1018), peso de fruto y contenido de aceite, según el método de extracción de soxhlet (Cayuela et al., 2009) de la muestra compuesta (100 frutos) para cada punto de muestreo.

EVALUACIÓN ESPACIAL DE CALIDAD DE ACEITE CON SISTEMA NO TRADICIONAL DE EVALUACIÓN

La información espectral de cada fruto capturada por el instrumento NIR, esté entre las bandas 939.5 nm y 1796.6 nm, con una resolución espectral de 8.2 nm (100 bandas en total).

Tabla 1. Fechas de muestreo para los cuarteles bajo estudio. Temporada 2009/10.

cuartel	109-2	101-6	110-2	103-1
fecha	26/02/2010	18/02/2010	17/02/2010	18/02/2010
	10/03/2010	03/03/2010	08/03/2010	04/03/2010
	26/03/2010	23/03/2010	25/03/2010	24/03/2010
	09/04/2010	05/04/2010	09/04/2010	05/04/2010
	14/04/2010	21/04/2010	14/04/2010	22/04/2010
	22/04/2010	29/04/2010	22/04/2010	29/04/2010
	29/04/2010	06/05/2010	29/04/2010	06/05/2010
	06/05/2010		06/05/2010	

Resultados

Se obtuvo un modelo inicial de calibración, que fue traducido a un script (mediante software "phazir method generator v. 1.5.3) y puesto en marcha en la unidad phazir para el trabajo en condiciones de terreno y su evaluación en condiciones de campo haciendo uso de la información recopilada durante la temporada 2009/10. El modelo más empleado fue el que sirve para la determinación de aceite en base a peso fresco en frutos (%), en donde la curva general de evaluación para dicho modelo, se muestra en la figura X1

En el caso de los modelos de calibración también desarrollados para las variables "contenido de humedad" y "materia seca", ambos en porcentaje, los resultados son similares al modelo de calibración presentado en la fig1.

El índice RPD es cercano a 2, con lo cual la utilización del equipo NIR en términos cuantitativos aún no es posible, siendo más confiable su resultados en términos numéricos para los valores intermedios-altos de aceite (14-16 % en base a materia húmeda) y menos confiable en los rangos bajos (6-12%) o altos (>18%). la posibilidad de aumentar el índice RPD está siendo abordada mediante el trabajo de la información generada en la temporada 2009/10, descrita en el punto 2 a continuación.

Dentro de la temporada se generó un número importante de muestras (>90) y mediciones NIR asociadas (>14.000 curvas), en distintos cuarteles de evaluación, considerando un muestreo estadístico en base a la técnica de estereología. Dichas muestras además fueron tomadas a lo largo de la temporada, desde valores cercanos a 6% y hasta aquellos cercanos al rango entre 17-20% alrededor de época de cosecha. Con lo cual puede ser re-calibrado el script mencionado en el punto 1, y de esta manera sea posible una mejor determinación cuantitativa (mayor RPD del modelo) para todo el rango de medición. Al momento de la entrega del presente informe se trabaja en la organización y analítica de dicha información. La coordinación para la obtención de la información se realizó mediante distintas reuniones de trabajo con personal de la empresa así como también con la entrega de resúmenes de aquellas en manuales simples de muestreo como el mostrado en el anexo.

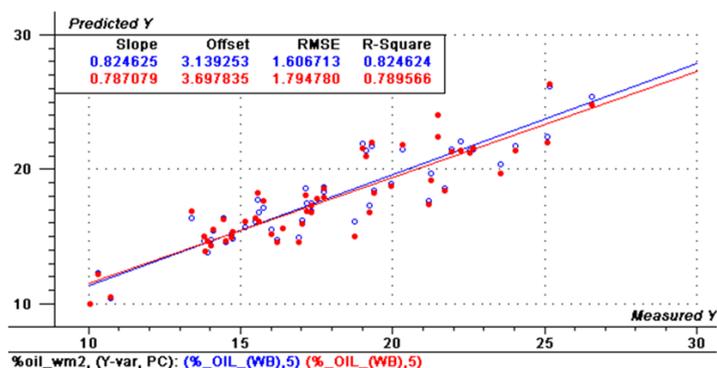


Figura 8: Modelo de Regresión multivariada PLS de para estimación de aceites incorporado al espectrómetro de terreno. Datos primera temporada.

EVALUACIÓN ESPACIAL DE CALIDAD DE ACEITE CON SISTEMA NO TRADICIONAL DE EVALUACIÓN

El procedimiento de calibración antes mencionado se repitió para una segunda temporada para así obtener un modelo integrado, el cual puede ser visualizado en la siguiente figura.

Datos de primera y segunda temporada. La evaluación de dichos modelos se efectuó en condiciones de campo para puntos específicos elegidos según el protocolo descrito en el anexo..

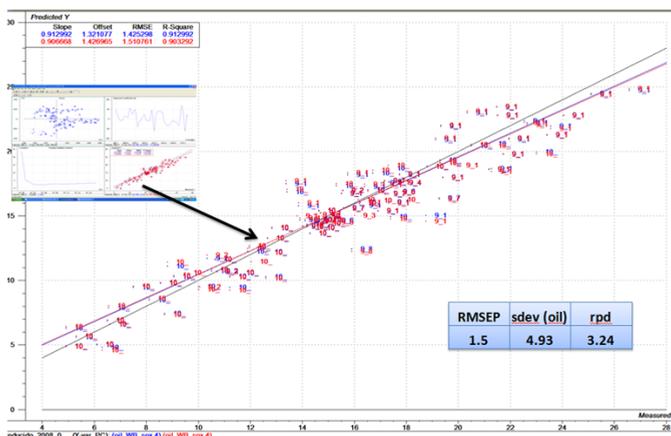


Figura 9: Modelo de Regresión multivariada PLS de para estimación de aceites incorporado al espectrómetro de terreno.



Figura 10: Técnica de muestreo no destructiva NIR a nivel de campo (2). Evaluación de niveles de aceite.

EVALUACIÓN ESPACIAL DE CALIDAD DE ACEITE CON SISTEMA NO TRADICIONAL DE EVALUACIÓN

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para el muestreo de distintos puntos en un cuartel, y de distintas secciones en el árbol.

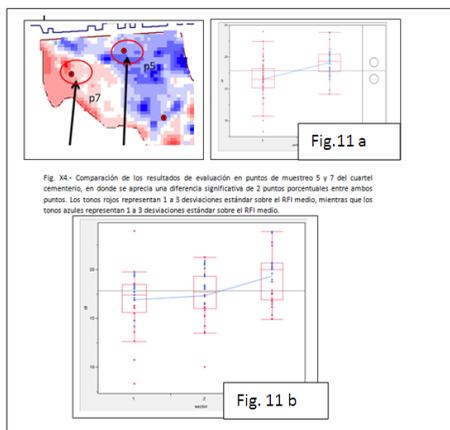


Figura 11 (a y b): Muestreo a diferentes puntos en el huerto o cuartel.

Según la figura anterior, se puede apreciar una diferencia significativa entre los puntos de muestreo (Fig.11), estando asociada dicha variabilidad a sectores con diferencias en los índices de vigor vegetativo. Por otra parte, se apreció una diferencia significativa en los niveles de aceite entre las secciones bajas, media y alta de los árboles (Fig.11b). Todo lo anterior indica la importancia de la captura de la variabilidad de campo a través de un método estadístico consistente, que incorpore diferencia a nivel de cuartel y árboles. Por otra parte, se evidencia que el método NIR evidencia eficientemente estas diferencias a través del uso de los modelos calibrados.

Representación espacial

Determinación en alta densidad de la concentración de aceite en un huerto de oliva en relación a su variabilidad y estructura espacial.

Una de las principales ventajas que pueden ser consideradas en relación a los métodos no destructivos de evaluación de frutos (en condiciones de campo) es la posibilidad de describir la posible relación geoestadística o “estructura espacial” de la información para distintos atributos de calidad bajo condiciones de campo.

En este sentido, los métodos de espectroscopia NIR abren la oportunidad de tomar una cantidad de muestras suficientes en orden a generar mapas relacionados a los atributos de calidad, lo cual sería muy dificultoso de desarrollar si sólo se considera como método aquellos que tradicionalmente son empleados en laboratorio, tales como el método de extracción de Soxhlet.

En el caso de la producción de olivos, no han sido encontradas referencias relacionadas a la variación espacial (y su estructura) del contenido de aceite en los frutos de olivo, o de cualquier otro atributo relacionado a la calidad de los mismos. En este sentido, sólo hay algunas referencias de la distribución espacial de los factores que influyen sobre el contenido de aceite, como es el caso de niveles de nutrientes a nivel de cuartel López-Granados et al., 2004; Gargouri et al., 2006).

La información espacial asociada a la calidad de la fruta puede ser de gran relevancia en orden a segregar sectores con distintos atributos de calidad y la evaluación simultánea de los factores que influyen sobre ella (sobre una base temporal y espacial), con lo que finalmente se podrían desarrollar manejos diferenciados en orden a optimizar la producción. Adicionalmente, el revelar la estructura espacial de la concentración de aceite en la fruta a través del huerto, serviría como parte de la información base para ajustar los métodos de muestreo (en relación al tamaño muestral y su ubicación) actualmente en desarrollo.

Tomando en cuenta lo anteriormente mencionado, el objetivo de la presente sección de estudio en la temática de calidad es estudiar una posible estructura espacial en los datos geográficos de la concentración de aceite en los frutos (determinada mediante el uso de NIR), en términos de la definición de la variabilidad intra-cuartel y entre cuarteles considerando la variada “arboquina”.

EVALUACIÓN ESPACIAL DE CALIDAD DE ACEITE CON SISTEMA NO TRADICIONAL DE EVALUACIÓN

Materiales y métodos

Durante la temporada 2009/10 y en época de cosecha, fueron tomadas curvas espectrales de los frutos en condiciones de campo usando el espectrómetro NIR Phazir, a partir de los mismos cuatro bloques definidos para la sección anterior, y mostrados en las fig. 1 y 2. Tomando en consideración la información del índice RFI a partir del huerto, se realizó una selección de 40 puntos por bloque por medio del uso del software ICAS v.1 (fig. fig. 5a_ii; 5b_ii). La distribución espacial de los puntos de monitoreo para los cuatro bloques de monitoreo es mostrada en la figura 6. En cada uno de estos puntos de evaluación, 6 árboles fueron seleccionados, siendo representativos de los árboles del sector, en cuanto a su altura, densidad de canopia, carga frutal y diámetro de tronco. En cada árbol., por cada sección de altura (alto-medio-bajo), fueron seleccionados 4 frutos en forma aleatoria, tomándose una sección por cada uno de los 6 arboles seleccionados, siguiendo el patrón árbol 1 (a1): (sección) alto, a2, medio, a3, bajo, a4: alto, a5: medio, a6: bajo., con lo cual un total de 24 frutos fueron evaluados en cada punto de muestreo.

El contenido de aceite será estimado considerando el modelo generado en el punto anterior. Los resultados serán representados en un GIS y llevados a formato. Shp, a partir del cual se podrán realizar los respectivos análisis geoestadísticos: (i) exploratorios, por medio de método de interpolación de distancia inversa; (ii) evaluación de variograma (kriging local y global mediante el uso del software Vesper(Minasny et al., 2005).); (iii) evaluación de índice de "moran" y "lisa" para evaluar zonas asociadas a mayor/menor contenido de aceite y que sean estadísticamente distintas (Anselin, 2005). Por otra parte, se hará un análisis de conglomerados o clústeres para apreciar las diferencias entre zonas de un mismo cuartel, y muy particularmente entre cuarteles.

Antes de la fecha de cosecha comercial de cada cuartel, se procedió a la evaluación en alta densidad de los puntos señalados en la fig. 12.

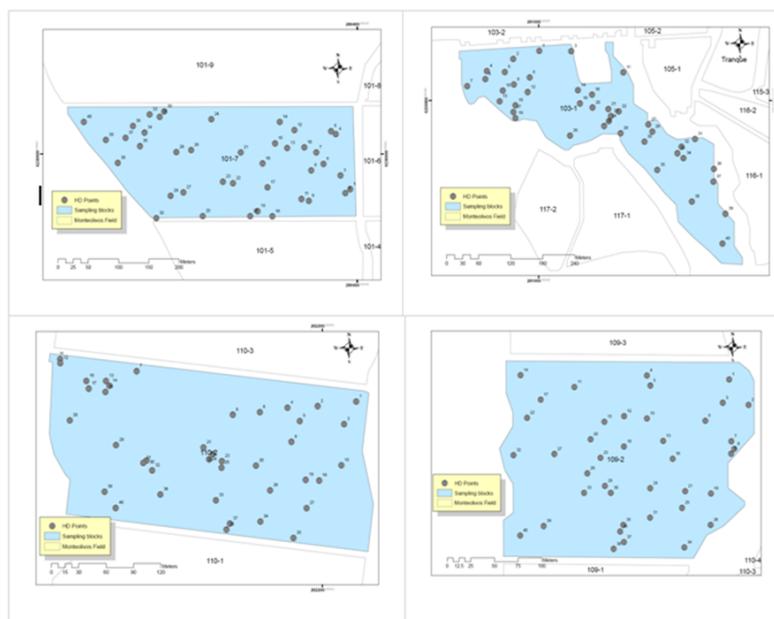


Figura 12. Representación de la ubicación espacial de los 40 puntos de muestreo (alta densidad) para los cuarteles en estudio.

EVALUACIÓN ESPACIAL DE CALIDAD DE ACEITE CON SISTEMA NO TRADICIONAL DE EVALUACIÓN

En la figura 13 se puede apreciar que existen ostensibles diferencias del contenido de aceite entre los distintos sectores de un mismo cuartel. Estas diferencias pudieron ser detectadas eficientemente mediante la metodología NIR, al utilizar una grilla intensa de muestreo, la cual hubiera sido improbable de ser obtenida con un método estándar de estimación como el método de soxhlet o autelec. Las diferencias llegan hasta 4% de aceite, lo cual puede representar una importante diferencia a nivel industrial si los rendimientos en estos mismos sectores son distintos. En los cuarteles evaluados, una de las variables que más se asocia a esta distribución espacial de aceite corresponde al nivel de vigor vegetativo (NDVI). (fig. 13).

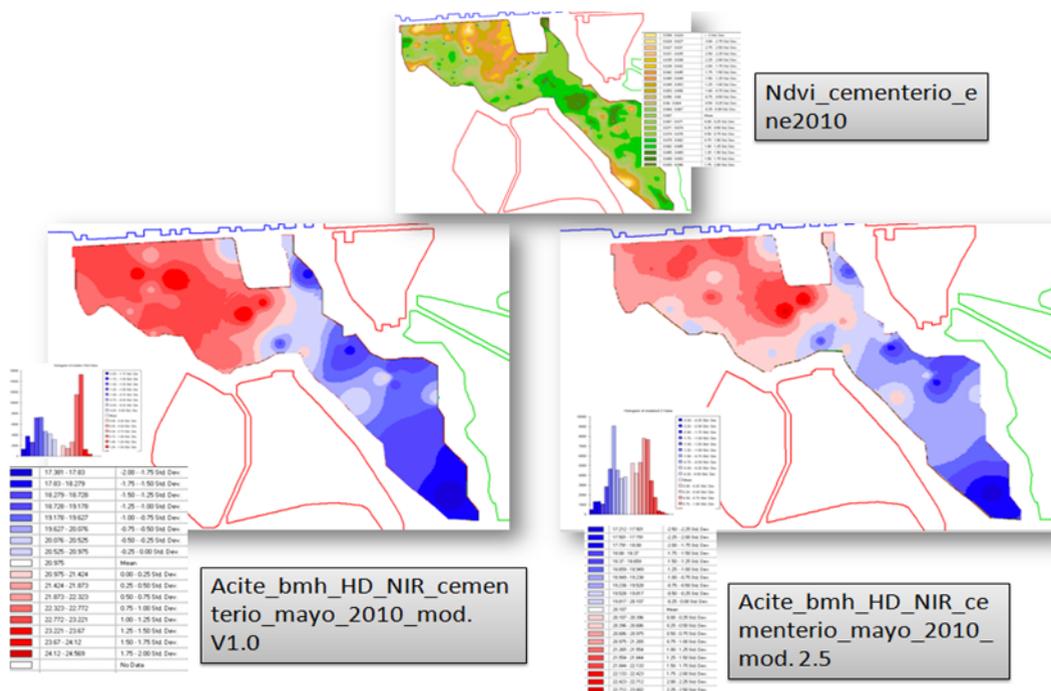


Figura 13: Diferencias de nivel de aceite en olivas en un cuartel estimadas a través de los modelos de calibración NIR. En este caso, se asocian a las diferencias de vigor vegetativo (NDVI) del cuartel en particular.

Efecto de la condición hídrica sobre la evolución de aceites en arboles

a) Planteamiento y Objetivos:

Uno de los mayores factores que afectarían las diferencias espaciales mostradas en los mapas XXC, se deberían al estatus hídrico del cultivo (ver capítuloXX). El propósito del monitoreo de la evolución en relación a los ha sido el evaluar la performance del método de estimación NIR ante distintos tratamientos de riego y, en segundo lugar, visualizar a través de esta técnica cual(es) de los tratamientos aplicados permiten obtener los mayores/menores tenores de rendimiento de aceite por árbol.

B) Tratamientos:

Corresponde a la aplicación de cuatro tratamientos diferenciales de riego, a partir de la etapa de floración y hasta cosecha comercial. Dichos tratamientos corresponden a -40; -20; +20, más el testigo (t0), el que corresponde a la aplicación estándar en huerto y que corresponde a la reposición del 100% de la evapotranspiración de cultivo. Cada una de las dosis son aplicadas al modificar los goteros de descarga en la planta modificándose desde el estándar de huerto en t0 de 4 l/h, a 1.2 l/h, en t1, 2.0 l/h en t2, 3.2 l/h en t3 y 5.2 l/h en t4.

EVALUACIÓN ESPACIAL DE CALIDAD DE ACEITE CON SISTEMA NO TRADICIONAL DE EVALUACIÓN

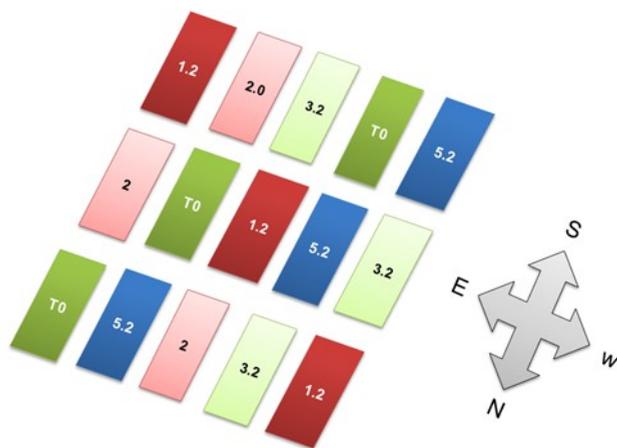


Figura 14. Parcela de ensayo para tratamientos diferenciales de riego en olivos. Temporada 2010-11. Los distintos colores representan los distintos tratamientos, aplicados sobre un diseño completamente al azar, en donde se cuenta con tres repeticiones, en cada una de las cuales fueron elegidas 4 plantas para las mediciones durante la temporada

Los tratamientos son aplicados sobre un diseño completamente al azar considerando tres repeticiones para cada uno de ellos. A su vez, para cada repetición se modificó el sistema de goteo considerando las descargas especificadas anteriormente para t1 a t4, considerando un conjunto de 7 plantas, mas cuatro plantas de borde entre cada repetición. De estas 7 plantas, se eligió y marcó las 4 más homogéneas en altura, diámetro de tronco, expresión vegetativa y floral para la realización de las respectivas mediciones durante la temporada. La disposición de los tratamientos puede ser visualizada en la figura 14. Entre las hileras en donde se ubicaron las repeticiones se dejó libre una en la cual no se modificó el sistema de riego original, esto, con el propósito de evitar algún efecto de traslape entre repeticiones adyacentes de distintos tratamientos.

Cabe mencionar que para evitar efectos confundidos respecto de la fertirrigación en el cultivo, se ha dispuesto a lo largo de todos los tratamientos de una línea estándar con goteros de 4 l/h que es empleada únicamente cuando se aplica el plan de fertirrigación, con lo que se homogeniza la aplicación de fertilizante en todos los tratamientos, si bien las cargas de agua son distintas.

Elección de sitio

Para el bloques productivos representativo de las condiciones de huerto se definió una zona homogénea dentro de la cual se localizan los distintos tratamientos de riego. Dicha definición se efectuó considerando las variables de índice de vigor vegetativo en relación al tamaño de copa (índice RFI), Índice NDVI determinado mediante instrumento cropcircle (HollandScientific), y concentración de aceites en fruto a cosecha obtenido mediante espectroscopia NIR en virtud del modelo desarrollado para la temporada 2009-10.

Para ambos cuarteles, las distintas capas de información fueron interpoladas mediante el método de "kriging por bloques" en donde los semivariogramas fueron obtenidos en forma local, utilizando el software Vesper v. 1.0. Posteriormente para la identificación de zonas homogéneas dentro de los cuarteles escogidos, las capas fueron llevadas a un análisis de clúster mediante el uso del software MapCalc Professional v.2.0, dejándose 3- 4 clústeres como categorías al interior de los huertos. A partir de esta elección, se eligió varios sitios potenciales para la ubicación de las parcelas en terreno. Los sitios antes mencionados fueron inspeccionados en terreno, ponderando entre otros aspectos las disposición real de de las matrices de riego, y la microvariabilidad de sitio observada. La elección definitiva de sitio puede ser visualizada en la figura 15.

EVALUACIÓN ESPACIAL DE CALIDAD DE ACEITE CON SISTEMA NO TRADICIONAL DE EVALUACIÓN

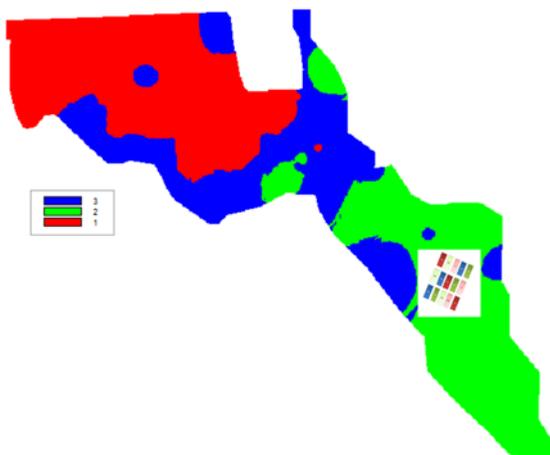


Figura 15: Ubicación de ensayos de riego especificados en (figura 1). Los distintos colores en el cuartel expresan el resultado de los análisis de clusters considerando en ambos casos la variabilidad de factores vegetativas y reproductivas al interior de los bloques

En la figura 16 se aprecia que el tratamientos extremo 6 ltrshr, es incremental para el contenido de aceite alcanzado a nivel de árbol, siendo el tratamiento de 2.2 ltr/árbol el que alcanzó mayores concentraciones. Sin embargo, lo anterior al ser evaluado en relación a la producción de materia fresca por árbol, se modifica siendo el tratamiento de 4 ltr / hora el que presenta mayor rendimiento de aceite por árbol, al poseer un mayor número de frutos asociado (ver capítulo de “Estimación de rendimiento”, conteo de frutos).

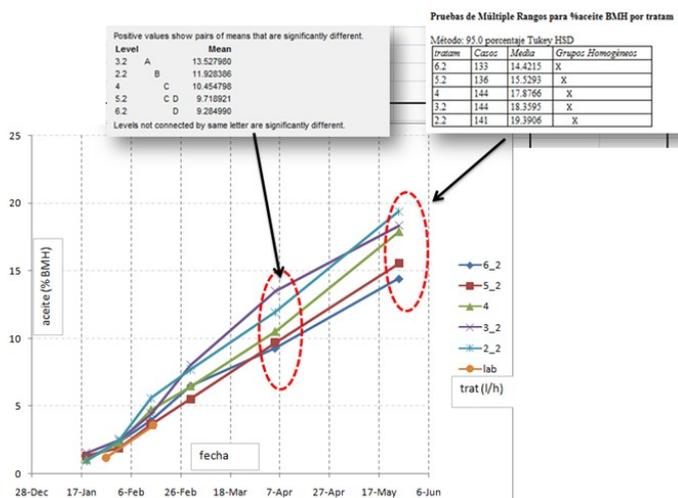


Figura 16: Evolución de aceites en la temporada en relación a los tratamientos aplicados.

Guía Básica de muestreo para determinación de atributos de calidad en olivos.

Distribución general de muestreo en huerto

- Para cada fecha de muestreo, el esquema a seguir en el huerto se centra en (5) cuarteles representativos. En cada uno de ellos, y considerando un procedimiento estadístico de estereología, se eligió los puntos de muestreo que se observan en la fig. 1 y que se detallan en la Tabla 1.



Figura 1. Distribución general de puntos de monitoreo en el huerto

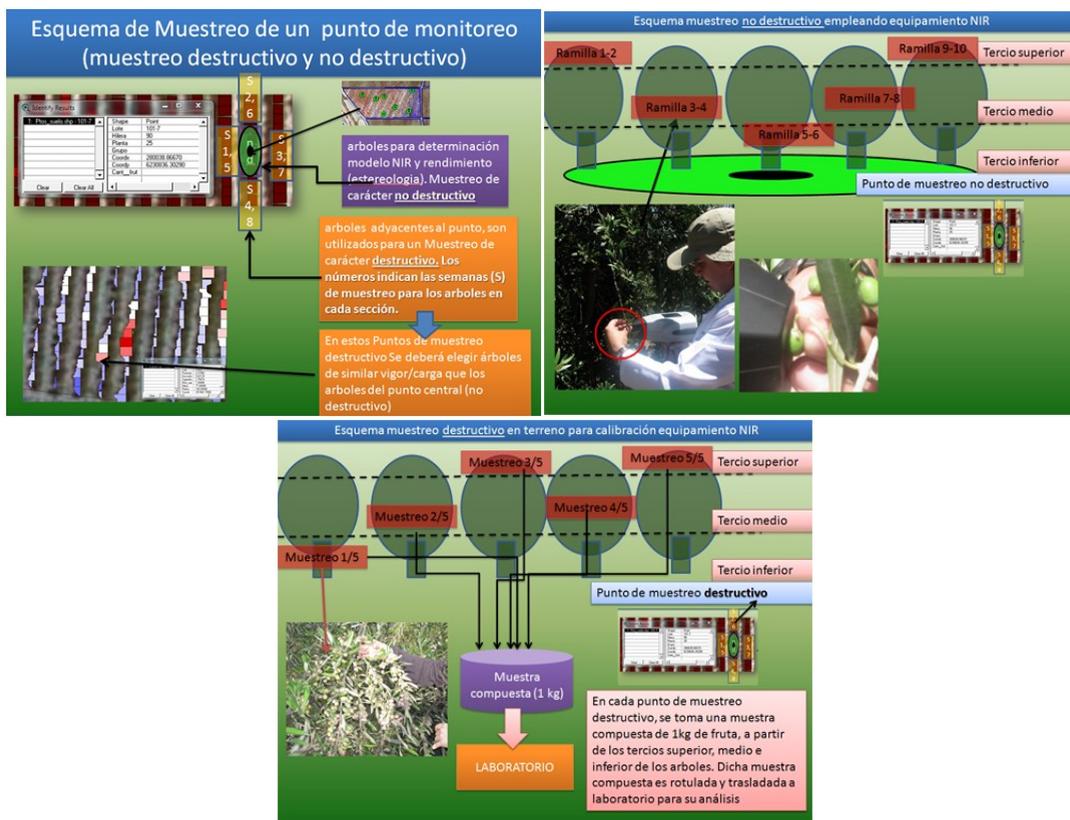
Cuartel	Hilera	Planta	Coord. x	Coord. y
108-5	23		281786.9194	6230494.851
108-5	13	54	281836.7253	6230620.456
108-5	20	83	281841.1655	6230583.148
108-5	30	33	281772.5392	6230545.826
108-5	29	1	281782.0062	6230689.104
109-3	35	17	281831.9995	6231235.549
109-3	14	61	281905.6216	6231158.693
109-3	58	30	281751.662	6231181.079
109-3	49	22	281783.0011	6231206.946
109-3	14	5	281905.6216	6231242.762
110-2	25	33	282048.6946	6230613.744
110-2	44	85	282095.1487	6230538.627
110-2	8	18	282231.9464	6230626.923
110-2	78		281963.5537	6230520.222
110-2	82	50	281953.8739	6230609.015
110-2	60	8	282037.6936	6230663.734
101-7	18	95	280328.9313	6230733.97
101-7	39	77	280244.2936	6230760.097
101-7	56	31	280174.8269	6230828.319
101-7	90	25	280038.8667	6230836.303
101-7	57		280123.1535	6230748.971
101-7	69	42	280123.2975	6230811.385
101-7	13	9	280346.3497	6230863.156
103-1			280897.8623	6230041.932
103-1			280977.6133	6230076.695
103-1			281108.4841	6229996.945
103-1			281206.638	6229921.285
103-1			281292.5226	6229882.432
103-1			281313.3752	6229747.473
103-1			281036.9136	6229976.497

Tabla 1. Ubicación de puntos de monitoreo en el huerto

Muestreo no destructivos:

- En cada punto (*elegido anteriormente mediante estereología*) se hará una medición no destructiva (empleando equipamiento NIR) considerando el esquema de estereología antes mencionado.
- Un grupo de árboles será conservado para evolución en cada uno de los puntos de muestreo del cuartel, determinando dos ramillas y por árbol y tres frutos en cada ramilla.
- En hileras adyacentes se tomará grupos de 5 árboles distintos para cada fecha de muestreo, los cuales deben tener vigor/copa similar al del punto central de muestreo no destructivo. Estos árboles deben presentar un tamaño de copa similar y carga similar al que presenta la parcela en donde se muestrea en forma no destructiva

EVALUACIÓN ESPACIAL DE CALIDAD DE ACEITE CON SISTEMA NO TRADICIONAL DE EVALUACIÓN



BIBLIOGRAFÍA

- Aggelopoulou, D., D. Wulfsohn, S. Fountas, T. A. Gemtos, G. D. Nanos and S. Blackmore. 2009. Spatial variation in yield and quality in a small apple orchard. *Precision Agriculture*. 1385-2256.
- Anselin, L. 2005. *Exploring Spatial Data with GeoDa TM: A Workbook*. Center for Spatially Integrated Social Science. 226 pp.
- Arana, I., C. Jaren, and S. A. Arazuri. 2005. Maturity, variety, and origin determination in white grapes (*Vitisvinifera* L.) using near infrared reflectance technology. *J. NearInfraredSpectrosc.* 13(6): 349-357.
- Birth, G.S., Dull, G.G., Renfore, W.T., Kays, S.J., 1985. Nondestructive spectrophotometric determination of dry matter onions. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, 110:297-303.
- Cayuela, J. A. , J. M. García and N. Caliani. 2009. NIR prediction of fruit moisture, free acidity and oil content in intact olives. *Grasas y aceites*, 60 (2): 194-202
- Civantos, L., Contreras, R., Grana, R. (1992). — «Obtención del aceite de oliva virgen».—Editorial Agrícola Española, S.A. Madrid, España.
- Conte L, Brussolo G, Pizzale L, Carazzolo A, MeurensM, Pavan O. 2003. Application of near infrared reflectance analysis to olive oil production quality control. *Riv. Ital. Sostanze Gr.* 80(4), 213-217.
- Costa AF, Coelho MJ, Gambarra FF, Bezerra SR, HarropRK, Ugulino MC. 2008. NIR spectrometric determination of quality parameters in vegetable oils using PLS and variable selection. *Food Res. Int.* 41, 341-348.
- Cozzolino, D., M. J. Kwiatkowski, M. Parker, W. U. Cynkar, R. G. Damberg, M. Gishen, and M. J. Herderich. 2004. Prediction of phenolic compounds in red wine fermentations by visible and near infrared spectroscopy. *AnalyticaChimica Acta* 513 (1): 73-80.
- Damberg, R. G., D. Cozzolino, M. B. Esler, W. U. Cynkar, A. Kambouris, I. L. Francis, P. B. Hoj, and M. Gishen. 2003a. The use of near infrared spectroscopy for grape quality measurement. *Australia and New Zealand Grapegrower and Winemaker* 473a: 69-74, 76
- Damberg, R. G., D. Cozzolino, W. U. Cynkar, L. Janik, and M. Gishen. 2006. The determination of red grape quality parameters using LOCAL algorithm. *J. NearInfraredSpectrosc.* 14(2): 71-79.
- García Sánchez A., N. Ramos Martos, E. Ballesteros. 2005. Estudio comparativo de distintas técnicas analíticas (espectroscopía de NIR y RMN y extracción mediante Soxhlet) para la determinación del contenido graso y de humedad en aceitunas y orujo de Jaén. *Grasas y Aceites*, 56: 220-257.
- Damberg, R. G., D. Cozzolino, W. Cynkar, M. Esler, L. Janik, I. L. Francis. P. Hoj, and M. Gishen. 2003b. Strategies to minimize matrix-related error with NIRS analysis of wine grape quality parameters. In *Proc. 11th Intl. Conf. on Near Infrared Spectroscopy*, 183-186. A. M. C. Davies and A. Garido-Varo, eds. Chichester, U.K.: NIR Publications.
- Deaville E.R., and P.C. Flinn. 2000. Near infrared (NIR) spectroscopy: an alternative approach for the estimation of forage quality and voluntary intake. p. 301-320. In *Givens D.I., Owen E., Axford R.F.E. and Omedi H.M. (eds.) Forage evaluation in ruminant nutrition*. CAB International, Reading, UK.
- Downey G, McIntyre P, Davies AN. 2002. Detecting and quantifying sunflower oil adulteration in extra virgin olive oils from the eastern Mediterranean by visible and near-infrared spectroscopy. *J. Agric. Food Chem.* 50, 5520-5525.
- Dull G, Birth G, Leffler R 1988. Use of near infrared analysis for the nondestructive measurement of dry matter in potatoes. *American Potato Journal* 66: 215-225
- Dull, G.G., Birth, G.S., Leffler, R.G., 1989. Near infrared analysis of soluble solids in intact cantaloupe. *Journal of Food Science*, 54(2):393-395.
- Dull, G.G., Leffler, R.G., Birth, G.S., Smittle, D.A., 1992. Instrument for nondestructive measurement of soluble solids in honeydew melons. *Transactions of the ASAE*, 35:735-737.

- Galtier, O., Dupuy, N., Le Dreau, Y., Ollivier, D., Pinatel, C., Kister, J., and Artaud, J., (2007),
- Gargouri K., M. Sarbeji, and E. Barone. 2006. Assessment of soil fertility variation in an olive orchard and its influence on olive tree nutrition. Proceedings Second International Seminar "Biotechnology and Quality of Olive Tree Products Around the Mediterranean Basin" 5-10 November 2006 Marsala-Mazara del Vallo, Italy. Geographic origins and compositions of virgin olive oils determined by chemometric analysis of NIR spectra. *Analytica Chimica Acta*, Vol. 595, pp. 136–144.
- García J. and Daniel Cozzolino. 2006. USE OF NEAR INFRARED REFLECTANCE (NIR) SPECTROSCOPY TO PREDICT CHEMICAL COMPOSITION OF FORAGES IN BROAD-BASED CALIBRATION MODELS. *AGRICULTURA TÉCNICA (CHILE)* 66(1):41-47
- Gishen, M., and B. Damberg. 1998. Some preliminary trials in the application of scanning near infrared spectroscopy (NIRS) for determining the compositional quality of grapes, wine, and spirits. *Australian Grapegrower and Winemaker* 414a: 43-45.
- Gishen, M., R. G. Damberg, A. Kambouris, M. Kwiatkowski, W. U. Cynkar, P. B. Høj, and I. L. Francis. 2000. Application of near infrared spectroscopy for quality assessment of grapes, wine, and spirits. In *Proc. 9th Intl. Conf. on Near Infrared Spectroscopy*, 917-920. A. M. C. Davies and R. Giangiaco, eds. Chichester U.K.: NIR Publications.
- Guidetti R., R. Beghi, L. Bodria. 2010. EVALUATION OF GRAPE QUALITY PARAMETERS BY A SIMPLE VIS/NIR SYSTEM. *Transactions of the ASABE*. Vol. 53: 1-8
- Jiménez A, Molina A, Pascual MI. 2005. Using optical NIR sensor for on-line virgin olive oils characterization. *Sensors and Actuators B* 107, 64-68.
- Herrera, J., A. Guesalaga, and E. Agostin. 2003. Shortwave-near infrared spectroscopy for non-destructive determination of maturity of wine grapes. *Measurement Sci. and Tech.* 14(5): 689-697.
- Jordan, R.B., Osborne, S.D., Kunemeyer, R., 1997. Harvest Time Prediction of Eating Time Properties of Kiwifruit Using NIR Transmission. Proceedings of Conference on 'Sensors for Non-destructive Testing', Orlando, FL, NRAES, Ithaca, NY, p.101-110.
- Kawano, S., Watanabe, H., Iwamoto, M., 1992. Determination of sugar content in intact peaches by near infrared spectroscopy with fiber optics in interreflectance mode. *J. Japanese Society of Horticultural Science*, 61:445-451.
- Kawano, S., Fujiwara, T., Iwamoto, M., 1993. Nondestructive determination of sugar content in Satsum mandarin using near infrared transmittance. *J. Japan Soc. Hort. Sci.* 62(2):465-470
- Kawano, S., Abe, H., 1995. Development of a calibration equation with temperature compensation for determining the Brix value in intact peaches. *J. NearInfraredSpectrosc.*, 3:211-218.
- Lammertyn, J., Nicolay, B., Ooms, K., De Smedt, V., De Baerdemaker, J., 1998. Non-Destructive measurement of acidity, soluble solids and firmness of Jonagold apples using NIR-spectroscopy. *Transactions of the ASAE*, 41(4):1089-1094.
- León L, Rallo L, Garrido A. 2003. Análisis de aceituna intacta mediante espectroscopia en el infrarrojo cercano (NIRS): una herramienta de utilidad en programas de mejora de olivo. *Grasas y Aceites* 54, 41-47.
- León L, Garrido-Varo A, Downey G. 2004. Parent and harvest year effects on near-infrared reflectance spectroscopic analysis of olive (*Olea europaea* L.) fruit traits. *J. Agr. FoodChem.* 52, 4957-4962. doi:10.1021/jf0496853 PMid:15291458
- López-Granados, F., M. Jurado-Expósito, S. Álamo, L. García-Torres. 2004. Leaf nutrient spatial variability and site-specific fertilization maps within olive (*Olea europaea* L.) orchards. *Europ. J. Agronomy* 21: 209–222.
- Lu, R., Ariana, D.A., 2002. Near-infrared sensing technique for measuring internal quality of apple fruit. *Trans. Of the ASAE*, 18 (5):585-590.

- Mailer RJ. 2004. Rapid Evaluation of Olive Oil Quality by NIR Reflectance Spectroscopy. *JAACS* 81, 823-827.
- Martínez , E., J. Moyano, J. Alba , M. A. Ruiz, F. Hidalgo y FJ. Heredia (1999). Método rápido de obtención de aceite de oliva virgen para determinación de acidez. *Grasas y Aceite*. 50: 122-126.
- McGlone, A.V., Jordan, B., Martinsen, P.J., 2002. Vis/NIR estimation at harvest of pre- and post-storage quality indices for 'Royal Gala' apple. *Postharvest Biology and Technology*, 25:135-144.
- Minasny, B., McBratney, A.B., and Whelan, B.M., 2005. VESPER version 1.62. Australian Centre for Precision Agriculture, McMillan Building A05, The University of Sydney, NSW 2006
- Moons, E., Dubois, A., Dardenne, P., Sindic, M., 1997. Non-Destructive Visible and NIR Spectroscopy for the Determination of Internal Quality in Apple. *Proceedings from the Sensor for Nondestructive Testing. International Conference and Tour Orlando, FL*, p.122 – 132 .
- Norris K.H., R.F. Barnes, J.E. Moore, and J.S. Shenk. 1976. Predicting forage quality by near infrared reflectance spectroscopy. *J. Anim. Sci.* 43:889-897
- Osborne, B. G., T. Fearn, and P. H. Hindle. 1993. *Practical NIR Spectroscopy with Applications in Food and Beverage Analysis*. Harlow, U.K.: Longman Scientific and Technical.
- Peirs, K.H.S., Dull, G.G., Leffler, R.G., Kays, S.J., 1999. Spatial variability of soluble solids or dry-matter content within individual fruits, bulbs, or tubers: Implications for the development and use of NIR spectrometric techniques. *HortScience*, 34 (1):114-118.
- Peirs, A., Lammertyn, J., Ooms, K., Nicolai, B.M., 2001. Prediction of the optimal picking date of different apple cultivars by means of VIS/NIR–spectroscopy. *J. Postharvest Biol. Technol.*, 21:189-199.
- Porteous R, Muir A, Wastie R 1981. The identification of diseases and defects in potato tubers from measurements of optical spectral reflectance. *Journal of Agricultural Engineering Research* 26: 151–160.
- Roberts C.A., J. Stuth, and P.C Flinn. 2004. Analysis of forages and feedstuffs. p. 231-269. In C.A. Roberts, Workman, J. J.B. Reeves (eds.) *Near infrared spectroscopy in agriculture*. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA.
- Ruano-Ramos A., A. Garcia-Ciudad, and B. Garcia- Criado. 1999. Determination of nitrogen and ash content in total herbage and botanical components of grassland systems with near infrared spectroscopy. *J.Sci. Food Agric.* 79:137-143
- Shenk, J., J. J. Workman, and M. O. Westerhaus. 1992. Application of NIR spectroscopy to agricultural products. In *Handbook of Near-Infrared Analysis*, 383-431. 2nd ed. D. A. Burns and E. W. Ciurczak, eds. New York, N.Y.: Marcel Dekker.
- Slaughter, D.C., 1995. Nondestructive determination of internal quality in peaches and nectarines. *Transactions of the ASAE*, 38(2):617-623.
- Starr C.A., A.G. Morgan, and D.B. Smith. 1981. An evaluation of near infrared reflectance analysis in some plant breeding programs. *J. Agric. Sci. (Cambridge)* 97:107-115.
- Savitzky A. and M.J.E. Golay, 1964. Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedures. *Anal. Chem.* 36, 1627-1639.
- Wesley IJ, Barnes RJ, McGill AEJ. 1995. Measurement of Adulteration of Olive Oils by Near-Infrared Spectroscopy. *JAACS* 72, 289-292
- Williams, P., and K. Norris. 2002. *Near-Infrared Technology in the Agricultural and Food Industries*. 2nd ed. St. Paul, Minn.: American Association of Cereal Chemists.

- Wulfsohn, D. and M. Olivier. 2007. Sampling for Precision Agriculture, 6ECPA/4ECPL pre-conference course, Skiathos, Greece. University of Tessaly.
- Yang H, Irudayaraj J. 2001. Comparison of Near- Infrared, Fourier Transform-Infrared, and Fourier Transform-Raman Methods for DeterminingOlivePomace Oil Adulteration in Extra Virgin Olive Oil. JAOCS 78, 889-895.
- Yee, N., W. T. Bussella and G. G. Coghill, 2006. Use of near infrared spectra to identify cultivar in potato (*Solanumtuberosum*) crisps. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science, 34: 177–181
- Young M, MacKerron D, Davies H 1995. Factors influencing the calibration of near infrared reflectometry applied to the assessment of total nitrogen in potato. II. Operator, moisture and maturity class. Journal of Near Infrared Spectroscopy 3: 167–174.



PLATAFORMA DE GESTIÓN PRODUCTIVA DE HUERTOS OLIVÍCOLAS

Valeska Concha Ing. Inf.

Pablo Thomas Ing. Inf.

PLATAFORMA DE GESTI3N PRODUCTIVA DE HUERTOS OLIVICOLAS

Introducci3n

El proyecto se basa en dos secciones siendo la primera la asociada a los desarrollos cient3ficos pr3cticos y una segunda no menor que es la integraci3n de dichos desarrollos en una plataforma operativa que permita que estos sean manejables y aplicables dentro del sector productivo generando un formato replicable de los desarrollos alcanzados. Para esto, se debe tener una integraci3n vertical de la informaci3n, bajo este concepto es que se ha integrado diferentes aplicaciones desde la captura de informaci3n, integraci3n de bases de datos, gesti3n gr3fica y espacial de la informaci3n, sistema de soporte virtual y capacitaci3n en l3nea, lo cual permite integrar informaci3n de diferente tipo tanto tabular como espacial dentro de un sistema que permite el almacenamiento did3ctico y f3cil de la informaci3n de terreno generada por los desarrollos creados, registro de actividades, visualizaciones digitales, informaci3n meteorol3gica, etc.

Desarrollo Sistema de Gesti3n Predial.

El desarrollo dela plataforma de gesti3n predial esta basado en un sistema de informaci3n geogr3fico (SIG), el cual posee la capacidad y potencialidad de almacenar la informaci3n en una base de datos espacial, para tal desarrollo, se ha optado por Kosmo como framework de c3digo fuente abierto para montar los cimientos de la plataforma.

Este sistema de informaci3n geogr3fica generado en el framework de desarrollo, est3 programado en Java y es multiplataforma. Su arquitectura modular facilita la creaci3n de numeroso plugins que a3aden funcionalidades especificas tales como: comprobaci3n de topolog3a, generaci3n de Modelos Digitales del Terreno, lectura de formatos raster, m3todos de interpolaci3n, etc. Dentro de las otras capacidades de la plataforma est3 la posibilidad de conexi3n a bases de datos espaciales, las cuales est3n montadas sobre PostgreSQL y PostGIS. El primero es un motor de bases de datos relacional sobre el cual se almacenan los datos y el segundo es el que hace de capa intermediaria entre el SIG y la base de datos para la interpretaci3n espacial de estos.

Objetivos:

Conseguir un eficiente almacenamiento de informaci3n espacio-temporal.

Desarrollar una herramienta "f3cil" de utilizar por el usuario final.

La herramienta debe generar mapas para ser visualizados por el SIG.

Gestor de Base de Datos, PostgreSQL.

PostgreSQL es un sistema de gesti3n de bases de datos objeto-relacional (ORDBMS). Tiene pr3cticamente todo lo que tienen los gestores comerciales, haciendo de 3l una muy buena alternativa. (fig.1)

Algunas de las Caracter3sticas:

- Incorpora una estructura de datos array.
- Incorpora funciones de diversa 3ndole: manejo de fechas, geom3tricas, orientadas a operaciones con redes, etc.
- Incluye herencia entre tablas (aunque no entre objetos, ya que no existen), por lo que a este gestor de bases de datos se le incluye entre los gestores objeto-relacionales.

Permite la gesti3n de diferentes usuarios, como tambi3n los permisos asignados a cada uno de ellos.



Figura1: Entorno de trabajo de PostgreSQL.

PLATAFORMA DE GESTIÓN PRODUCTIVA DE HUERTOS OLIVÍCOLAS

Herramienta de Administración de Base de Datos, pgAdmin.

pgAdmin es una herramienta de código abierto para administrar y desarrollar bases de datos en PostgreSQL, un motor de bases de datos de código abierto muy avanzado. Esta herramienta provee de características potentes a los DBA. Es multiplataforma y también funciona con otros motores comerciales basados en PostgreSQL como EnterpriseDB, MammothPostgreSQL, Bizgres y Greenplum.

PostgresSQL da soporte para hacer más fácil la administración de bases de datos mediante una **interfaz gráfica**, con un editor avanzado de SQL, entre otras herramientas.

En resumen:

- * Aplicación gráfica para gestionar el gestor de base de datos PostgreSQL.
- * Open source.
- Facilita la administración.

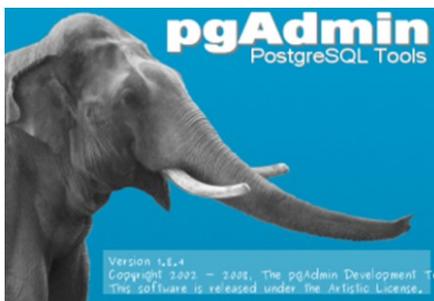


Figura 2. Herramienta de administración pgAdmin

Ambiente de trabajo:

Gracias a los beneficios ya mencionado de esta herramienta, podemos observar la estructura de la base de datos llamada **Progap**, en ella se desprende la tablas creadas para almacenar información de muestreo de terreno (fig.3). De esta forma podemos ver el entorno de trabajo y tener un control de las muestras ingresadas.

Para poder ingresar a ella, se debe registrar la contraseña de la base de datos.

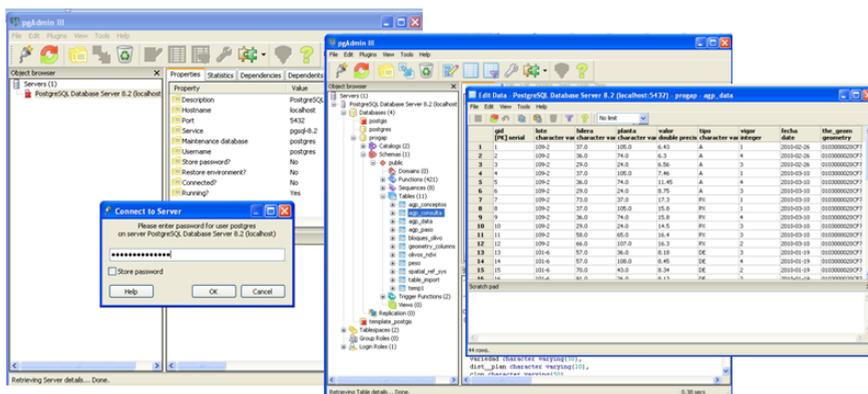


Figura 3. Visualización del entorno de trabajo a través de pgAdmin.

PLATAFORMA DE GESTIÓN PRODUCTIVA DE HUERTOS OLIVÍCOLAS

Sistema de Información Geográfico: KOSMO.

Es un Sistema de Información Geográfica (SIG). Se trata de una herramienta capaz de visualizar y procesar datos espaciales, caracterizándose por poseer una interfaz de usuario amigable, siendo capaz de acceder a múltiples formatos de datos vectoriales y raster con capacidad de edición y de poseer numerosas utilidades orientadas a usuarios SIG de nivel medio o avanzado.

En resumen:

- * Visualiza.
- * Procesa datos espaciales.
- * Posee una interfaz de usuario amigable.
- * Accede a múltiples formatos de datos vectoriales y raster (capacidad de edición).

Modo de Uso.

KOMO posee un entorno de trabajo amigable y de fácil uso. (fig.4)

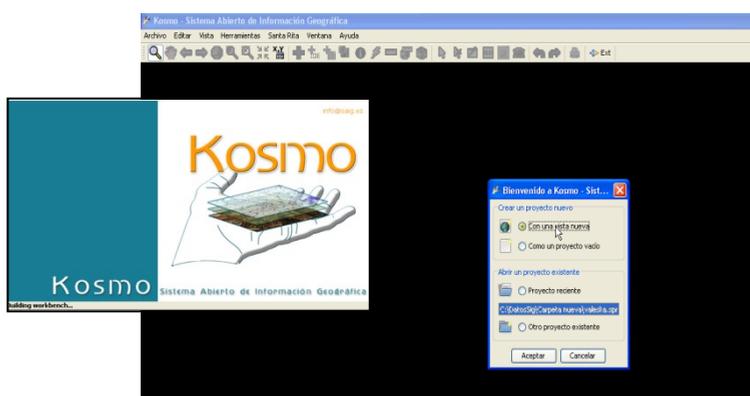


Figura 4. Entorno de trabajo kosmo.

Antes de trabajar con esta herramienta se deben cargar ciertas extensiones que necesitará para generar más adelante el ingreso de variables y las consultas a la base de datos.

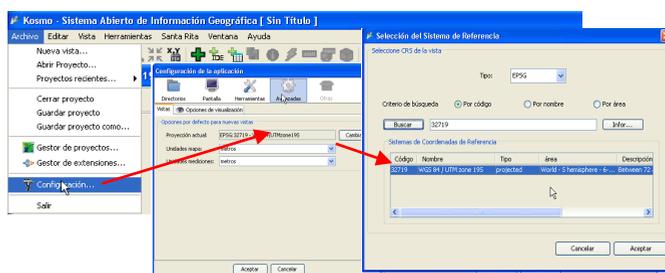


Figura 5. Carga de extensiones a kosmo.

PLATAFORMA DE GESTIÓN PRODUCTIVA DE HUERTOS OLIVÍCOLAS

Selección de Puntos.

Luego de chequear que el SIG posea las extensiones necesarias para poder trabajar se debe cargar el archivo Shape Copas para realizar la selección de puntos. Dichos puntos son seleccionados en base a una copa representativa del cuartel (índice radiométrico). Estos poseen información relacionada al lote, hilera, central al cual pertenece, además entrega información sobre la variable de muestreo con la cual se esta trabajando (fig.6)

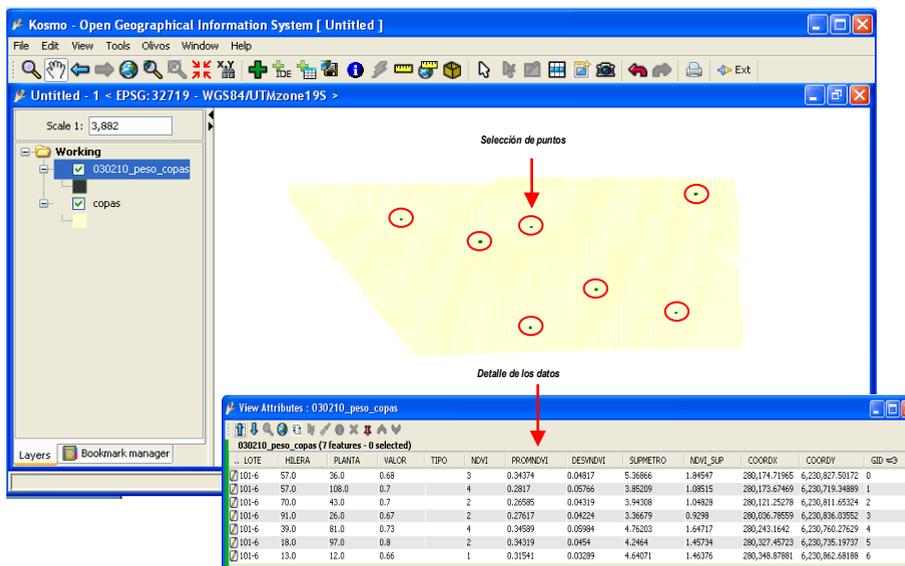


Figura6. Selección de puntos a partir de un archivo shape de copas.

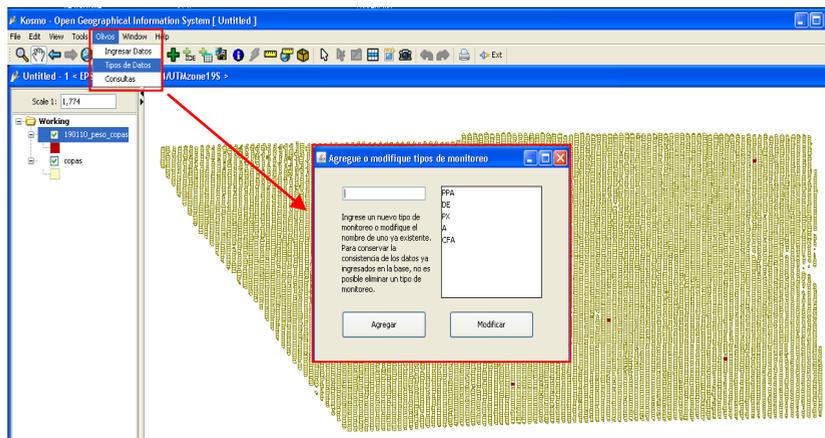


Figura 7. Ingreso tipo de monitoreo.

PLATAFORMA DE GESTIÓN PRODUCTIVA DE HUERTOS OLIVÍCOLAS

Luego de tener creadas las variables de monitoreo se procede al ingreso de datos tal como se muestra en la figura 8.

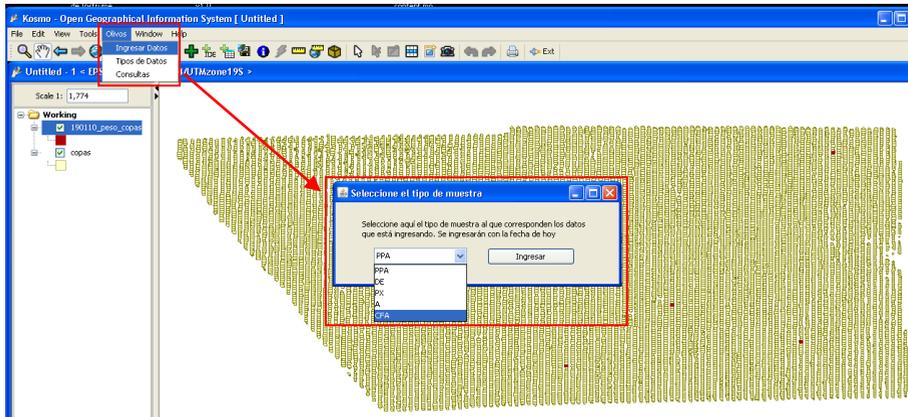


Figura 8. Ingreso de datos

Configuraciones Servidor a través de Logmein.

A través de acceso remoto se realizan las configuraciones necesarias para la aceptación de diferentes host que están fuera de alcance de la red. De esta manera permite la conexión a la base de datos de diferentes puntos siempre y cuando en el servidor estén las direcciones de IP públicas de la maquina que desea tener acceso ala base de datos.

Al ingresar al servidor se debe modificar dentro de la carpeta que se genera con la instalación de la base de datos PostgreSQL 8.2 data, un archivo llamado pg_hba.conf, dentro de este archivo debe llevar las direcciones IP de los equipos permitidos para la conexión con la base de datos(fig.9).

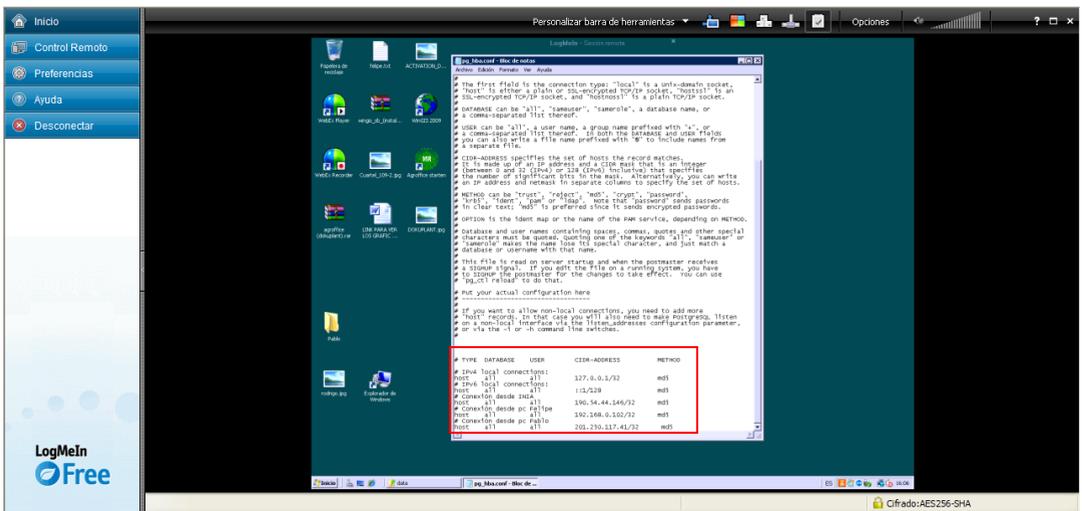


Figura 9. Archivo pg_hba.conf con el detalle de direcciones IP.

PLATAFORMA DE GESTIÓN PRODUCTIVA DE HUERTOS OLIVÍCOLAS

Exportar muestras a base de datos del servidor.

Para la exportación de datos, es importante tener claro las variables con las cuales se trabajaran, se deben crear carpetas para cada una de las variables y dentro de ellas identificar el cuartel al cual pertenece para luego ingresar la información de shape correspondiente de cada medición, eso proporcionará un orden a la hora de ingresarlos. (fig.10)

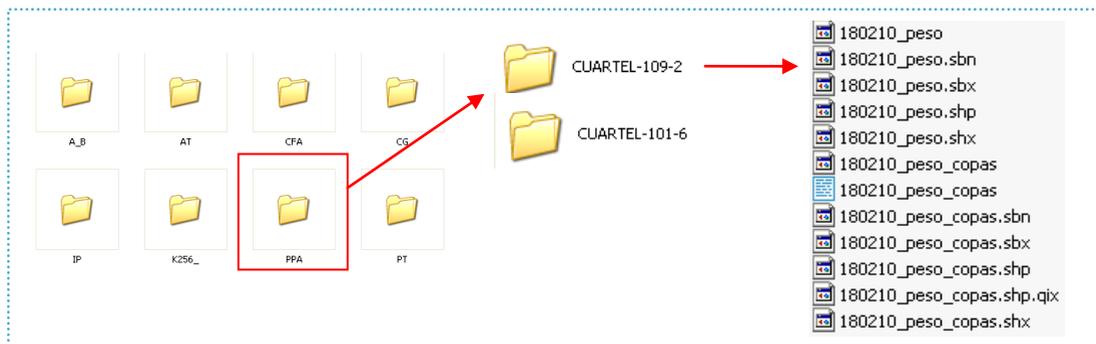


Figura 10. Estructura de ordenamiento.

Para exportar los datos al servidor existen dos formas de hacerlo una es directamente a través KOSMO y la otra opción es el uso de ICAS.

Ingreso deshape a base de datos a través de KOSMO.

Kosmo además de permitir la selección de punto y visualización, permite la conexión directa con la base de datos PostGres. A través de la imagen (fig.11) se puede ver la forma de ingreso de parámetros para una conexión exitosa con el servidor.

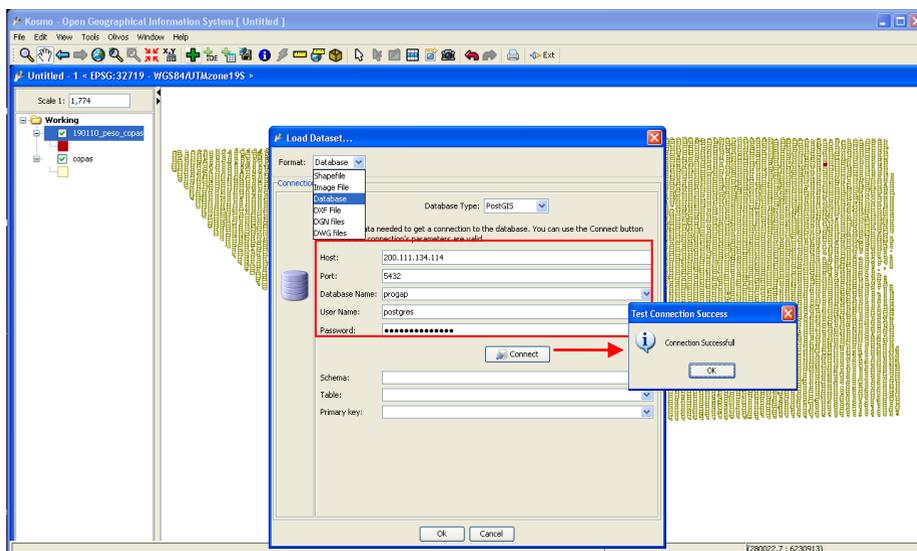


Figura 11. Ingreso de parámetros para conexión base de datos.

PLATAFORMA DE GESTIÓN PRODUCTIVA DE HUERTOS OLIVÍCOLAS

A comienzo del proyecto, se utilizó bastante la herramienta KOSMO para el ingreso de datos y visualización de la información los cuales eran almacenados y consultados a la base de datos. Para uso más práctico, en estos momentos, sólo esta cumpliendo el rol de visualizador de mapas.

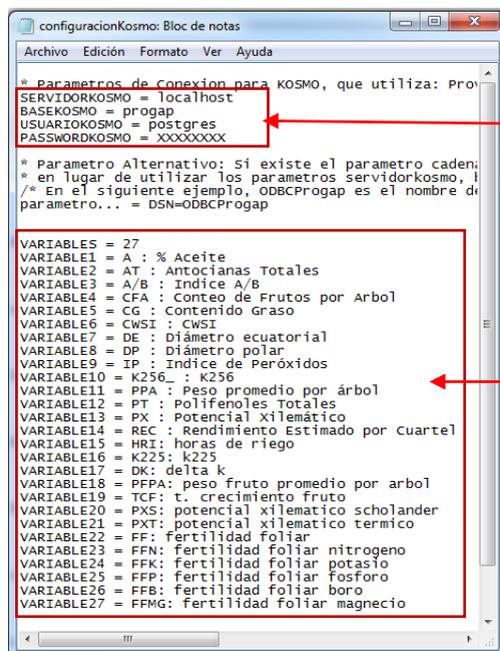
Por otro lado, con el avance de los desarrollos en el proyecto, la herramientas ICAS es capaz de realizar de forma estadística la selección de puntos a medir e ingreso de datos a la base de datos, convirtiéndose en una herramienta integrada, facilitando la automatización de los proceso al usuario de campo.

Ingreso de datos a la base de datos a través de ICAS.

Entre las bondades de ICAS, permite ingresar datos shape visualizados en Kosmo, generar nuevas variables y un ingreso de información más fácil para el usuario.

La forma de ingreso de datos a través de ICAS es a distancia, se cuenta con una estación de trabajo (host INIA, Chillán) otra estación en Monte Olivos (host administrador del predio, Rapel) más el servidor para almacenar los datos (Monte Olivos, Rapel). La conexión desde el host de INIA es mediante la configuración de parámetros del archivo *configuracionkosmo.txt*, se encuentra en la carpeta que genera la instalación del programa ICAS. El parámetro *servidorkosmo* debe llevar la dirección IP del server (200.111.134.117) para la conexión.

Además es importante mencionar por cada nueva variable de campo creada, se debe incorporar en este archivo, ya que el software ICAS pueda desplegarlo en la lista de variable, de lo contrario, no podrá verlo en la lista, ya que no lo considera como registrado.



En archivo contiene los parámetros de conexión:
Servidorkosmo: lleva la dirección IP del servidor para la conexión (200.111.134.117)
Basekosmo: nombre de la base de datos (progap)
Usuariokosmo: base de datos utilizada (postgres)
Passwordkosmo: contraseña para el ingreso a la base de datos.

Lista de variables e ingreso de nuevas variables a monitorear.

Figura12. Archivo txt con las configuraciones de conexión y variables.

PLATAFORMA DE GESTIÓN PRODUCTIVA DE HUERTOS OLIVÍCOLAS

Luego de las configuraciones necesarias en ICAS, a través de la opción **Ingresar muestras a partir de shp**, permite seleccionar el archivo shape, el cual, los datos serán enviados al servidor (fig.13).

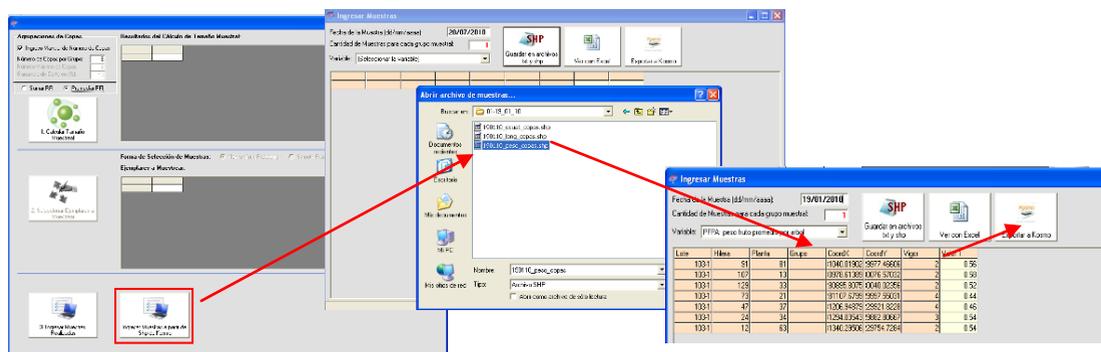


Figura 13. Muestra la opción de ingreso y la selección del shape.

ICAS brinda la opción de apreciar los resultados a través de **Excel**, esta opción permite ver el archivo en detalle de los datos a ingresar, cantidad de muestras y la ubicación de archivo(fig.14).

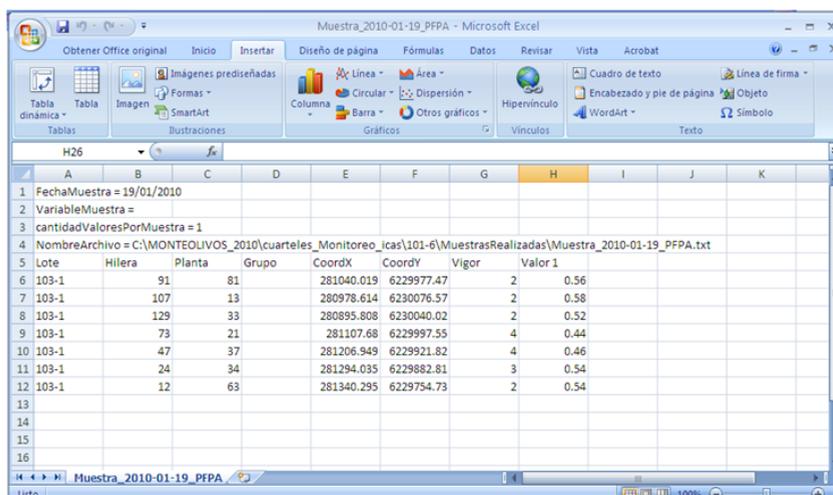


Figura 14. Detalle información shape con sus respectivos valores.

PLATAFORMA DE GESTIÓN PRODUCTIVA DE HUERTOS OLIVÍCOLAS

Una vez ingresada la fecha, cantidad de muestras y la selección de variable a ingresar, se procede a **Exportar a Kosmo**, los datos serán enviados directamente a la base de datos del SIG (fig.15).

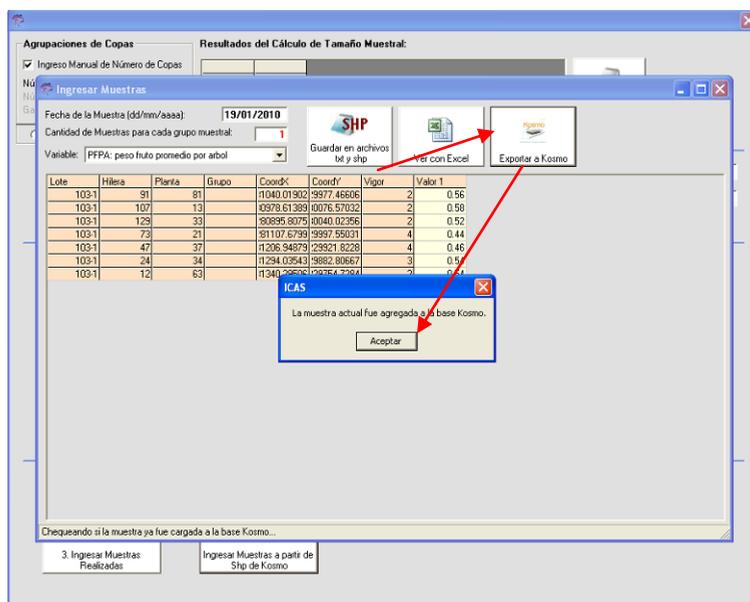


Figura 15. Datos exportados a base de datos de kosmo.

Uso de herramienta Deluxe ftp para gestionar archivos shape en servidor de mapas – Empresa Monte Olivos

La plataforma de Gestión Predial, cuenta con una herramienta que permite la visualización de mapas a través de internet, dicha herramienta se llama MapServer (servidor de mapas), la cual interactúa para la subida de mapas a través de un cliente FTP.

Parámetros Conexión FTP con el servidor de mapas.

Para conectarse al servidor de mapas, se puede utilizar cualquier aplicación cliente de FTP, desde el Internet Explorer a herramientas clientes gratuitas como WS_FTP, Deluxe_FTP, FileZilla FTP, etc. para este proyecto se utiliza Deluxe FTP.

Deluxe FTP es un cliente FTP, permite gestionar archivos alojados remotamente de una manera fácil y rápida. Entre sus ventajas se encuentra el poder visualizar el traslado de archivos a través de tu ventana transparente, además permite trabajar mediante conexiones proxy, sockets 4, 5, 6 además de Firewall.

Acceso y Actualización de Archivos de Mapas.

La información que se despliega en el servidor de mapas es totalmente dinámica. La forma de acceso es a través de una cuenta de FTP al servidor en que reside la aplicación.

Los parámetros de conexión FTP – SERVIDOR: el usuario de campo debe proporcionar los siguientes datos para efectuar la conexión:

- SERVIDOR: Dirección del Mapserver.
- USUARIO: Nombre de usuario asignada al usuario de campo para el ingreso.
- PASSWORD: Contraseña asignada al usuario de campo para el ingreso.

PLATAFORMA DE GESTIÓN PRODUCTIVA DE HUERTOS OLIVÍCOLAS

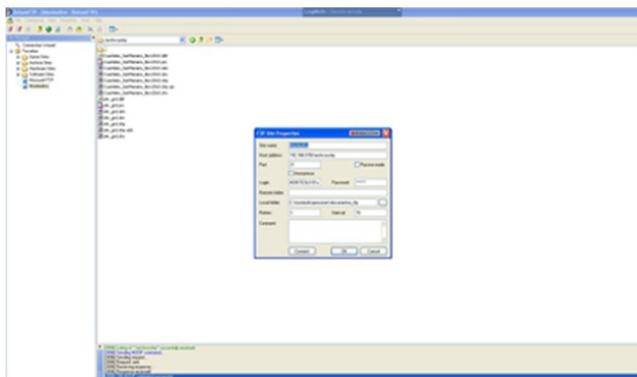


Figura 16. Entorno de trabajo FTP Deluxe.

Una vez realizada la conexión vía FTP para actualizar la lista de archivos shape a desplegar, simplemente se deben agregar o quitar los archivos correspondientes.

IMPORTANTE: Las coordenadas en que deben encontrarse los archivos shapes deben ser **grados decimales**.

Uso de Mapserver (Servidor de Mapas).

Es una aplicación web que permite visualizar información espacial y realizar distintos tipos de clasificación de una forma sencilla y auto-administrada.

Mediante la configuración de conexión con el servidor de mapas usando FTP, es posible que el usuario incorpore y administre la información que dinámicamente se despliega en el servidor de mapas.

Visualización: Características y Herramientas

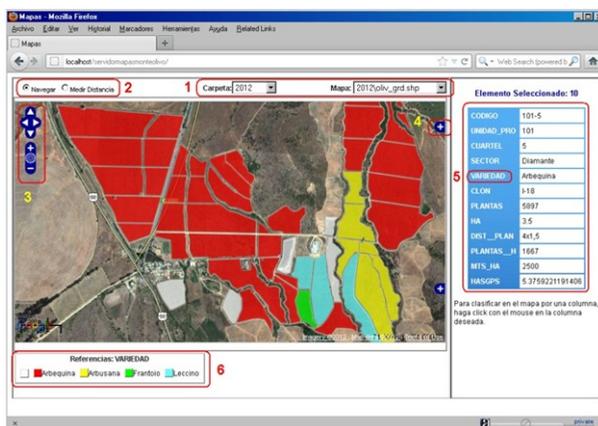


Figura 17. Pantalla Principal y descripción de los componentes.

PLATAFORMA DE GESTIÓN PRODUCTIVA DE HUERTOS OLIVÍCOLAS

Archivo shape que se está visualizando. Los archivos de mapas pueden ordenarse en carpetas y seleccionar aquella para la que se desea visualizar. Por defecto se visualizan los archivos de todas las carpetas.

Herramienta de selección “Navegar” (predeterminado). Al estar seleccionada esta opción permite arrastrar y soltar con el mouse sobre el mapa para moverlo de posición y con la rueda del mouse hacer zoom para acercar o para alejar. Si se selecciona la opción “Medir Distancia”, entonces al hacer clic con el mouse en diferentes puntos del mapa se indicará la distancia entre cada uno de dichos puntos.

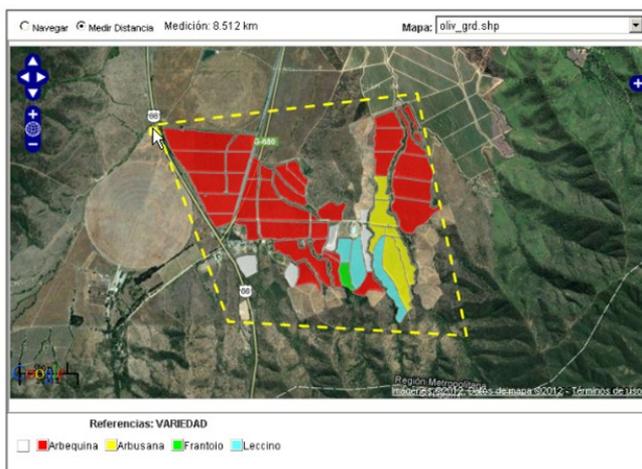


Figura 18. Ejemplo de uso de la herramienta “Medir Distancia”

Herramienta de Navegación Estándar: Permite funciones de desplazamiento Norte, Sur, Este, Oeste y de Zoom haciendo clic con el mouse sobre la opción correspondiente.

Permite seleccionar distintas capas de fondo: En forma predeterminada la capa que se visualiza es Google Hybrid (combinación de información satelital y de mapas). Al hacer click en el símbolo “+” se despliega una ventana para seleccionar entre: “Google Hybrids”, “Google Streets”, “Google Physical”, “Google Satélite”, “Open Street Map”. También dentro de la sección “Overlays” puede indicarse si se desea visualizar u ocultar momentáneamente el archivo shape seleccionado.

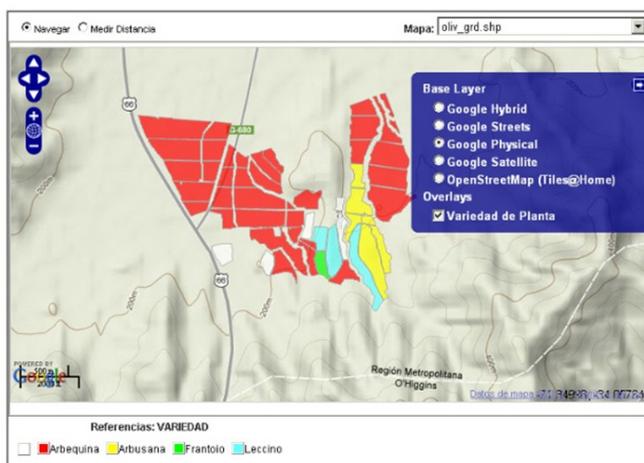


Figura 19. Ejemplo de selección de Capa Base.

PLATAFORMA DE GESTIÓN PRODUCTIVA DE HUERTOS OLIVÍCOLAS

Sí hace clic sobre cualquiera de los polígonos del shape que se está visualizando en el mapa, se desplegará a la derecha todos los datos del polígono seleccionado. Sí luego se selecciona con el mouse cualquiera de las columnas (en el ejemplo se hizo clic sobre la columna “Variedad”), la aplicación intentará realizar una clasificación sobre todos los polígonos mostrando las clases resultantes en distinto color (como se visualiza en la sección 6). Por cuestiones prácticas y de visualización, sólo se permite clasificar por columnas que tienen hasta 16 valores diferentes, sino aparecerá un mensaje como se muestra a continuación:



Figura 20. Mensaje de advertencia.

Transferencia Tecnológica y Difusión del Proyecto

Desarrollo de sistema para información y transferencia vía formato web.

El desarrollo de un sistema de información para este proyecto, es de vital apoyo para ámbitos como la difusión y transferencia de los diferentes contenidos del proceso y sistemas que se utilizan, para ello es necesario implementar un sistema web que cumpla con estándares de diseño, manejo web y que sea de vital información para quien desea conocer el trasfondo del proyecto.

Para ello este sistema cuenta con una web de dos grandes partes:

La **primera parte**, estará dirigido al usuario común visitante externo que sólo quieren informarse de los detalles del proyecto y visualizar contenidos gráficos dispuestos para una complementación de las materias que se exponen.

La **segunda parte** cuenta con el desarrollo de una plataforma de trabajo, el cual contiene la información integrada desde una base de datos, creada con datos obtenidos de los diferentes “input” de monitoreos, que pueden ser visualizados en forma espacial en la plataforma.

En complemento, este sistema cuenta con diferentes tipos de gestiones, entre ellas está la incorporación de cámaras IP, imágenes 360º del campo y la fábrica, fotografías del lugar y un sistema de gestión de usuarios, que permite entrelazar información entre los usuarios registrados en la plataforma.



Figura 21. Esquema sitio Web e intranet del usuario de campo.

PLATAFORMA DE GESTIÓN PRODUCTIVA DE HUERTOS OLIVÍCOLAS

Herramientas

Para la implementación web, se dispone de un sistema de alojamiento o “hosting” de 1200 mb de espacio, con transferencia ilimitada en Gb, en el cual tiene un DNS personalizado. En este servidor “web” se guardaran los archivos de salida para la web. Además se dispuso de un enlace de entrada o dirección web, aquella que nos permite acceder al sistema de archivos alojados en el “hosting” cuya dirección corresponde a:
<http://www.oliviculturadeprecision.cl/>

Detalle del servidor de alojamiento de la web (Hosting):

Espacio en Disco	1200 MB
Transferencia Mensual	Ilimitada GB
Cpanel	si
Soporte 24/7	si
99,9% Uptime	si
DNS personalizada	si
Alta en Buscadores	si
Servicios E-mail	
Cuentas de E-mail	20
E-mail autorespondedores	20
Webmail	si
Antispam	20
Servicios Generales	
Dominios Aparcados	12
Dominios Adicionales	no
Sub-dominios	12
Redireccionamientos	si
Cuentas FTP	20

Herramientas utilizadas para la creación del sitio Web.

Para la creación de la página web, se utilizaron diferentes herramientas de tipo informático y gráfico, donde se detallan a continuación:

Software

- SwishMax: software de creación de sistemas flash.
- Adobe Dreamweaver: software de gestión de sistemas web.
- Adobe Fireworks: software de creación de gráficas para web.

API - Frameworks

- Swfobject: sistema para integrar componentes flash a las web mediante soporte java.
- Jquery: framework de interacción con sistemas de lenguaje html.
- Thickbox: Sistema de carga para interacción con imágenes.
- Greybox: sistemas de gestor que permite cargar ventanas a través de enlaces.
- API mapsgoogle: sistema de integración de mapas, bajo la tecnología de Google.

Lenguajes Utilizados

- Javascript
- Php
- CSS
- Actionscript

Gestor de contenido

- Wordpress: es una avanzada plataforma semántica de publicación, orientada a la estética, los estándares web y la usabilidad.

PLATAFORMA DE GESTIÓN PRODUCTIVA DE HUERTOS OLIVÍCOLAS

Ventanas principales del Sitio Web.

La web principal cuenta con seis menús de interacción y cada una de las partes del proyecto y sus resultados.

A continuación, se presentará las ventanas (layout) principales del sitio web.

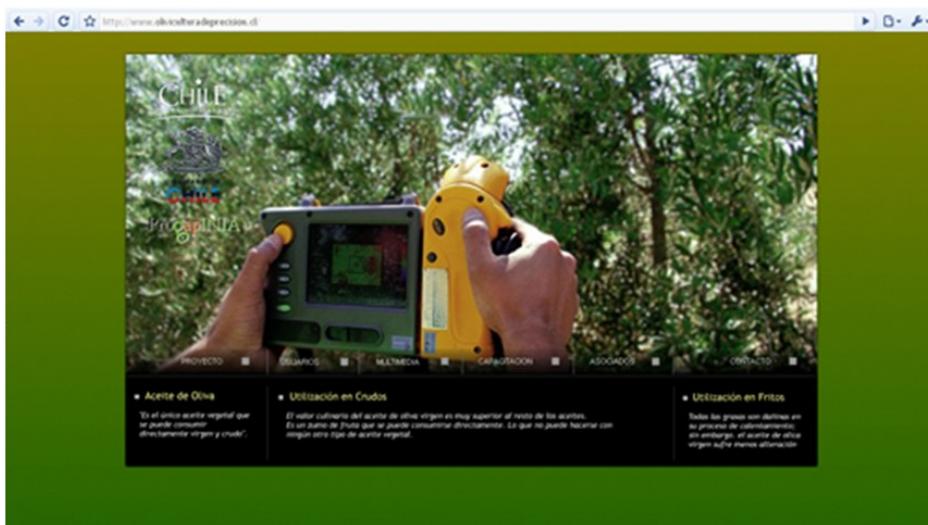


Figura 22. Sitio web de Olivicultura.

PLATAFORMA DE GESTIÓN PRODUCTIVA DE HUERTOS OLIVÍCOLAS

Cada una está dividida en otros sub-menús:

Proyecto: Detalla los procesos y objetivos del proyecto.

- Proyecto
- Evaluación Temporal
- Déficit Hídrico
- Calidad de Fruta
- Medición, Estimación y Monitoreo
- Logística y Comunicación

Usuarios: En esta parte se ingresa a la plataforma de integración de datos.

Multimedia:

- Galería 360º: Muestra una galería georeferenciadas de fotografías en 360º, la cual se pueden mover con el mouse, utilizando la tecnología Google.
- Galería de Fotos: Galería fotográfica georeferenciadas, utilizando la tecnología Google.
- Cámaras: muestra cámaras IP instalada en el huerto y la fábrica.

Capacitación:

- Dim-Dim
- E-learning
- Blog

Asociados: muestra empresas asociadas al proyecto.

Contacto: sistema de contacto on-line.

Cada una está dividida en otros sub-menús:



Figura 23. Contenido sub-menú Proyecto del sitio web.

PLATAFORMA DE GESTIÓN PRODUCTIVA DE HUERTOS OLIVÍCOLAS



Figura 24. Contenido sub-menú, contenido evaluación temporal.



Figura 25. Contenido sub-menú, contenido déficit hídrico.



Figura 26. Contenido sub-menú, contenido Calidad de fruta.



Figura 27. Contenido sub-menú “Medición, estimación y Monitoreo”

PLATAFORMA DE GESTIÓN PRODUCTIVA DE HUERTOS OLIVÍCOLAS

Acceso a intranet del sitio

Sistema de Gestión on-line.

Plataforma de sistema integración de información automatizada desde el huerto, en el cual podemos ver diferentes análisis en tiempo real, así como la interacción de los usuarios con accesos a esta información.

Para acceder a esta plataforma se hace desde el “Main” principal de llegada a la web de “Olivicultura de Precisión” en el botón de “Usuarios”, mediante un nombre de usuario y una password correspondiente; en esta plataforma podemos ver diferentes sistemas integrados entre ellos:

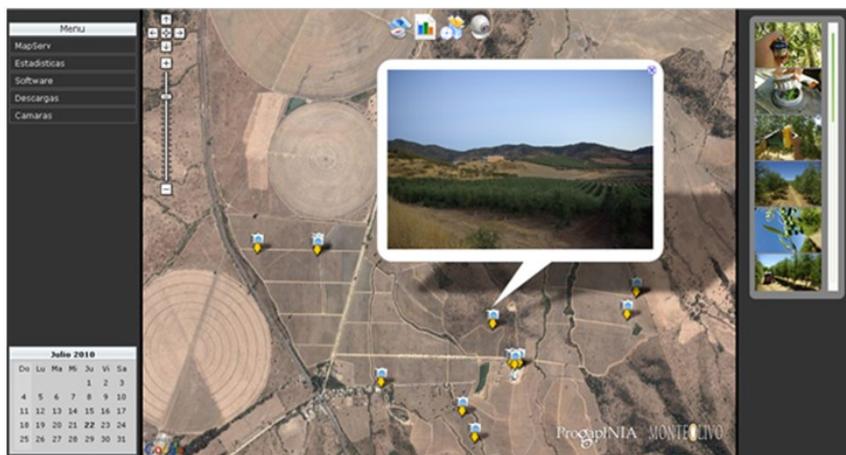


Figura 28. Sistema de gestión (intranet).

Contenidos del sistema:

Mapserver: Gestor de mapas de internet.

Estadísticas: Sistema de gestión grafica de la información del huerto.

Software: Implementación de software.

Descargas: Implementación de software e información de los sistemas.

Cámaras: Muestra cámaras IP y cámaras 360º.

Sistema de gestión de usuarios e intercambio de información.

El sistema de gestión de usuarios fue desarrollado con lenguaje de programación PHP, en el cual los usuarios que tengan acceso puedan interactuar con los demás usuarios de la plataforma, con el objetivo de intercambiar ideas, estado del huerto, mejoras, etc. Dicho sistema, contiene un muro de mensajes que pueden enviar en forma privada o pública entre usuarios, con una copia del mensaje al correo electrónico.

Este sistema ayudará a la gestión de los usuarios, ya que les facilitará el intercambio de información sin tener que ir a otra plataforma, ya sea de correo electrónico o una llamada telefónica.



Figura 29. Ingreso de los usuarios al sistema.

PLATAFORMA DE GESTIÓN PRODUCTIVA DE HUERTOS OLIVÍCOLAS

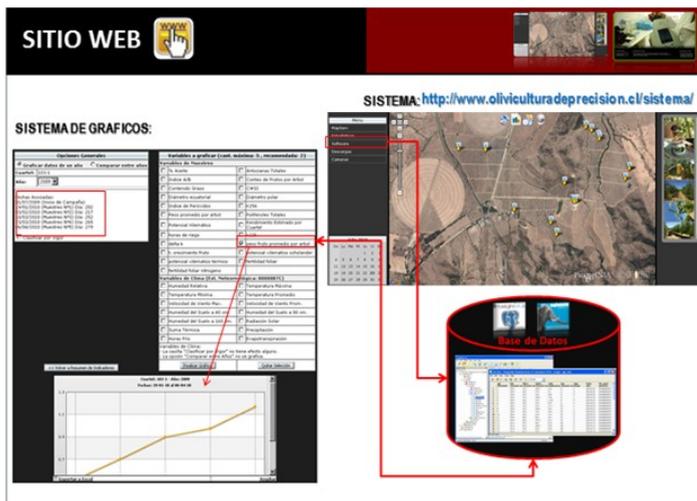


Figura 30. Intranet sistema, acceso a sistema de gráficos.

Usuario administrador de campo:

Una vez logeado e ingresado a la intranet, el usuario administrador de campo podrá registrar nuevos usuarios y editar los perfiles de los usuarios ya registrados.

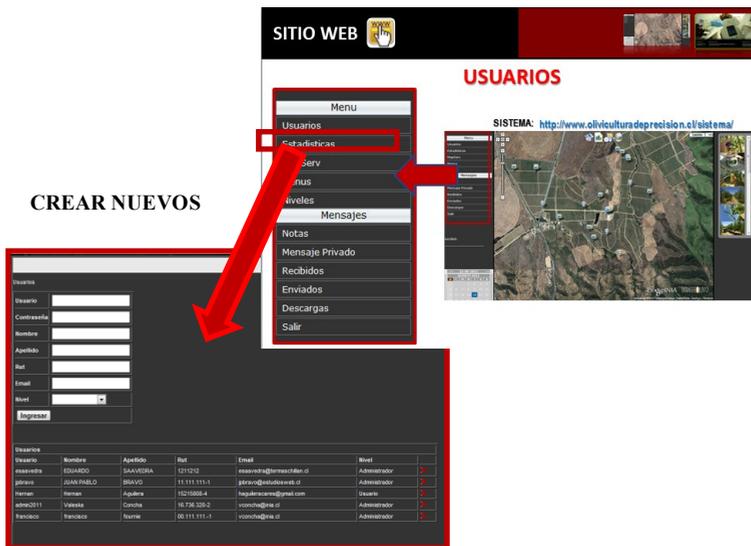


Figura 31. Esquema acceso intranet, creación y eliminación de usuarios.

PLATAFORMA DE GESTIÓN PRODUCTIVA DE HUERTOS OLIVÍCOLAS

Uso de Plataforma Moodle para clases E-learning

Moodle es un Sistema de Gestión de Cursos de Código Abierto (Open SourceCourse Management System, CMS), conocido también como Sistema de Gestión del Aprendizaje (Learning Management System, LMS) o como Entorno de Aprendizaje Virtual (Virtual LearningEnvironment, VLE). Es una aplicación web gratuita que se puede utilizar para crear sitios de aprendizaje efectivo en línea (fig



Figura 34. Una vez iniciada la sesión, se ingresa a los cursos programados de la semana.

A través de este sistema de gestión se administró el recurso generado de clases (e-learning) (fig.142) en formato digital para la capacitación. El usuario tiene acceso a este beneficio siempre y cuando tenga una cuenta en el moodle, eso quiere decir, que deberá logearse en el sitio web para tener acceso.



Figura 35. Material desarrollado en formato digital, e-learning.

PLATAFORMA DE GESTIÓN PRODUCTIVA DE HUERTOS OLIVÍCOLAS

Herramienta de Comunicación – DIMDIM.

Dimdim(dimdim.com) es una aplicación web que permite la realización de videoconferencias, cumple un rol fundamental en la comunicación a través de reuniones y capacitaciones virtuales desde la propia web de Dimdim. Para unirse a una reunión convocada por otra persona, no es necesario tener una cuenta, sino sencillamente haber sido invitado a esa reunión mediante un correo electrónico enviado por el convocante (fig.36).

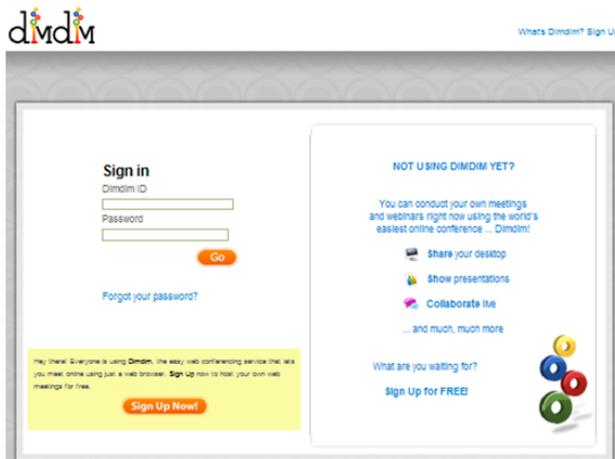


Figura 36. Ventana de inicio de sesión en DIMDIM.

Durante una reunión, además de utilizar audio y vídeo procedente de una webcam, se puede compartir con los asistentes la pantalla del presentador, una presentación ppt o documento pdf o navegar por una URL. En cualquier momento, el presentador (que actúa como moderador de la reunión) puede pasar el mando a otro participante quien, a su vez, podrá compartir con los demás su pantalla o un documento mientras hace una exposición oral.



Figura 37. Videoconferencia a través de DIMDIM.

PLATAFORMA DE GESTIÓN PRODUCTIVA DE HUERTOS OLIVÍCOLAS

Herramienta de Comunicación – SKYPE.

Skype es un programa que permite llamar gratis a cualquier otro usuario de Skype, en cualquier parte del mundo. Esta herramienta ha sido de gran apoyo para establecer la comunicación con la empresa Monte Olivo a través del PC (fig.38).



Figura 38. Entorno de trabajo de Skype.

Algunas de las ventajas de uso de Skype:

- Skype es fácil y rápido de instalar.
- Llamadas telefónicas gratuitas a otros usuarios de Skype en cualquier parte del mundo.
- Las llamadas con Skype tienen una alta calidad de sonido y son altamente seguras.

Para facilitar aun más la comunicación sin estar todo el tiempo en el PC, se opto por la compra de dos teléfonos skype (fig.39) esto facilita aun más la comunicación en Monte Olivo, ya que el predio cuenta con señal WIFI, gracias a eso, es factible la comunicación vía telefonía IP, ya que estos equipos para establecer la comunicación sólo necesitan estar conectados al WIFI (router), permitiendo realizar llamadas a otros usuarios skype. Las llamadas realizadas a través de este sistema no tienen costo alguno.



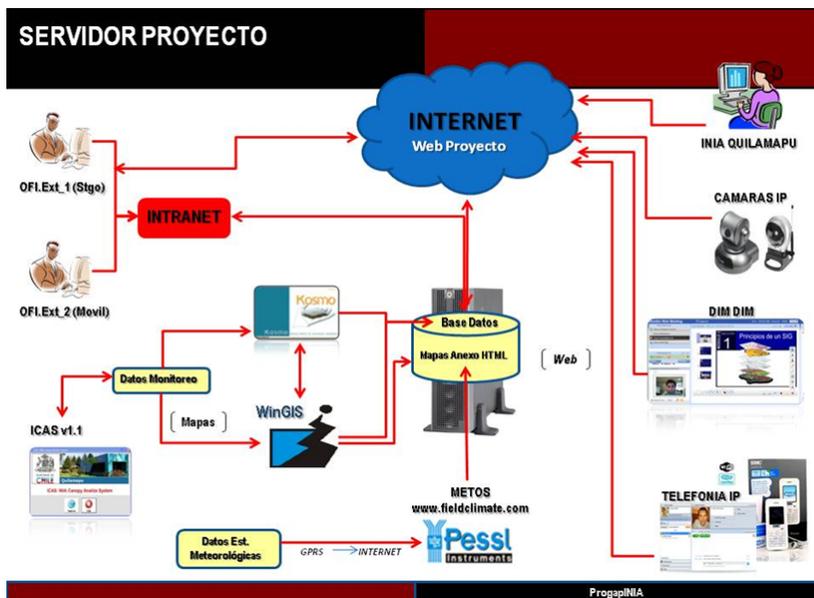
Figura 39. Teléfonos skype.

PLATAFORMA DE GESTIÓN PRODUCTIVA DE HUERTOS OLIVÍCOLAS

Resumen de Integración

SERVIDOR PROYECTO:

A continuación, las siguientes imágenes muestran cada una de las partes que integra el sistema en tu totalidad



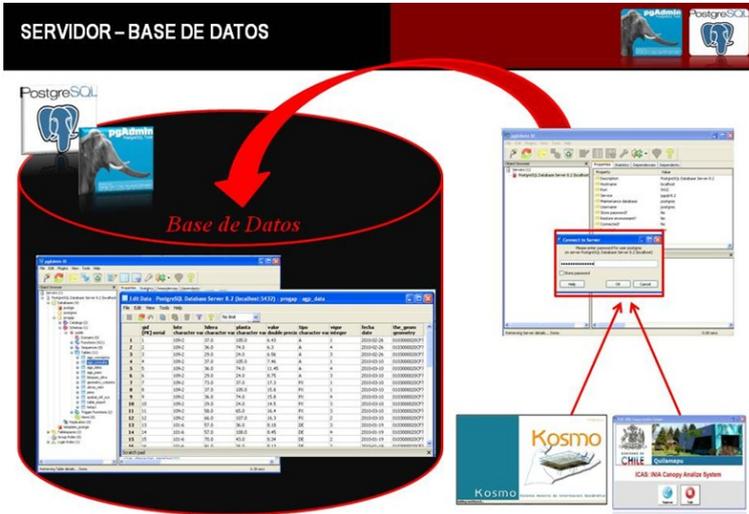
SITIO WEB:

Esquema de integración del sitio.



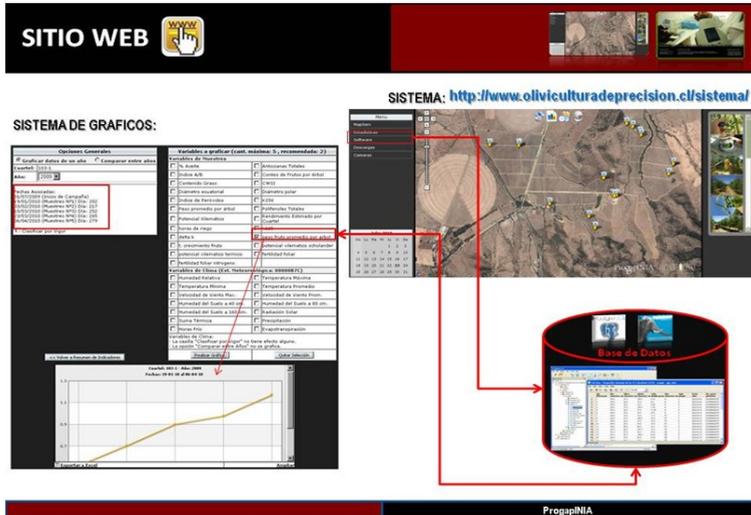
PLATAFORMA DE GESTIÓN PRODUCTIVA DE HUERTOS OLIVÍCOLAS

BASE DE DATOS:



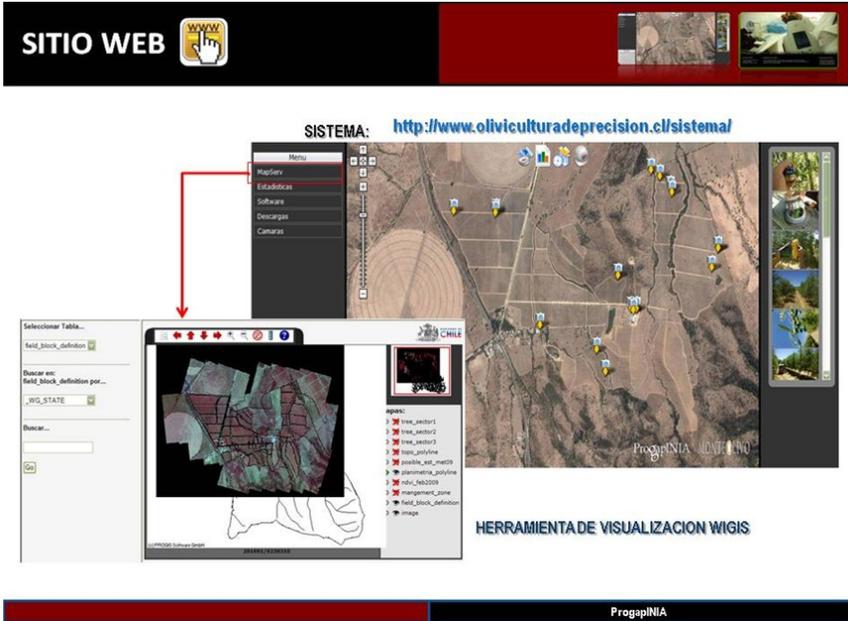
SITIO WEB - INTRANET:

El sistema de gráficos muestra la evolución temporal de la variable PFFA (peso fruto promedio por árbol). Toda esta información esta almacenada en la base de datos.



PLATAFORMA DE GESTIÓN PRODUCTIVA DE HUERTOS OLIVÍCOLAS

USO DE MAPSERVER (Servidor de Mapas):





EVALUACIÓN ECONÓMICA

Rodrigo Quintana L. Ing. Agr. Mg.

EVALUACIÓN ECONÓMICA

Introducción

La industria olivícola nacional ha crecido firmemente en los últimos años, existiendo un aumento progresivo en cuanto a superficie plantadas de olivos, volúmenes de producción y exportación a distintos países del mundo.

Para el cumplimiento de los volúmenes exigidos a costos razonables que permitan obtener retornos económicos importantes, la industria olivícola debe enmarcarse dentro de un plan de manejo de obtención de información de las variables tanto agronómicas como naturales que los determinan y, aún más importante, es que esta información sea oportuna para tener injerencia sobre la producción final. Para ello la información obtenida se debe integrar a un sistema de pronóstico oportuno el cual debe estar vinculado al rendimiento y calidad espacial, en orden a maximizar los beneficios económicos del olivar. Frente a esto, es necesario contar con metodologías que puedan ser empleadas eficientemente en áreas de producción que reúnan a lo menos un predio completo.

La metodología de trabajo asociada a la Agricultura de Precisión permite generar soluciones a los problemas planteados, al tener como uno de sus fundamentos de trabajo el considerar la variación espacial y temporal de los huertos para llevar a cabo el manejo del mismo (manejo de sitio específico) acorde al conocimiento integral del predio.

Las herramientas utilizadas para el manejo Agronómico con Agricultura de Precisión son:

- Mapeos de suelos: se incorpora el concepto de sitio específico para el riego por condición edáfica, por lo cual puede haber control del riego en información, lo que se traduce en la eficiencia de la aplicación hídrica.
- Estaciones meteorológicas y de humedad de suelo. Para un buen cálculo y aplicación del agua de riego se debe tener presente información climática e hídrica de suelo, al no obtenerlo se traduce en la ineficiencia de la aplicación y además en el encarecimiento de las horas eléctricas por el uso de los motores de riego, trayendo como consecuencia en el encarecimiento de los costos totales de producción.
- Mapeo de Vigor: esta herramienta de segmentación, permite la obtención de puntos muestrales para mediciones de plagas y enfermedades, rendimientos y calidades por zonas de vigor. (kg y litro de aceites), además permite segmentar en base a la información de campo aplicaciones eficientes en agroquímicos como también manejos de podas.
- Monitor de Rendimiento. A través de celdas de carga en maquina cosechera.
- Monitoreo no destructivo: incluye NIR, esta herramienta permite obtener la evolución de los aceites en forma temporal y oportuna para una cosecha diferencial.

La tecnología implementada es compleja de cuantificar económicamente en comparación con la agricultura tradicional, ya que la agricultura de precisión es una herramienta de optimización de paquetes tecnológicos complejos que pueden evaluarse por separado e integrados.

EVALUACIÓN ECONÓMICA

“Estudio de Impacto Económico para el Proyecto Olivicultura de Precisión”.

Análisis del Entorno:

Para comprender el alcance de este análisis comparativo entre Sin AP y Con AP en el Rubro Olivícola, se presenta a continuación un resumen de las principales tendencias nacionales del mencionado rubro.

La industria olivícola nacional se ha desarrollado firmemente en los últimos años, ha habido un aumento progresivo en cuanto a superficie plantada de olivos, volúmenes de producción y exportación a distintos países del mundo.

La superficie nacional de plantaciones de olivos ha mostrado un aumento en los últimos años. Para el año 2010 se estima que el aumento en superficie plantada fue de alrededor de un 15% con respecto al año anterior, alcanzando las 24.000 hectáreas aproximadamente.

En la cosecha 2010, Chile produjo 11000 toneladas de aceite de oliva extra virgen. Desde su despegue, en los años 90, la industria olivícola de ese país optó por mantener su producción sólo en esta categoría, bajo la premisa de que su nivel de desarrollo no les permite competir en volumen, sino que en calidad.

Para este fortalecimiento las empresas se equiparon con la mejor tecnología y desarrollaron fuertes inversiones en plantaciones, que permitieron una excelente adaptación de las variedades más importantes de España e Italia. Una decisión que tiene sus primeros frutos en las exportaciones, que han tenido un crecimiento exponencial en los últimos cuatro años, además de dar sus primeros pasos en mercados tan importantes como el norteamericano y algunos países de Asia.

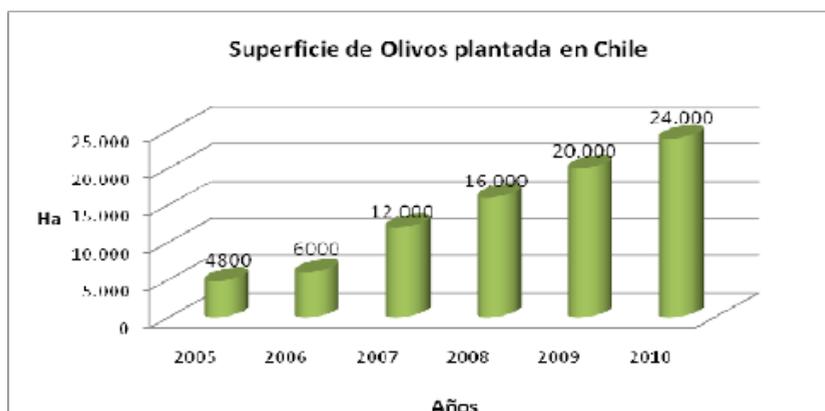


Figura N° 1: Evolución superficie plantada para la producción de aceite 2005-2010.

Fuente: elaborado por CHILEOLIVA con información propia y de ODEPA.

La producción nacional también ha ido aumentando durante los últimos años, esto gracias a la progresiva entrada en producción de los olivos plantados años atrás. En los meses de enero a junio de 2011, las exportaciones chilenas de aceite de oliva sumaron 1.801 toneladas, creciendo un 183% en comparación a igual período del año 2010, el valor exportado anotó US\$ 7,2 millones, con un alza del 105% en comparación a igual período del año 2010.

Pese a este gran crecimiento, el consumo per cápita en Chile es aún muy bajo. A diferencia de los países del mediterráneo, los chilenos, en promedio, no sobrepasan los 150 gramos anuales. De hecho, la producción nacional, aunque pequeña, supera en más de cuatro veces el consumo interno, por lo que otro de los objetivos de ChileOliva es promover las bondades del aceite de oliva en su país.

Los productores nacionales están confiados. No por nada el próximo año se anuncia un fuerte aumento en la cantidad de hectáreas plantadas, ya que hay varios inversionistas interesados en ingresar al negocio olivícola. Una industria en crecimiento, que promete convertirse en uno de los pilares importantes de la agroindustria exportadora de Chile.

En la producción de Aceite de Oliva Extra Virgen se debe tener claro cuál es el objetivo del producto final, porque esta definición establece muchos de los criterios de manejo del olivar, en primer lugar definir si se trata de producir aceitunas de mesa o aceitunas para aceite de oliva, si es el segundo, se debe considerar si se quiere producir aceites de alta calidad o más bien se tenderá a producir volúmenes.

EVALUACIÓN ECONÓMICA

Sin embargo, debido al nivel de superficie actualmente plantada en Chile con respecto a otros países, ya explicado en este texto, Chile nada tiene que hacer en el negocio del volumen, por lo tanto nuestro espacio y nuestros esfuerzos deben apuntar hacia la calidad, produciendo en cada proyecto el 100% del aceite extra virgen de alta calidad.

Bajo este argumento, no deja de llamar la atención las diferencias que se han empezado a visualizar en las distintas zonas en que hoy se cultivan los olivos para aceite, en especial la mezcla de este factor con cada variedad, por lo tanto se debe tener atención respecto de este punto.

Será por tanto importante resaltar, que bajo un sistema de producción de alta calidad, “la zonificación” es un criterio que define aptitudes, ya que hay zonas que tienen mejores condiciones que otras y que pueden generar calidades de aceites diferentes (en especial referido a color del aceite, intensidades de aromas y fructosidad).

En países mediterráneos los rendimientos son más bien bajos porque se realiza mucha olivicultura de secano, sin embargo, de acuerdo a las condiciones edafoclimáticas de Chile, se podrían esperar rendimientos de 12 a 15 mil kilos por hectárea (1.000 a 2.000 litros de aceite por hectárea), basados en conceptos de zonas adecuadas de plantación y con las variedades bien elegidas pero principalmente se debe utilizar una fruticultura moderna y bajo riego, con un fuerte componente en la innovación tecnológica que permitirá lograr estos objetivos y además, poner una cara comercial distinta en el mercado (producción con tecnología e inocuidad), altamente necesaria para diferenciarse no solamente por una buena relación precio/calidad.

Así, el rendimiento y calidad final de los aceitunas producidas, debe enmarcarse dentro de un plan de manejo de las variables que los determinan y, aún más importante, que esta información sea oportuna para poder tener injerencia sobre la producción final. Para ello la información obtenida se debe integrar a un sistema de pronóstico oportuno el cual debe estar vinculado al rendimiento y calidad espacial, en orden a maximizar los beneficios económicos del olivar. Para esto, es necesario contar con metodologías que puedan ser empleadas eficientemente en áreas de producción que reúnan a lo menos un predio completo.

La metodología de trabajo asociada a la Agricultura de Precisión permite generar soluciones a los problemas planteados, al tener como uno de sus fundamentos de trabajo el considerar la variación espacial y temporal de los huertos para llevar a cabo el manejo del mismo (manejo de sitio específico) acorde al conocimiento integral del predio. Por otra parte, al hacer uso de instrumental asociado a sensores y teledetección asociado a los avances de la informática, hace posible el estudio de áreas extensas, como las ya mencionadas.

Descripción de Escenarios en Estudio:**Situación Productiva Base, Sin AP:**

En esta sección se presentan los indicadores de costos de inversión y manejo de la situación base, ello es Sin la Aplicación de Agricultura de Precisión o Huerto tradicional en 180 hectareas. El manejo tradicional, no incluye inversiones de:

- Mapeos de suelos: por lo tanto no incorpora el concepto de sitio específico en el riego por condición edáfica, por lo cual no hay control del riego en información, lo que se traduce en la ineficiencia de la aplicación ya sea en el exceso u/o déficit hídrico en cada cuartel.
- Estaciones meteorológicas y de humedad de suelo. Para un buen cálculo y aplicación del agua de riego se debe tener presente información climática e hídrica de suelo, al no obtenerlo se traduce en la ineficiencia de la aplicación y además en el encarecimiento de las horas eléctricas por el uso de los motores de riego, trayendo como consecuencia en el encarecimiento de los costos totales de producción.
- En general los problemas de productividad, calidad y uso eficiente del agua se producen ya que las áreas productivas se encuentran dentro de variaciones de topografía, textura y profundidad de suelos, drenaje y fertilidad entre muchas otras. Con el manejo estandarizado u homogéneo del huerto, hace que estas variabilidades naturales del suelo se manifiesten en las diferencias de vigor, calidad y rendimiento de los huertos.
- Mapeo de Vigor: esta herramienta de segmentación tampoco está incluida, por lo que las determinaciones de rendimientos (kg y litro de aceites), además de ello las aplicaciones de plaguicidas y de monitoreo de estas son erróneas ya que no representan la condición media de cada sector.
- Monitor de Rendimiento: no incluye.
- Monitoreo no destructivo: no incluye NIR, por lo tanto costos de laboratorio y de análisis químico encarecen el muestreo.

EVALUACIÓN ECONÓMICA

En base a la información aportada por la empresa, se realizaron los análisis de costos asociados a la inversión y de manejo de predio en 180 hectáreas. En la cual se detallan en las tablas siguientes:

Tabla N° 1. Resumen de los costos asociados a la inversión Sin AP.

	2005	2006
1. INGRESOS OPERACIONALES		
TOTAL INGRESOS	0	0
2. COSTOS OPERACIONALES		
OPERACIONALES	-	18,728,001
REMUNERACION	-	3,190,000
ELECTRICIDAD	-	-
TOTAL COSTOS OPERACIONALES	-	21,918,001
3. OTROS GASTOS DESEMBOLSABLES		
GASTOS GENERALES ADMINISTRACION	-	3,363,037
TOTAL DESEMBOLSOS	-	25,281,038
4. GASTOS NO DESEMBOLSABLES		
DEPRECIACIONES	-	
Planta Olivo	-	4,500,900
Maquinaria Agricola	-	22,018,276
Camioneta	-	964,000
Sistema Riego	-	10,042,089
TOTAL GASTOS NO DESEMBOLSABLES	-	40,586,592
AMORTIZACION GASTOS PUESTA EN MARCHA		3,061,327
TOTAL GASTOS		68,928,957
RESULTADO ANTES DE IMPUESTO	-	- 68,928,957
IMPUESTO 17%	-	
RESULTADO DESPUES DE IMPUESTO	-	- 68,928,957
AMORTIZACION GASTOS PUESTA EN MARCHA		3,061,327
GASTOS NO DESEMBOLSABLES (DEPRECIACION)	-	40,586,592
GASTOS PUESTA EN MARCHA	18,367,960	
5. INVERSION		
INVERSION TERRENO Y HABILITACION	240,676,857	
INVERSION PLANTAS	225,045,000	
MANO OBRA PLANTACION	29,113,220	
RIEGO TECNIFICADO	100,420,893	
ESTRUCTURA DE FORMACION	80,139,240	
INVERSION MAQUINARIAS	253,768,616	
TOTAL INVERSION	929,163,826	
FLUJO CAJA NETO	- 947,531,786	-25,281,038
FLUJO CAJA NETO POR HECTAREA	5,264,065.48)	- 140,450.21

EVALUACIÓN ECONÓMICA

Tabla Nº 2. Resumen de los costos asociados al manejo agronómico Sin AP.

GASTOS OPERACIONALES	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6
Mantenimiento Huerto	11,712,960	18,484,668	28,665,873	34,053,168	36,047,418	37,007,418	34,824,168
Cosecha Manual	-	-	55,811,160	-	-	-	-
Elementos de Seguridad	200,000	98,333	396,755	135,413	821,632	723,398	732,078
Arriendo de Equipos Producción	-	-	2,315,320	4,327,762	3,487,200	5,104,750	5,806,700
Fletes (traslado materiales)	100,000	145,000	919,116	240,000	775,000	1,057,490	1,432,950
Total	12,012,960	18,728,001	88,108,224	38,756,343	41,131,250	43,893,056	42,795,896
Remuneraciones Personal Operativo							
Personal Varios	1,540,000	1,610,000	1,750,000	1,890,000	2,100,000	2,240,000	2,380,000
Personal Operativo	1,500,000	1,580,000	1,600,000	1,700,000	1,750,000	1,800,000	1,950,000
Total	3,040,000	3,190,000	3,350,000	3,590,000	3,850,000	4,040,000	4,330,000
Gasto Generales Administración							
Comunicaciones	40,000	284,057	456,870	345,670	192,393	189,069	188,320
Mantenimiento y Combustibles Camionetas	300,000	2,893,450	2,073,889	3,646,431	2,392,879	4,882,921	4,310,035
Servicios a Terceros	-	-	83,333	1,106,631	2,398,044	3,174,717	3,009,870
Artículos de Oficina	20,000	140,530	222,768	42,331	28,815	215,205	189,760
Gastos Generales	40,000	45,000	1,300,773	2,288,753	1,455,863	1,272,865	2,302,412
Total Gastos Generales Administración Huerto	400,000	3,363,037	4,137,633	7,429,816	6,467,994	9,734,777	10,000,397
Gasto de Energía	2,915,000	8,332,046	8,517,159	14,542,614	17,348,660	18,032,816	19,820,140
Total gastos incurridos	18,367,960	33,613,084	104,113,016	64,318,773	68,797,904	75,700,649	76,946,433
Total gastos incurridos por hectárea	\$ 102.044	\$ 186.739	\$ 578.405	\$ 357.326	\$ 382.210	\$ 420.559	\$ 427.480

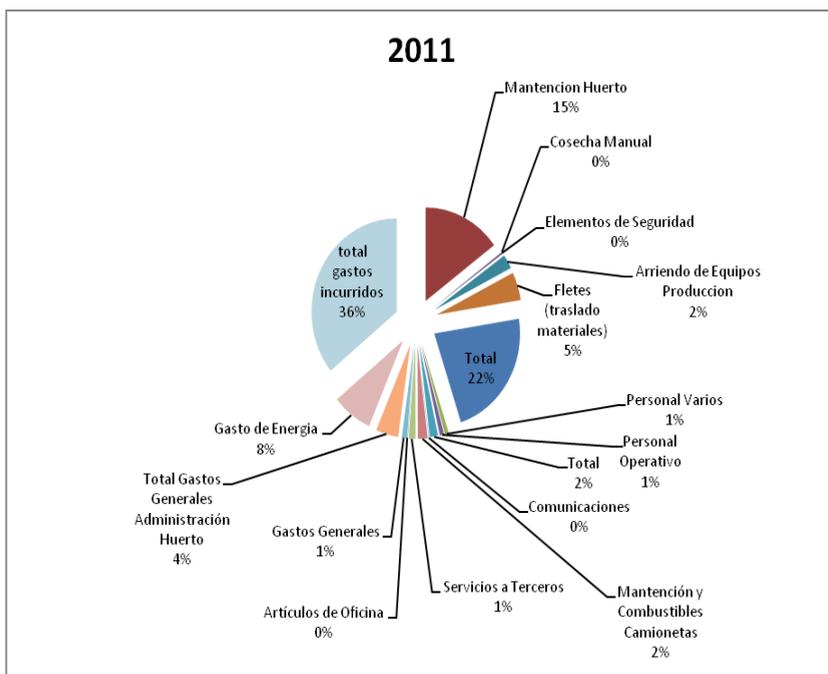


Figura 2. Esquema grafico de los costos asociados al manejo agronómico sin AP.

EVALUACIÓN ECONÓMICA

Situación Productiva Con AP:

Análisis de costos con tecnologías de Agricultura de Precisión.

Tabla N° 3. Resumen de los costos asociados a la inversión con AP.

<u>1. INGRESOS OPERACIONALES</u>	Año 0	Año1
Ingresos por Cosecha	-	-
<u>2. COSTOS OPERACIONALES</u>		
OPERACIONALES	-	17,248,001
REMUNERACION	-	2,572,000
ELECTRICIDAD	-	-
TOTAL COSTOS OPERACIONALES	-	19,820,001
<u>3. OTROS GASTOS DESEMBOLSABLES</u>		
GASTOS GENERALES ADMINISTRACION	-	2,929,020
TOTAL DESEMBOLSOS	-	22,749,021
<u>4. GASTOS NO DESEMBOLSABLES</u>		
DEPRECIACIONES	-	
tecnología AP		2,590,714
Planta Olivo	-	4,500,900
Maquinaria Agrícola	-	22,018,276
Camioneta	-	964,000
Sistema Riego	-	10,042,089
TOTAL GASTOS NO DESEMBOLSABLES	-	42,838,973
AMORTIZACION GASTOS PUESTA EN MARCHA		2,722,993
TOTAL GASTOS		68,310,987
RESULTADO ANTES DE IMPUESTO	-	- 68,310,987
IMPUESTO 17%	-	
RESULTADO DESPUES DE IMPUESTO	-	- 68,310,987
AMORTIZACION GASTOS PUESTA EN MARCHA		2,722,993
GASTOS NO DESEMBOLSABLES (DEPRECIACION)	-	42,838,973
GASTOS PUESTA EN MARCHA	16,337,960	
<u>5. INVERSION</u>		
INVERSION TERRENO Y HABILITACION	240,167,277	
INVERSION PLANTAS	225,045,000	
MANO OBRA PLANTACION	29,113,220	
RIEGO TECNIFICADO	100,420,893	
ESTRUCTURA DE FORMACION	80,139,240	
TECNOLOGIA AP	20,100,000	
INVERSION MAQUINARIAS	253,768,616	
TOTAL INVERSION	948,754,246	
FLUJO CAJA NETO	- 965,092,206	- 22,749,021
FLUJO CAJA NETO POR HECTAREA	-5,361,623.37	-126,383.45

EVALUACIÓN ECONÓMICA

Ahorros al utilizar la AP:

Para la evaluación de los costos asociados al manejo agronómico, se utilizaron las informaciones provenientes del estudio de aplicación de carga de agua, para la obtención de mayor rendimiento tanto en Kg/árbol, como también Litros de aceites/árbol. Además de ello se utilizó las informaciones provenientes de la aplicación de plaguicidas, y mapas de rendimiento.

Los resultados provenientes de las cargas de agua, dilucidó que el óptimo para obtener mayor rendimiento y calidad fue de goteros de 4 lts/hr., además de ello se utilizaron los mapas de rendimiento para la obtención espacial de estas, por cuarteles de riego.

En la Figura 3 y Figura 4 se observan los resultados provenientes de los ensayos de riego, y además el rendimiento espacial asociado a las horas de riego.

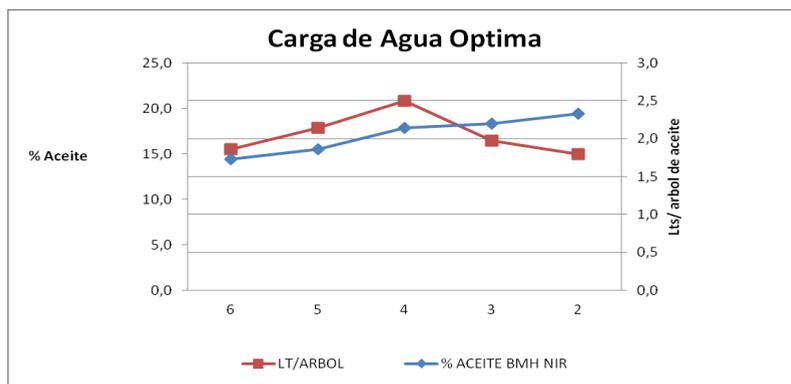


Figura 3: Litros de agua aplicados comparados con % de aceite.

Evaluación temporal de rendimiento:

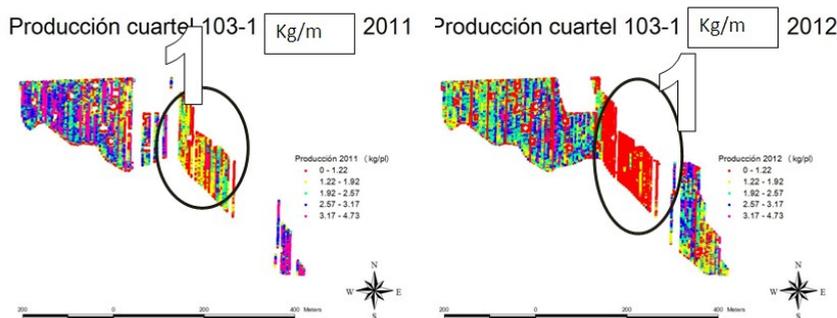


Figura 4. Rendimiento espacial entre temporadas.

Plano de rendimiento expresa la variación espacial del rendimiento en toda su superficie, en el cual se encuentran 3 zonas claramente definidas que son la central (numero 1) y zonas externas cuyo comportamiento es desigual con respecto a un año al otro. Este comportamiento se debe a múltiples factores, ya sea natural como agronómico. Observándola desde el punto de vista del uso del agua de riego, las diferencias de la cantidad de agua son desiguales una de la otra, que se observa en la Figura 5 y Figura 6.

EVALUACIÓN ECONÓMICA

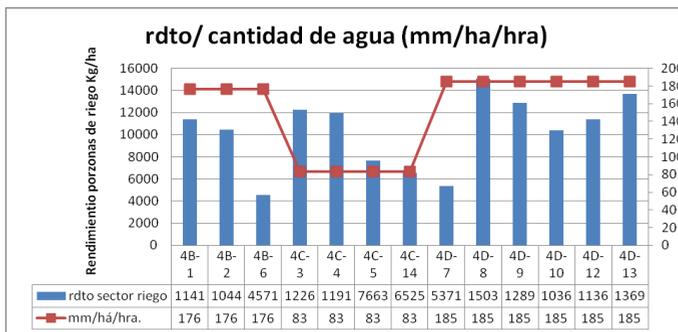


Figura. 5 Resultado de rendimiento espacial, y cantidad de agua aplicada durante la temporada por sector de riego

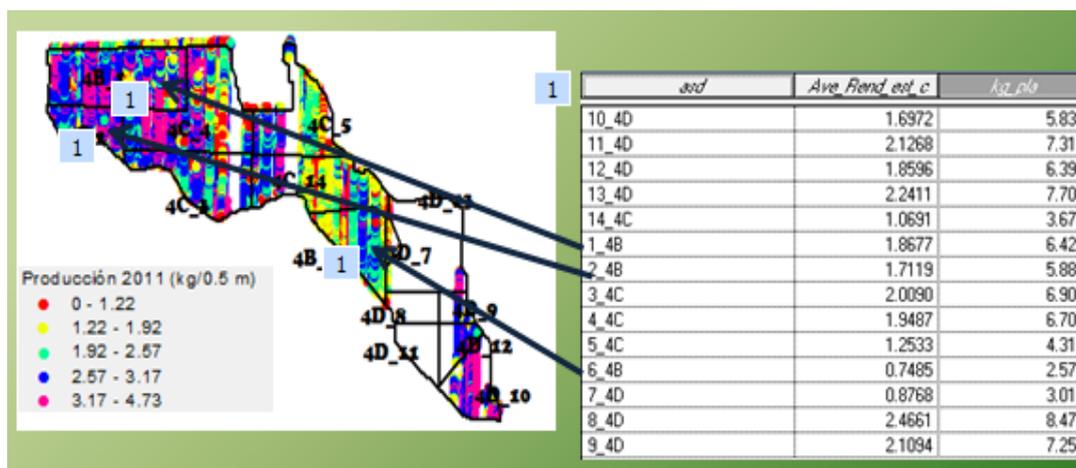


Figura 6: Distribución del rendimiento espacial por cuartel de riego.

Las figuras 5 y 6 expresan claramente las diferencias de rendimiento espacial, que coincide en cada cuartel de riego, a mayor carga de agua la expresión del rendimiento se manifiesta notablemente. La importancia de este tipo de información es entregar una herramienta de decisión para optimizar los recursos y distribuirlos en las zonas de mayor potencial, ya que como se expresa en la figura 4, la zona 1 indica una estabilidad en el comportamiento temporal y espacial. Desde el punto de vista económico, esta zona (1) potencialmente es más bajo que las otras, por lo que inversiones mayores no se justificarían, lo cual las inversiones irán dirigidas a zonas donde se manifiesten el impacto del aumento de los recursos. En base a información básica del manejo del predio e inversión con herramientas de Agricultura de Precisión, se demuestra a continuación el impacto económico hacia la industria Olivícola.

Tabla 6. Ejemplo Análisis químico de frutos para determinación de Aceites.

	Costo total	Costo Anual
Adquisición NIR	\$ 10.710.100	\$ 7.143/ha , depreciado a 7 años
Análisis Lab.	\$ 21.000	\$21.000*200 muestras= 4.200.000

EVALUACIÓN ECONÓMICA

En la temporada se realizaron 200 muestras, en las cuales se permitió calibrar el equipo, como también mapear todo el campo, que se complementa con la evolución temporal del aceite durante la etapa de desarrollo del fruto.

Además de ello este equipo le ha otorgado un valor adicional al trabajo mencionado, ya que con ello se pudieron realizar análisis de la fruta de otras empresas, con beneficio económico a ella.

En base a estos ejemplos se realizó el estudio de costos asociado al proyecto, en algunos ítems, se les otorgaron un 30% de eficiencia, por lo que se disminuyó cerca del mismo 30% a los valores totales contemplados por el ahorro de los insumos agrícolas.

Control de Plagas:

El uso de los planos de NDVI, permitió un monitoreo localizado de las zonas que según la información aportada por éste plano, en la cual se cuantifico el nivel de incidencia y la dimensión (aéreas de ataque) de las plagas. Para este caso se monitorearon los ataques de mosquita blanca y repilo, cuyos resultados arrojaron que sólo ciertas aéreas del predio fueron atacadas, lo que permitió una aplicación localizada y dirigida de las zonas de incidencia, así se pudo optimizar los recursos de agroquímicos para el control de estas plagas.

En la figura 7 y tabla 7, se explica el nivel de ataque y los resultados de optimización de la aplicación de los agroquímicos.



Figura 7: Distribución espacial de la cantidad de Repilo (*Spillocaea oleagina*) presente en el predio.

PRODUCTO	PRECIO	DOSIS	FECHA DE	CUARTEL	HA	HA	Costo
		/HA	APLICACIÓN		CUARTEL	APLICADAS	Aplicación
							US\$
Hurrigane	US\$220/kg grs	250	20/10/2011	101-8	9.97	5.59	307.45
			5/11/2011	101-6	7.5	2.77	152.35
			2/11/2011	108-1	1.75	1.75	96.25
			2/11/2011	108-2	0.82	0.82	45.1
			3/11/2011	108-3	3.83	3.83	210.65
			3/11/2011	108-4	1.99	1.99	109.45
Total					25.86	16.75	US\$ 921.25

Tabla 7: Costos de aplicación de Agroquímicos, para el control del repilo.

EVALUACIÓN ECONÓMICA

Tabla Nº 8. Resumen de los costos asociados al manejo agronómico con AP.

GASTOS OPERACIONALES	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Mantenimiento Huerto	10,272,960	17,004,668	25,879,192	30,672,307	32,662,242	33,532,242	33,782,479
Cosecha Manual	-	-	56,648,327	-	-	-	-
Elementos de Seguridad	200,000	98,333	396,755	135,413	821,632	723,398	732,078
Arriendo de Equipos Producción	-	-	2,315,320	4,327,762	3,487,200	5,104,750	5,806,700
Fletes (traslado materiales)	100,000	145,000	919,116	240,000	775,000	1,057,490	1,432,950
Total	10,572,960	17,248,001	86,158,711	35,375,482	37,746,074	40,417,880	41,754,207
Remuneraciones Personal Operativo							
Personal Varios	1,100,000	1,150,000	1,000,000	1,080,000	1,200,000	1,280,000	1,360,000
Personal Operativo	1,350,000	1,422,000	1,440,000	1,530,000	1,575,000	1,620,000	1,755,000
Total	2,450,000	2,572,000	2,440,000	2,610,000	2,775,000	2,900,000	3,115,000
Gasto Generales Administración							
Comunicaciones	40,000	284,057	456,870	345,670	192,393	189,069	188,320
Mantenimiento y Combustibles Camionetas	300,000	2,459,433	1,762,806	3,099,466	2,033,947	4,150,483	3,663,530
Servicios a Terceros	-	-	83,333	995,968	1,918,435	2,222,302	2,106,909
Artículos de Oficina	20,000	140,530	222,768	42,331	28,815	215,205	189,760
Gastos Generales	40,000	45,000	1,300,773	1,288,753	1,455,863	1,272,865	1,302,412
Total Gastos Generales Administración Huerto	400,000	2,929,020	3,826,550	5,772,188	5,629,453	8,049,924	7,450,931
Gasto de Energía	2,915,000	8,332,046	8,517,159	14,542,614	17,348,660	18,032,816	19,820,140
total gastos incurridos	16,337,960	31,081,067	100,942,419	58,300,285	63,499,188	69,400,619	72,140,278
total gastos incurridos por hectáreas	90.766	172.672	560.791	323.890	352.773	385.558	400.779

Cálculos de Indicadores de Rentabilidad. Con AP y sin AP

Tabla 9.- Cálculos de Indicadores de Rentabilidad Sin AP.

FLUJO CAJA NETO	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6
FLUJO CAJA NETO POR HECTAREA	-5.264.065	-140.450	627.272	1.477.420	1.848.010	2.041.381	3.320.386

Tasa 13%

Van: 28.475.187

TIR: 13%

PBP: Periodo de Recuperación de la Inversión: 6 años

Índice Rentabilidad: 1.03

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6
FLUJO CAJA NETO							
FLUJO CAJA NETO POR HECTAREA	-5.361.623.	-126.383	659.103	1.548.623	1.976.452	2.219.533	3.601.935

Tabla 10- Cálculos de Indicadores de Rentabilidad con AP.

Tasa: 12%

Van: 79.327.489

TIR 14%

Índice Rentabilidad: 13,16

EVALUACIÓN ECONÓMICA

Conclusiones:

El objetivo de este estudio fue determinar la conveniencia económica - financiera de la adopción de agricultura de precisión y la dosificación que es más conveniente en los cuarteles trabajados en el cual se cumplieron las hipótesis planteadas, siendo el estudio de manejo hídrico y aplicación de variable de plaguicidas entre otras pudiendo optimizar en parte los costos hacia la empresa.

La tecnología implementada es difícil de cuantificar económicamente en comparación con la agricultura tradicional, ya que la agricultura de precisión es una herramienta de optimización de paquetes tecnológicos complejos que pueden evaluarse tanto por separados como juntos.

Es indispensable entender las complejas relaciones entre las variables que afectan el rendimiento del cultivo para poder desarrollar un método objetivo de diferenciación de zonas de rendimiento homogéneas, ya que una tecnología por sí sola no es aplicable a la complejidad de la problemáticas agronómicas, por tal motivo es necesario la implementación paulatina en conjunto con capacitación efectivas del personal técnico para que todo el proceso sea desarrollado en forma eficaz hacia el cumplimiento de los objetivos, optimizando los recursos en vías de mejorar la calidad del producto.

NOTAS

