



Resultados y Lecciones en Agricultura de Precisión en Frutales

Proyecto de Innovación en
**Regiones de O'Higgins
y del Maule**



Fundación para la Innovación Agraria
MINISTERIO DE AGRICULTURA



Resultados y Lecciones en Agricultura de Precisión en Frutales



**Proyecto de Innovación en
Regiones de O'Higgins y del Maule**

Valorización a junio de 2010



SERIE EXPERIENCIAS DE INNOVACIÓN PARA EL EMPRENDIMIENTO AGRARIO

Agradecimientos

En la realización de este trabajo, agradecemos sinceramente la colaboración de los productores, técnicos y profesionales vinculados al proyecto, al Instituto de Investigaciones Agropecuarias y su Centro Regional Quilamapu, a los productores y profesionales participantes en los Talleres de Validación, y en especial a Stanley Best, investigador de INIA Quilamapu, por su valioso aporte en el análisis de esta experiencia, y al profesional FIA encargado del proyecto.

Resultados y Lecciones en Agricultura de Precisión en Frutales

Proyecto de Innovación en las Regiones de O'Higgins y del Maule

Serie **Experiencias de Innovación para el Emprendimiento Agrario**
FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA

Registro de Propiedad Intelectual N° 212.745

ISBN N° 978-956-328-122-4

ELABORACIÓN TÉCNICA DEL DOCUMENTO

Rodrigo Cruzat G. y Constanza Bellolio J. - AQUAVITA Consultores

REVISIÓN DEL DOCUMENTO Y APORTES TÉCNICOS

M. Francisca Fresno R. y M. Margarita Casadio P. - Fundación para la Innovación Agraria (FIA)

EDICIÓN DE TEXTOS

Andrea Villena Moya

DISEÑO GRÁFICO

Guillermo Feuerhake

Se autoriza la reproducción parcial de la información aquí contenida, siempre y cuando se cite esta publicación como fuente.

Contenidos

| | |
|---|----|
| Sección 1. Resultados y lecciones aprendidas | 5 |
| 1. Antecedentes | 5 |
| 2. Base conceptual y tecnológica de la herramienta..... | 7 |
| 3. Objetivo del documento | 14 |
| 4. Perspectivas y Antecedentes productivos y de mercado de la Industria Frutícola en Chile: El caso de Manzanos y Durazneros | 15 |
| 5. Alcances y Desafíos de la herramienta | 19 |
| 6. Claves de viabilidad de la innovación | 25 |
| 7. Asuntos por resolver..... | 26 |
| 8. Situación actual..... | 27 |

| | |
|---|----|
| Sección 2. El proyecto precursor | 29 |
| 1. El entorno económico y social | 29 |
| 2. El proyecto | 30 |
| 3. Los productores del proyecto hoy | 50 |

| | |
|---|----|
| Sección 3. El valor del proyecto | 51 |
|---|----|

| | |
|--|----|
| ANEXOS | |
| 1. Cuadros económicos..... | 54 |
| 2. Literatura consultada..... | 59 |
| 3. Documentación disponible y contactos..... | 60 |



SECCIÓN 1

Resultados y lecciones aprendidas

El presente libro tiene el propósito de compartir con los actores del sector los resultados, experiencias y lecciones aprendidas del proyecto denominado “Desarrollo de una metodología nueva para manejo sectorizado de huertos de manzanas y duraznos, usando imágenes multiespectrales en tiempo real”, financiado por la Fundación para la Innovación Agraria, FIA.

Se espera que esta información, que se ha sistematizado en este “Documento de Aprendizaje”,¹ aporte a los interesados elementos que le permitan adoptar decisiones productivas y potencialmente desarrollar iniciativas relacionadas con este tema.

► 1. Antecedentes

Los análisis y resultados que se presentan en este documento se desprenden de las experiencias y resultados del proyecto precursor² “Desarrollo de una metodología nueva para manejo sectorizado de huertos de manzanas y duraznos, usando imágenes multiespectrales en tiempo real”, ejecutado entre noviembre de 2003 y noviembre del 2007 por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA, a través de su Centro Regional de Investigación Quilamapu en la VIII región.



El ejecutor desarrolló este proyecto en asociación con las universidades de Concepción y la de Talca, a través de sus facultades de agronomía. Además participaron las empresas que se asociaron: SIMAQ y Sociedad Agrícola San Manuel Ltda., en la VII región; Agro-Precisión Ltda. en la VIII región y Hacienda Rosa Sofrucu S.A. en la VI región. El proyecto se realizó en las comunas de Peumo, VI región y de Curicó en la VII región.

¹ “Documento de aprendizaje”: análisis de los resultados de iniciativas y proyectos con bajo potencial de aplicación inmediata por otros usuarios, pero con resultados valiosos y orientadores. Este documento consigna las oportunidades y los desafíos pendientes por abordar, y/o las limitantes que quedan por superar en las opciones analizadas derivadas de los resultados, experiencias y aprendizajes generados en las iniciativas que le dieron origen.

² “Proyecto precursor”: proyecto de innovación a escala piloto financiado e impulsado por FIA, cuyos resultados fueron evaluados a través de la metodología de valorización de resultados desarrollada por la Fundación, análisis que permite configurar el plan de negocios aprendido que se da a conocer en el presente documento. Los antecedentes del proyecto precursor se detallan en la Sección 2.

El objetivo principal fue el desarrollo de una metodología para manejo sectorizado de huertos de manzano y duraznos utilizando imágenes multiespectrales e información digitalizada.

Los objetivos específicos del proyecto precursor fueron los siguientes:

1. Integrar las bases de datos tabulares históricas de la empresa³ a un Sistema de Información Geográfica (SIG).
2. Determinar el momento más adecuado en el cual se debieran adquirir las imágenes multiespectrales, con el fin de diferenciar calidades y rendimientos, en huertos de manzanos y durazneros.
3. Obtener el índice vegetacional⁴ que correlacione mejor y que permita explicar las variaciones espaciales del volumen foliar, actividad de clorofila, estatus hídrico, condición de fertilidad de suelos con respecto a la sintomatología evidenciada en el árbol de manzano y duraznero, para agrupar los sectores de igual condición.
4. Optimizar el manejo con respecto a los factores de crecimiento individual por sectores homogéneos que permitan obtener el mejor equilibrio de carga frutal potencial y generar un mayor porcentaje de fruta de exportación.
5. Ajustar el manejo de aplicaciones de agroquímicos por volumen foliar, permitiendo una reducción de las aplicaciones y mejorar el cumplimiento de regulaciones internacionales altamente exigentes en este punto.



NAJINA MCENAMY

³ Se refiere a las empresas propietarias de las unidades productivas asociadas al proyecto.

⁴ Los conceptos y nomenclaturas de las técnicas de agricultura de precisión se explican más adelante en el documento.

6. Desarrollo de una aplicación (software) que permita integrar la información geográfica y de cultivo para mejorar el manejo predial, lo que favorece identificar en mejor forma la trazabilidad de la producción.
7. Desarrollo de un programa de divulgación y capacitación de las nuevas metodologías introducidas al sector frutícola, mediante seminarios, boletines, días de campo y capacitación en el uso de la aplicación informática especialmente desarrollada para este proyecto.

El proyecto avanza en el desarrollo de nuevas herramientas tecnológicas para el sector frutícola, en este caso particular, para manzanos y durazneros. El proyecto da lugar a una herramienta tecnológica basada en el uso de imágenes multispectrales, las que tomadas en tiempo real permiten identificar y magnificar las diferencias en los huertos y asociar estas diferencias a las causales en terreno. Gracias a esta herramienta se pueden hacer cambios oportunos y precisos en la gestión o manejo del huerto.

El contar con esta información sectorizada dentro del huerto facilita la toma de decisiones para corregir o disminuir la variabilidad, obtener registros temporales y lograr gestionar el huerto de forma integrada en un sistema digital. Las potencialidades de esta metodología se traducen en la posibilidad de gestionar el manejo del huerto por medio de la zonificación natural existente y establecer un procedimiento ordenado en la cosecha por madurez, aplicación de agroquímicos y riegos, entre otras labores culturales. Esto permite aplicaciones más precisas y evita la pérdida o contaminación por efecto de malas prácticas. Por otra parte, el contar con información digitalizada sobre las distintas variables y labores realizadas en toda la temporada de producción facilita el cumplimiento a las crecientes exigencias internacionales de trazabilidad. Esta tecnología también debe ser entendida en cultivos de grandes extensiones, en donde disponer de información detallada, precisa y en corto tiempo facilita enormemente la gestión de los predios.

Los avances que se rescatan del proyecto precursor permiten indicar que esta herramienta tecnológica se encuentra en su fase de adaptación y presenta aún importantes asuntos por resolver, en particular referidos a la validación temporal de las correlaciones entre las variables medidas de manera remota y las variables reales medidas a nivel de huerto, tal como se desarrolla en este registro. Por lo mismo, en el presente documento esta tecnología se presenta como una herramienta en proceso de aprendizaje.

► 2. Base conceptual y tecnológica de la herramienta

La Agricultura de Precisión

La herramienta desarrollada, que también se conoce como “Tecnología de Monitoreo Georreferenciado”, se basa en la captura remota de información y su validación con parámetros de huerto, para caracterizar las condiciones del predio y del cultivo. Estos parámetros pueden estar referidos a condiciones hídricas del suelo o de las plantas, fertilidad, desarrollo vegetativo, características fisicoquímicas del suelo. Al identificarse diferencias a nivel de sectores y/o subsectores del predio, es posible diseñar un plan de manejo específico para cada uno de ellos, de acuerdo a sus necesidades y/o potencial productivo.

Esta tecnología se inserta dentro de un concepto mucho más amplio conocido como Agricultura de Precisión (AP), que ha sido identificada como “un conjunto de actividades que incluyen la recolección de información que permite tomar decisiones económicas y ambientalmente apropiadas para la producción de cultivos”.

El término Agricultura de Precisión (AP), también llamada “Tecnología de Dosis Variable (TDV)” o “Manejo Sitio Específico (MSE)” consiste en optimizar los niveles productivos de una explotación agrícola y, al mismo tiempo, minimizar el costo, a través del uso de tecnologías que permitan hacer manejos precisos a nivel de campo, considerando la variabilidad del huerto. Por lo tanto, radica en aplicar productos o manejos diferenciados en el huerto con requerimientos específicos y atendiendo a su capacidad productiva. Este tipo de agricultura además permite reducir aplicaciones innecesarias o ejecutadas en zonas no deseadas, con una consecuente reducción del impacto negativo en el medio ambiente.

Para entender y aplicar la agricultura de precisión, es necesario definir dos conceptos básicos:

- **Variabilidad espacial:** expresa las diferencias de producción en un mismo campo, en una misma campaña y cosecha.
- **Variabilidad temporal:** expresa los cambios de producción en un mismo campo, en distintas campañas de cosecha.

Las características del suelo y del cultivo varían en el espacio (distancia y profundidad) y en el tiempo. La agricultura de precisión está orientada a optimizar el uso de los insumos agrícolas (semillas, agroquímicos y correctivos) en función de la cuantificación de la variabilidad espacial y temporal de la producción agrícola.

Esta optimización de los insumos se lleva a cabo a través de la TDV, herramienta que, dependiendo del potencial y necesidad de cada punto de área de manejo, distribuye la cantidad correcta de esos insumos. Esta tecnología es la que permite implementar en el campo el MSE, que faculta el poder manejar cada lote en forma independiente y de acuerdo a sus necesidades, ya que distingue e identifica variables dentro del lote principal.

A diferencia de la agricultura tradicional, esta modalidad de producción se aleja en lo posible de los manejos fijos o uniformes y tiende a la aplicación de prácticas agronómicas –siembra, fertilización, aplicación de agroquímicos, cosecha– de forma variable, en función del análisis de la información recolectada. La agricultura de precisión no consiste solamente en medir la variabilidad existente en el área, sino también en la adopción de prácticas de manejo que se realizan en función de esa variabilidad.

La observación de la existencia de variabilidad en las propiedades o factores determinantes de la producción en los agroecosistemas no es una novedad, lo que es diferente, en realidad, es la posibilidad de identificar, cuantificar y mapear esa variabilidad. Más aún, es posible georreferenciar y aplicar los insumos con dosis variables en puntos o áreas de coordenadas geográficas conocidas. Todo eso se basa en el estudio de variabilidad del suelo y de la planta, con el fin de establecer tendencias de rendimiento dentro de una misma área y también, a lo largo del tiempo, con las variaciones climáticas y modificaciones del suelo. (Robert 1999, citado por Best, S.)

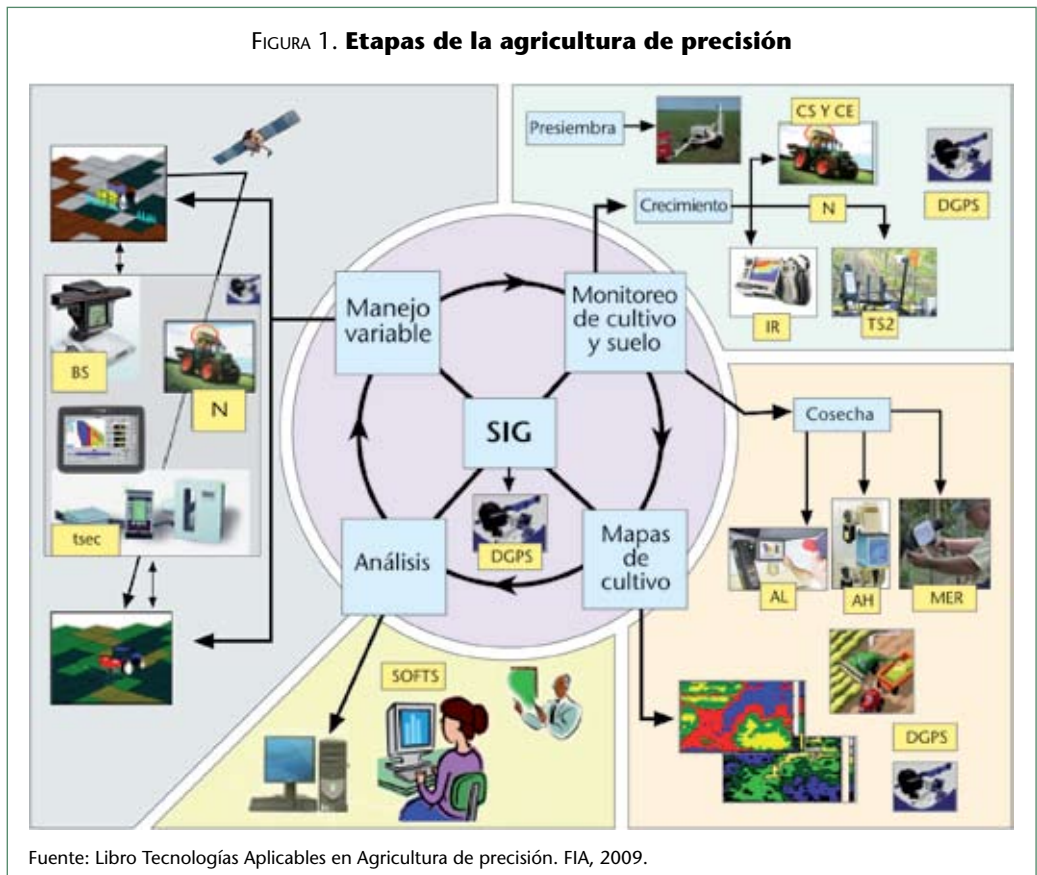
Cuando el rendimiento y/o la fertilidad de un potrero o huerto no varían, es probable que el incentivo para adoptar las técnicas de agricultura de precisión sea muy escaso desde el punto de vista de la optimización de la producción, no así desde el punto de vista de la gestión de la empresa agropecuaria. Sin embargo, si se detecta una elevada variación de productividad, la adopción de esas técnicas puede ser beneficiosa, pues reduce las distorsiones comprobadas normalmente en el área de producción.

Así, la adopción de la agricultura de precisión, posee el potencial para la racionalización del sistema de producción agrícola moderno como consecuencia de: (a) Optimización de la cantidad

de agroquímicos aplicados en los suelos y cultivos; (b) Consecuente reducción de los costos de producción y de la contaminación ambiental; y (c) Mejora de la calidad de las cosechas.

La agricultura de precisión suele dividirse en tres etapas:

- Etapa 1: Recolección de datos (monitoreo de cultivo y suelo, mapas de producción);
- Etapa 2: Procesamiento e interpretación de la información (análisis),
- Etapa 3: Aplicación de insumos o Prácticas de Corrección (manejo variable).



La AP se apoya en el uso de tecnologías e instrumentos de alta precisión, cuyo uso depende de las variables que se quieran medir. A su vez, estas tecnologías deben ser ajustadas a las condiciones locales en que se emplean y están en constante renovación. El sólo uso de la tecnología no tiene ningún efecto si no es debidamente correlacionada e interpretada con los datos de terreno y aún menos, si no es acompañada de acciones concretas que mejoren la gestión del predio. Por esta razón, la AP debe ser entendida como un proceso integrador, desde la recolección de información, el procesamiento de la misma, el diagnóstico, la solución del problema y la evaluación de sus resultados.

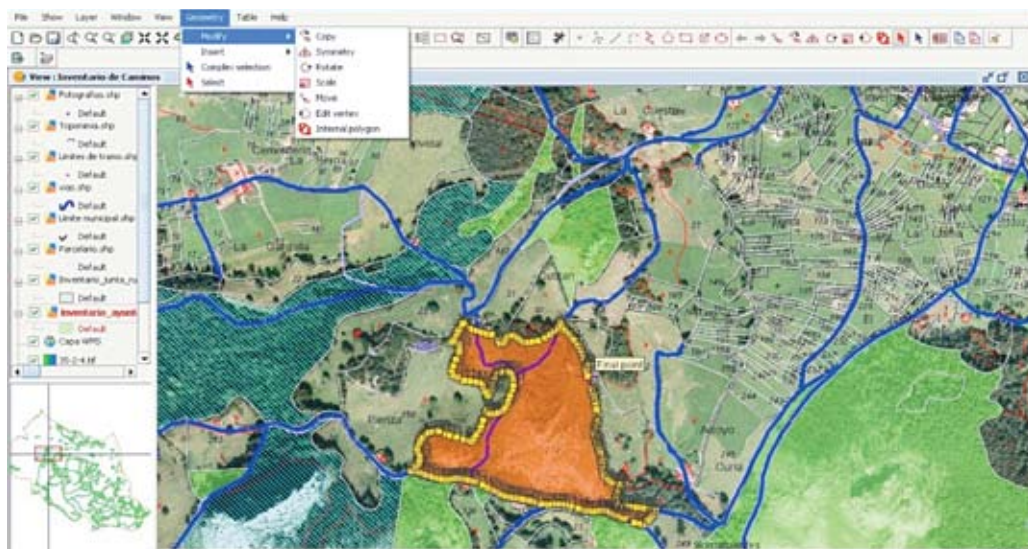
Tecnologías Asociadas a la Agricultura de Precisión

Dentro de las tecnologías concretas disponibles hoy para la aplicación de AP en la producción de frutales, que se relacionaron con el proyecto precursor, se pueden describir las siguientes:

Sistema de información geográfica, SIG

Los SIG son una herramienta con base computacional (hardware y software) más el análisis profesional correspondiente en la interpretación de los datos cargados. Esta herramienta permite modelar la realidad en un computador, para luego tomar las decisiones de manejo correspondientes. Permite el manejo de datos con una referencia espacial o denominada en el lenguaje específico “georreferencia”. Estos sistemas operan mediante modelos, los cuales permiten relacionar diferentes variables espaciales, además de representarlas geográficamente. Una de las aplicaciones más importantes que tienen los SIG es la creación de grandes bases de datos georreferenciadas. Esto permite, entre otras funciones, identificar geográficamente un atributo temático en particular de alguna focalización en específico.

Existe una variada gama de trabajos de gestión y planificación predial que se pueden hacer con los SIG. Entre ellos cabe destacar la confección de cartas temáticas prediales, como por ejemplo la capacidad de uso del suelo, problemas de drenaje, asociaciones vegetales, mapeo de rendimiento por cultivo y por potrero, mapas de vigor, etc... Además de la construcción de bases de datos asociadas a labores prediales, planificar y cuantificar la aplicación de fertilizantes, pesticidas y agroquímicos, en general, de una manera racional y económica, evitando pérdidas de dinero y reduciendo los niveles de contaminación, entre otros. El análisis por superposición de éstas, así como los algoritmos matemáticos desplegados por software especializados, nos permite resolver diversos problemas en forma ágil y eficiente.



Sistema de posicionamiento global - GPS

El Sistema de Posicionamiento Global conocido por sus siglas en inglés GPS,⁵ está diseñado para que un observador pueda determinar cuál es su posición en la Tierra, con una cobertura sobre

⁵ GPS: *Global Positioning System*, sistema de radionavegación satelital operado por el Departamento de Defensa de Estados Unidos. El uso del sistema es gratuito, sólo es necesario contar con un receptor GPS.

todo el planeta, gracias a la constelación de satélites NAVSTAR (Navegación por Satélite en Tiempo y Distancia). Esto se hace a través del método de triangulación, que se basa en la señal que envían las estaciones computacionales terrestres a los satélites, para luego conocer la posición de estos en un momento dado, midiendo la distancia de ellos hacia el usuario de GPS a través del tiempo que demora en llegar la señal.

Hoy existe un total de 24 satélites ubicados en seis planos orbitales, que tienen una inclinación de 55° con respecto al Ecuador. Los satélites se encuentran a una distancia aproximada de 20.200 km de la Tierra y describen una órbita elíptica, casi circular, de doce horas de duración (Figura 2).

Con esta configuración se garantiza que en cualquier lugar de la Tierra habrá al menos cuatro satélites sobre el horizonte en todo momento, número mínimo requerido para obtener una posición mediante un receptor GPS.

Para utilizar los satélites como puntos de referencia necesitamos saber, exactamente, dónde están en el momento en que se realiza la medición. Es por esto que se requieren mínimo cuatro esferas descritas o satélites ubicados para obtener con precisión el punto de la señal GPS y los receptores GPS tienen en su memoria un almanaque que les permite saber dónde está cada satélite en un momento determinado.

Percepción remota

Proviene del inglés *Remote Sensing*, ideado a principios de los sesenta como concepto para designar cualquier medio o instrumento que capte información a distancia.

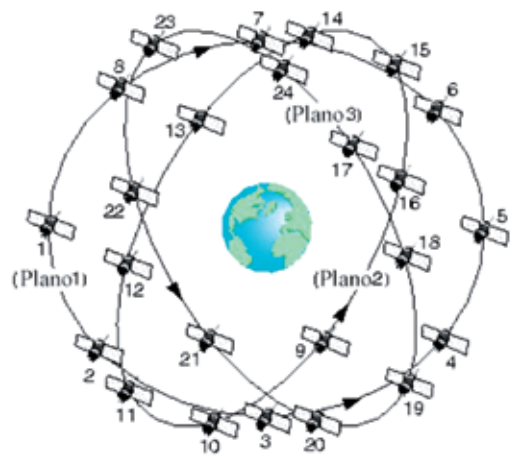
Hoy en día el término es un concepto amplio y está asociado a la detección de una superficie, objeto o parámetro sin estar en contacto físico con ello, acción similar a la que realiza el ojo humano: este recibe un haz lumínico de los objetos por reflejo de la luz solar o artificial. Dentro de las herramientas de percepción remota se encuentran, por ejemplo, la rastra para medir conductividad eléctrica y las imágenes aéreas o satelitales de la superficie terrestre. Éstas son tomadas desde aviones o sensores instalados sobre plataformas espaciales. Con ellas se realiza posteriormente una configuración con un software especial para determinar rangos y así poder ser analizadas según los parámetros requeridos por los usuarios finales.

Las imágenes obtenidas, se pueden dirigir a diversos usos como: el estudio de los recursos naturales, medir la biomasa vegetal y el vigor de una plantación, reconocer y discriminar áreas con cubiertas vegetales de distintas especies o incluso cada planta individualmente, etc.

Los materiales que utiliza este ámbito de la percepción remota, son en base a videografías, fotografías aéreas multispectrales e imágenes satelitales, cuya función es ubicar y determinar las diferencias de vigor presentes en el huerto.

A continuación se dará una breve reseña de la herramienta tecnológica y de la problemática de resolución de imagen, para luego definir variables de importancia de la misma.

Figura 2. **Esquema de la constelación NAVSTAR**



Fuente: Proyecto Precursor.

A. Imágenes multiespectrales

Para la obtención de las imágenes multiespectrales, se utilizan cámaras aéreas de tipo multiespectrales. Estas poseen sensores pasivos que, a medida que avanzan según la línea de vuelo, “barren” la superficie terrestre captando la energía del sol reflejada por ésta en distintas longitudes de ondas. Éstas son agrupadas en distintos rangos a los que se les conoce como “bandas espectrales”. Los sensores, al codificar esta información para cada banda, generan verdaderas matrices digitales de píxeles -elementos pictóricos (del inglés, *picture element*)- que, en su conjunto, constituyen una imagen denominada “*raster*”, como aquella de Google Earth. Estos píxeles están íntimamente relacionados entre sí y cada uno de ellos posee un valor numérico propio que es interpretado por los sistemas computacionales especialistas como una mayor o menor respuesta en una longitud de onda determinada, de acuerdo a las características que presenta cada cuerpo en la superficie terrestre. El sensor multiespectral utilizado por estas cámaras es de tipo pasivo de barrido, denominado TM (Mapeador Temático), con una captura de datos en varias bandas del espectro electromagnético.

B. Resolución

La resolución para un sensor en particular puede ser descrita en cuatro formas distintas: espacial, temporal, radiométrica y espectral. La resolución espacial se refiere al tamaño del objeto más pequeño que puede ser distinguido en una imagen producida por un sensor remoto. La respuesta espectral, a la habilidad de un sistema de percepción de responder a una medida de radiación dentro de una banda espectral en particular. 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. Dentro de la banda entre los 0.45 y 0.90 μm se hallan el azul, el verde,

Adquisición y proceso de una imagen aérea multiespectral. Cámara en la base del avión (A); Sistema de guía de vuelo con DGPS (B); Avión utilizado (C) y Laboratorio de proceso de la información adquirida (D).



Fuente: Agricultura de precisión en viñedos. FIA, 2008.

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.

Es necesario destacar las longitudes de ondas del espectro electromagnético relevantes en la percepción remota. Estas son las siguientes: Espectro visible (0.4 a 0.7 μm); infrarrojo cercano (IR, 0.7 a 1.3 μm); Infrarrojo medio (1.3 a 8 μm); Infrarrojo lejano o térmico (IRT, 8 a 14 μm); Microondas (M, por encima de 1 mm).

La frecuencia de cobertura (a veces llamada resolución temporal), es una medida de cuán seguido está disponible un sistema de percepción remota para recoger información de un punto específico en la tierra.

C. Correcciones de las imágenes multispectrales

Las correcciones son aquellos procesos que tienden a eliminar las anomalías detectadas en la imagen, ya sea en su localización o en el valor del número digital (ND), con el objeto de disponer de los datos en la forma más cercana al valor real existente.

Cualquier imagen aérea multispectral presenta una serie de alteraciones tanto radiométricas como geométricas, debidas a las distorsiones dadas por la atmósfera, ángulo solar y las propias generadas por la plataforma aérea (alabeo, cabeceo y giro lateral).

Las imágenes multispectrales son corregidas radiométricamente, georreferenciadas y mosaiqueadas mediante software especializados de percepción remota. La corrección geométrica consiste básicamente en verificar la georreferencia espacial de la información a utilizar.

Las correcciones radiométricas requieren de un mayor ajuste que las geométricas, ya que las condiciones atmosféricas son muy variables de una fecha a otra, e inclusive dentro de cada imagen dependiendo de la topografía del terreno y coberturas aledañas.

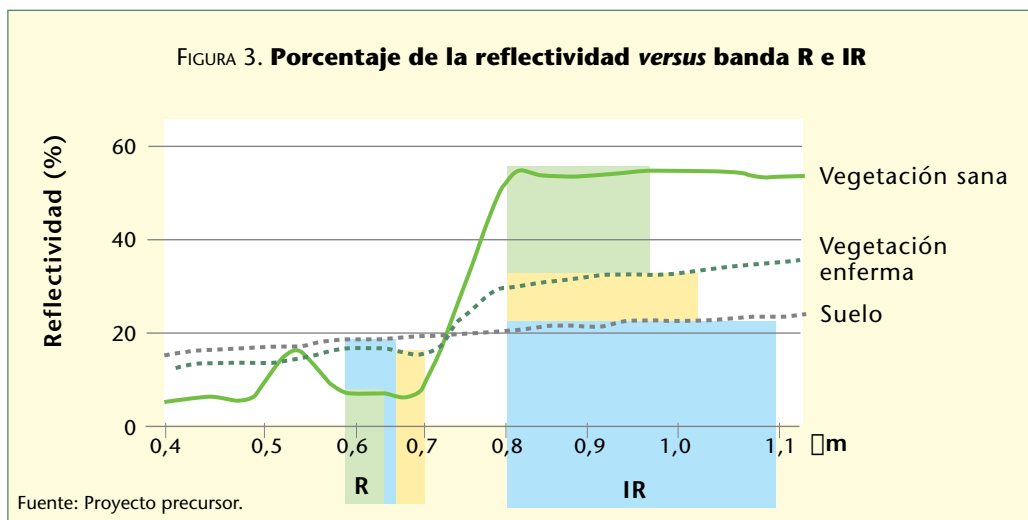
Las imágenes luego de ser corregidas, son procesadas mediante software de análisis especial, donde son clasificadas en distintos niveles de vigor, mapas que representan el estado de desarrollo y estrés de tipo nutricional, hídrico, plagas o enfermedades, pudiendo ser una o todas las que inciden en las diferentes zonas generadas.

Las imágenes multispectrales obtenidas registran la refracción radiométrica del huerto frutal, refracción que se separa en bandas espectrales desde las cuales se pueden obtener imágenes. Esto permite disponer de un mapa de vigor, mediante uso de índices vegetacionales o en este caso el Índice de Vegetación Diferencial Normalizado o NDVI.

D. Determinación del índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI)

Los índices vegetacionales se obtienen por medio de la división entre bandas espectrales. Uno de estos índices es el NDVI, el cual se asocia al vigor de los árboles, permitiéndonos obtener un indicador que diferencia las expresiones de vigor de los frutales, área foliar y sanidad vegetal, entre otros factores que evidencian la variabilidad de vigor, donde se puede incluir cualquier factor que esté afectando y diferenciando el crecimiento vegetativo. Este modelo logra diferenciar las conductas espectrales entre la vegetación vigorosa, de bajo vigor, muerta y suelo desnudo, realizando un cociente entre la diferencia de las bandas R – IR y la sumatoria de ambas.

Los cálculos para cada píxel de las imágenes siempre producen un valor que va de menos uno (-1) a más uno (+1), donde las áreas de vegetación darán generalmente los valores positivos. El agua, las nubes, y la nieve corresponden a los valores negativos del índice; y, las áreas pedregosas y suelo desnudo tienen valores cercanos a cero, significando que no hay presencia de vegetación. Valores cercanos a +1 (0.8 – 0.9) indican normalmente una alta densidad de hojas.



Cuanto mayor sea el resultado obtenido, tanto mayor será el vigor vegetal presente en la zona observada. Para ratificar los resultados de nuestra imagen de NDVI podríamos visitar el área y verificar en una salida de campo que estas áreas realmente corresponde a vegetación vigorosa o en buen estado sanitario. También podemos valernos de información auxiliar como fotografías aéreas, mapas de vegetación o mapas de cobertura del suelo para la zona en cuestión.

► 3. Objetivo del documento

El objetivo del presente documento es proveer una visión sistematizada y actualizada en los ámbitos tecnológicos, económicos, de gestión y de mercado del proyecto precursor, en cuyo contexto no se generaron resultados de aplicación inmediata. El propósito es extraer los aprendizajes y lecciones relevantes de la experiencia realizada y entregarlos “como herramienta” que permita la toma de decisiones de invertir a corto o mediano plazo, en el rubro, alternativa productiva y/o tecnología desarrollada.

Los resultados del proyecto generaron una experiencia valiosa en las líneas de investigación propuesta, sin embargo, existen asuntos por resolver que deben ponerse a punto de manera de permitir convertir estas experiencias en una herramienta de conveniencia efectiva para los usuarios.

El desarrollo y adopción de estas nuevas tecnologías tiene un valor evidente que puede contribuir efectivamente al sector frutícola, de manera de apoyar su desarrollo sustentable en el tiempo.

Este documento se propone extraer y sistematizar, a partir de las experiencias y lecciones aprendidas, los elementos que resultan claves para acondicionar la puesta en marcha y validar la aplicación de una nueva metodología para manejo sectorizado de huertos de manzanas y duraznos, usando tecnologías de la Agricultura de Precisión como son las Imágenes Multiespectrales en tiempo real.

► 4. Perspectivas y antecedentes productivos y de mercado de la industria frutícola en Chile: Manzanos y Durazneros

Situación y perspectivas de Manzanos

La manzana es la segunda especie frutal de importancia en Chile, después de la uva de mesa, ocupa una superficie de 35.075 hectáreas según cifras de ODEPA al 2009. Éstas concentran alrededor del 90% de su producción en las regiones VI y VII, con 10.243 ha y 20.609 ha, respectivamente.

En cuanto a las principales variedades de manzanos, se destaca la superficie de manzanos rojos con amplia mayoría sobre los manzanos verdes que alcanza sólo el 20% de la superficie total plantada en Chile (ODEPA, 2009).

Evolución de las plantaciones de manzanos en la VII Región

Las manzanas rojas⁶ en Chile ocupan una superficie de 27.725 ha al año 2008, de las cuales 13.442,6 se encontraban en producción al año 2007, de un total de 17.205,4 ha. El manzano rojo presentó una disminución de 514 ha desde el año 2002 al 2008, lo que en términos de porcentaje equivale al 1,7%. El manzano rojo se concentra en las regiones VI y VII con una participación de 24,4% y 62,1% respectivamente, el resto se distribuye entre las regiones V, Metropolitana, VIII, IX y X. En la VII región hubo una disminución de 5,3% de la superficie plantada de manzanos rojos.

Entre las variedades de mayor superficie en la VII región, al año 2007 se encontraba la Royal Gala, que alcanzaba a 3.619 ha en producción, según el Catastro frutícola del 2007, y presentó una disminución de 9,3% en su superficie plantada respecto del año 2001. En segundo lugar, se ubicaba la variedad Fuji con 1.657 ha plantadas, que presentó una disminución en su superficie del 34% entre el 2001 y el 2007. En orden de importancia, a esa fecha, eran la variedad Red Chief con 1.479 ha, la variedad Scarlett con 1.191 ha y la variedad Galaxy con 624,57 ha. Esta información ha sido obtenida desde el catastro frutícola del 2007, por lo que puede haber variaciones a la fecha sin información oficial. Ver Cuadro 1.

CUADRO 1. Superficie de las principales variedades de manzanas rojas y verdes en la VII región, valores en hectáreas

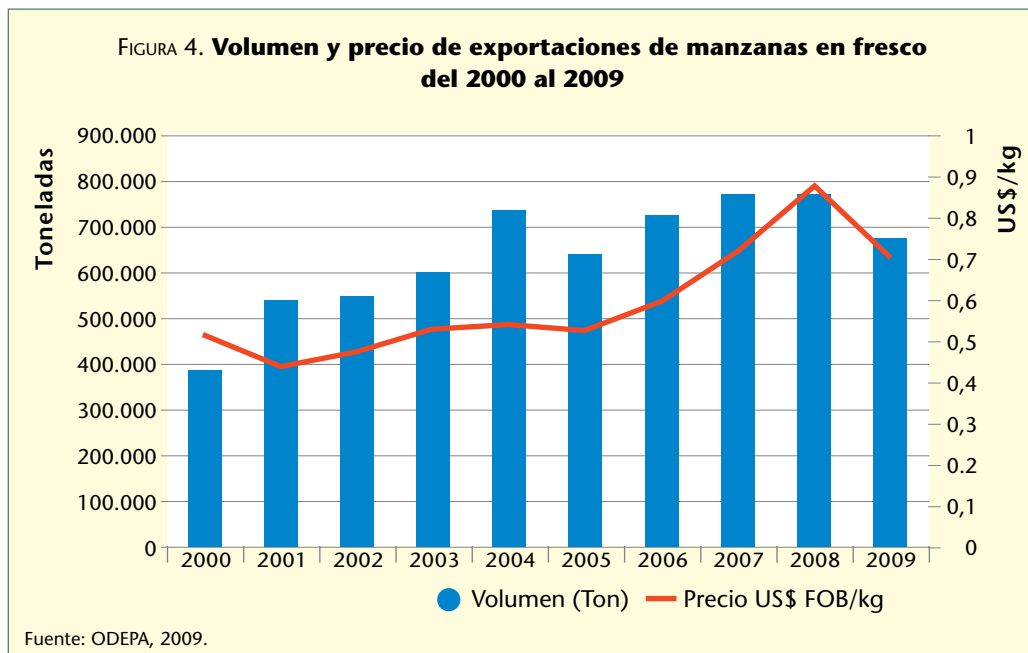
| Variedad | Superficie 2007 | Superficie 2001 | Variación |
|----------------------|-----------------|-----------------|-----------|
| MANZANO ROJO | 17.205,43 | 18.172 | -5,3% |
| Royal Gala | 4.683,00 | 3.992 | 17,3% |
| Fuji | 2.135,10 | 2.517 | -15,2% |
| Red chief | 1.770,80 | 2.696 | -34,3% |
| Scarlett | 1.370,40 | 1.885 | -27,3% |
| Galaxi | 1.241,00 | | |
| Red King Oregon | 744,80 | 1.867,00 | -60,1% |
| Braeburn | 750,10 | 910,00 | -0,18 |
| MANZANO VERDE | 3.403,83 | 2.712 | 25,5% |
| Granny smith | 3.114,90 | 2.424 | 28,5% |

Fuente: Catastro Frutícola VII Región del Maule 2001 y 2007, Ciren-ODEPA.

Por su parte, el manzano verde presenta una superficie de 7.237 ha en Chile. En la VII región hay 3.403,83 ha plantadas, de las cuales sólo 2.517,17 ha se encontraban en producción al año 2007. La superficie de manzanos verdes en esta región ha aumentado un 25,5%. La variedad de mayor

⁶ Denominación genérica utilizada por ODEPA para referirse a un grupo amplio de diferentes grupos varietales tales como Royal Gala, Fuji, Scarlett, Braeburn, red delicious, etc..

FIGURA 4. **Volumen y precio de exportaciones de manzanas en fresco del 2000 al 2009**



importancia en la VII región es la Granny Smith con 3.114,90 ha, de las cuales 1.824 ha se encontraban en producción al año 2007, esta variedad representa el 92% de la superficie de manzanos verdes de esta región.

En el año 2009 se exportaron 678.500 toneladas de manzanas frescas, por un valor de 476.608 US\$FOB, es decir, hubo un aumento significativo de un 136% respecto al año 2000. En cuanto al destino de las exportaciones, los principales países al año 2009 eran: Estados Unidos (12,2%), Holanda (10,9%), Colombia (7,4%), Arabia Saudita (6,7%), Venezuela (5,8%), Ecuador (5,6%) y Rusia (5%).

Durante la temporada 2008/09 las exportaciones de manzanas se vieron afectadas por diversos factores como el añerismo de algunos huertos y las condiciones climáticas registradas durante el verano, lo que derivó en una mayor proporción de calibres pequeños y menores presiones. A lo anterior, se suma un escenario comercial desfavorable producto de los mayores stocks de las cosechas del Hemisferio norte y una demanda que aún se mantiene poco activa, como efecto de la crisis mundial.

De acuerdo a SimFRUIT, se espera que las exportaciones del grupo Gala, que representa el 39% de las exportaciones de manzanas, disminuyan en un 15%, debido principalmente a las condiciones climáticas que afectaron el color de cubrimiento, el calibre y la presión de la fruta. Las variedades rojas del tipo Delicious, que representan un 23% del mercado, también registrarían una caída de las exportaciones por razones similares a las del grupo Gala, estimándose su caída en un 20% en comparación con la temporada anterior.

La variedad Granny Smith, que representa el 17% del mercado, también bajaría sus exportaciones en igual cifra esta temporada, principalmente debido a una caída en los calibres, presiones y mayor proporción de huertos con golpes de sol.

En relación al precio de las exportaciones en US\$FOB, este estuvo el año 2009 en 0,70US\$/kg, un 20% por debajo de los precios obtenidos en la temporada 2008, que alcanzaron los 0,88 US\$/kg.



RENJI SHINO

Menor producción y baja de las exportaciones es la tónica que se está viviendo en las manzanas chilenas. La razón de fondo es la pérdida de competitividad del rubro, producto de los altos costos, que han llevado a que no se esté plantando nuevas superficies. Sin embargo, la solución podría venir de la mano del recambio de variedades que impliquen mejores ingresos.

Todo indica que este estancamiento se mantendrá. “No se proyectan plantaciones nuevas durante los próximos años, al menos en variedades tradicionales, debido principalmente a la disminución de los retornos económicos por el aumento de los costos asociados a la producción”, indica el informe sobre las manzanas 2009 de Decofrut.

Según se describe en diferentes publicaciones y entrevistas a actores relevantes del sector, la situación actual de las manzanas en Chile se encuentra en decadencia, se espera que en un futuro disminuyan los valores y volúmenes exportados tanto de manzanas rojas como verdes.

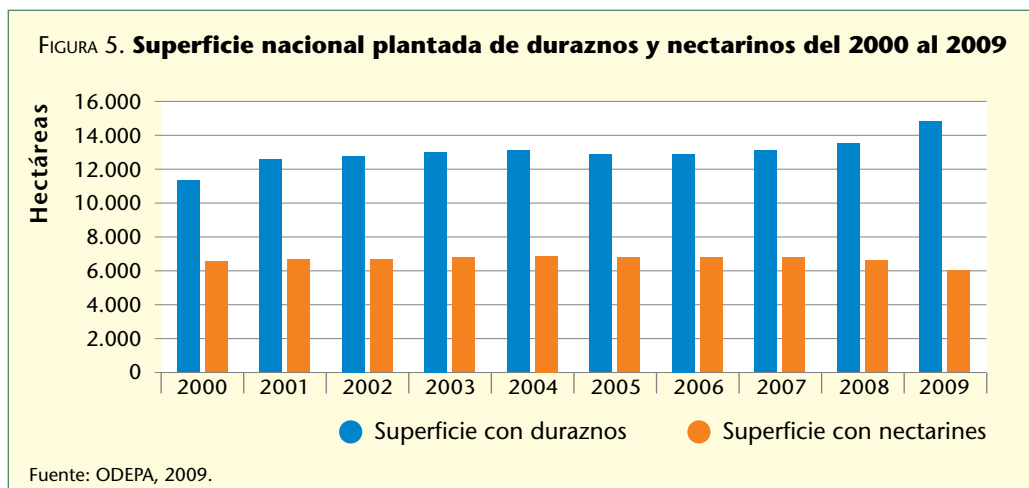
De acuerdo a los análisis realizados por el gobierno, por el sistema empresarial de exportación y por los empresarios agrícolas, los problemas más importantes que enfrentará la exportación de manzanos en Chile serán:

- Ajustes a las nuevas normativas de exportación,
- Incrementar la eficiencia productiva para reducir el incremento de costos de operación incurridos para el cumplimiento de estas normas.

Una alternativa para enfrentar los problemas del rubro es mantener variedades más competitivas que faciliten ampliar y mantener una oferta atractiva que permita responder a los requerimientos de los consumidores y conquistar nuevos mercados. Según fuentes informadas de la industria, los productores y exportadores chilenos se encuentran tras nuevas variedades, especialmente en el grupo de las bicoloradas.

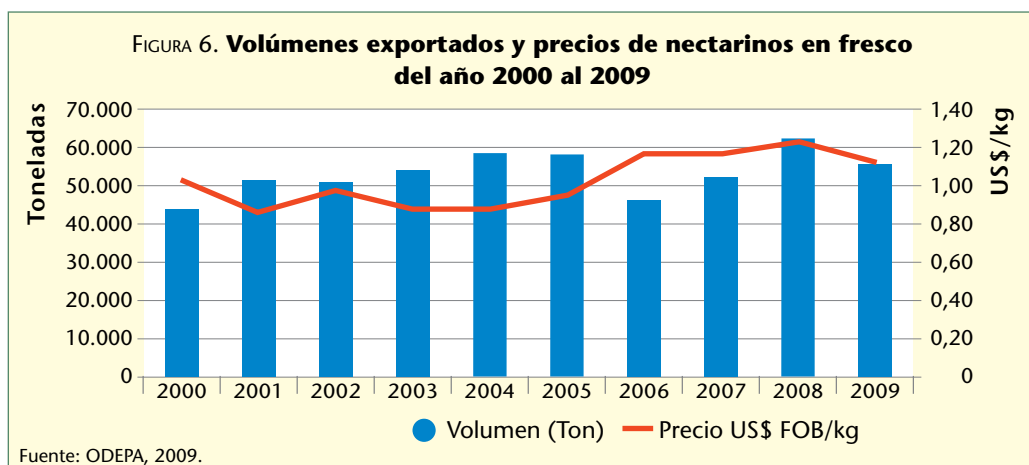
Situación y perspectivas de Duraznos y Nectarinos

Los antecedentes de ODEPA, respecto a las plantaciones de duraznos muestran que ha habido un aumento de un 5% en la superficie plantada y una disminución de nectarinos en un 2%, en el período 2002-2008. Para el año 2009, habían 14.951 ha plantadas de duraznos y 6.038 ha de nectarinos. La mayor participación de duraznos, tanto para consumo en fresco como conserveros, se encuentra en la VI, al igual que la superficie de nectarinos que alcanzaba las 3.515,7 ha al 2009 con una participación de 58% de la superficie nacional. Le sigue la Región Metropolitana con un 38% y la V con un 6%. En los últimos 10 años se ha observado una disminución de la superficie plantada con nectarinos. En duraznos, en cambio, ha habido un aumento gracias a los duraznos conserveros y han disminuido los correspondientes al durazno para fresco.



En Chile las exportaciones de duraznos frescos fueron del orden de las 40.081 toneladas en el año 2009 y de 30.762 en el año 2000, es decir, un aumento de un 30% en cuanto a volumen de las exportaciones. Sin embargo, entre el año 2008 y 2009 hubo una disminución de un 19% en las cantidades exportadas. Las exportaciones de nectarinos frescos han aumentado su volumen desde el año 2000 al 2008 en un 28%, mientras que entre el año 2008 al 2009 hubo una disminución de un 10%.

El precio por kilo de nectarinos en los últimos 10 años se ha mantenido entre los 0,85 y 1,22 dólares FOB, mostrando leves aumentos año a año, a excepción de la temporada 2009 en que el precio cayó un 8%.



El principal destino de las exportaciones chilenas de duraznos corresponde a EE.UU, con un 48,8% (Cuadro 2), mercado que se ha mantenido estable durante los últimos años. Los países de destino que han mostrado el mayor aumento en volumen de exportaciones han sido Hong Kong, Taiwán, España y Holanda. A México han disminuido las ventas en un 47%, en comparación al año 2000.

CUADRO 2. **Destino y volúmenes de exportaciones chilenas de nectarines**

| Mercado de destino | Volumen en toneladas | | Participación (%) | Tasa anual (%) |
|--------------------|----------------------|-----------|-------------------|----------------|
| | 2000 | 2009 | | |
| EE.UU. | 27.253,00 | 27.286,7 | 48,8% | 0% |
| Holanda | 1.778,30 | 6.404,3 | 11,4% | 260% |
| Taiwan | 593,10 | 5.060,6 | 9,0% | 753% |
| Brasil | 2.976,80 | 3.069,0 | 5,5% | 3% |
| Reino Unido | 1.353,30 | 2.737,0 | 4,9% | 102% |
| España | 383 | 2.366,8 | 4,2% | 518% |
| Hong Kong | 184,10 | 2.125,50 | 3,8% | 1055% |
| Colombia | 1.318 | 1.687,4 | 3,0% | 28% |
| México | 2.732,70 | 1.436,5 | 2,6% | -47% |
| Ecuador | 76,1 | 326,1 | 0,6% | 329% |
| TOTAL | 43.835 | 55.944,30 | | |

Fuente: ODEPA, 2009

► 5. Alcances y desafíos de la herramienta

La incorporación de esta herramienta tecnológica en la gestión del predio permite optimizar el uso de los recursos productivos, tales como agua, fertilizantes, agroquímicos y mano de obra, lo que tiene efectos directos sobre la productividad del cultivo y sus costos, lo que finalmente se traduce en una mejora en los ingresos netos del productor.

El valor del uso de esta herramienta es variable y, por tanto, sería poco responsable dar por sentado valores universales, tanto de su implementación y costos, como para el impacto económico de sus resultados. El valor de la herramienta debe ser observado en cada caso, de acuerdo a la comparación de escenarios económicos “sin y con herramienta”.

El costo del uso de la herramienta también es variable. Por una parte, se tienen los costos de **Implementación de la Herramienta** que son aquellos relativos a la toma de datos e interpretación de los mismos. Por otra, se deben considerar los gastos derivados de los cambios en la gestión o manejo del predio que resultan de la adopción de mejoras a partir de la información arrojada por la herramienta, por ejemplo, cambios en los sectores de riego (nuevos diseños), instalación de equipos contra las heladas, entre muchos otros.

Asimismo, el uso y beneficio de la herramienta es dinámico pues permite ser usada una o cuantas veces se requiera, con distintos niveles de profundidad y con diferentes orientaciones. Una primera experiencia con la herramienta podría ayudar a hacer un diagnóstico y realizar cambios gruesos en la gestión. Como resultado de tales cambios en el huerto, nuevos aspectos sobre los cuales intervenir podrían salir a la luz, ameritando nuevas implementaciones de la herramienta cada vez con mayor precisión.

La experiencia concreta que resulta del proyecto precursor, cuyo detalle se analiza en la siguiente sección, permite realizar un ejercicio en términos de costos y beneficios sin y con el uso de la agricultura de precisión. Se han considerado los resultados técnicos generados del proyecto precursor y se han comparado en escenarios productivos equivalentes.

Escenario para la Valorización del uso de Agricultura de Precisión en Frutales

Caso Huerto de Manzanos

La experiencia de aplicación de la tecnología en el proyecto precursor permite ilustrar la magnitud de los costos y beneficios que se asocian a la aplicación de la agricultura de precisión en el manejo de un huerto. Para tal efecto, se considera una explotación de Manzano, variedad Royal Gala, en un patrón MM106, conducido en solaxe, con distancia de plantación 4 x 2 m. La cantidad de plantas por hectárea corresponde a 1.250. El huerto en este caso genera un promedio de 42.000 Kg/ha en plena producción. El destino de la producción es fruta fresca de exportación.

Este es el escenario base sobre el cual se simulará la aplicación de los resultados del uso de agricultura de precisión, AP.

CUADRO 3. Indicadores de rentabilidad en un huerto de manzanos Royal Gala. Escenario base para el ejercicio de aplicación de la agricultura de precisión

| Indicadores de Rentabilidad | \$/Ha |
|-----------------------------|------------|
| Ingresos | 6.853.770 |
| Costos | 1.956.175 |
| Margen Neto | 4.897.595 |
| VAN | 11.744.677 |
| TIR | 26,35% |

Fuente: Elaborado por los autores en base a resultados por hectárea, en un huerto de 50 hás en Talca

Para el caso de estudio se consideran los costos del huerto por hectárea, actualizados en pesos, de \$1.956.175: \$1.595.675 corresponden a los costos de labores e insumos y \$360.500 a los costos de cosecha. El detalle de costos, producción, ingresos y flujo de caja se describe en los Cuadros 1 y 2 de la primera parte de los anexos.

Costo de la herramienta tecnológica Agricultura de Precisión

La implementación de la herramienta se realiza cuando el huerto a tratar se encuentra en plena producción, en régimen. Los costos de implementación de la herramienta alcanzan los \$266.346/ha. Ver detalle en Cuadro 4.

CUADRO 4. Costos de aplicación de la agricultura de precisión en un huerto de frutales, primer año (Escenario para 10 ha)

| Ítem | Detalle | \$/Ha |
|--------------------------------|--|------------------|
| 1 | Compra de bomba Scholander (\$600.000 Depreciada en 5 años) | 600.000 |
| 2 | Carga de bombona de hidrógeno (1 carga cada 10 has.) | 100.000 |
| 3 | HH de medición (2 hrs. Día * 2 días semana * 6 meses a \$1.120 /hr.) | 115.360 |
| 4 | Uso de maquinaria (tractor: 4 hrs. a la semana * 6 meses a \$7.200 /hr.) | 741.600 |
| 5 | Fotos aéreas (\$ 3.500 la Ha.) | 35.000 |
| 6 | Análisis de fertilidad de suelos (17 muestras a \$21.900 c/u). | 372.300 |
| 7 | Análisis foliar (8 muestras a \$22.500 c/u). | 180.000 |
| 8 | Mano de obra poda (3 días adicionales para marcas a \$6.400 JH). | 19.200 |
| 9 | Interpretación de datos | 500.000 |
| Total para 10 hectáreas | | 2.663.460 |
| Total/hectárea | | 266.346 |

Fuente: Elaborado por los autores a partir del proyecto precursor.

La herramienta debe ser aplicada anualmente para ir reduciendo los efectos de la dispersión temporal de los datos, de manera que la información y el diagnóstico que de ella se generan aumente cada vez más su grado de precisión. De los costos de la herramienta, la mayor parte de ellos deben repetirse en cada oportunidad, con excepción de la bomba Scholander, la cual se compra una vez y utiliza cada vez que se requiere. Cabe indicar que existe la posibilidad de arrendar la bomba o incluirla dentro de un paquete de consultoría, pero para efectos del proyecto y para asegurar la disponibilidad del instrumento se decidió incluir su compra.

Aplicación de la herramienta

Para esta sección de “Aplicación de la herramienta”, siguiendo la metodología indicada en la primera parte de este documento, se procede a simular resultados ya que el proyecto precursor no entrega resultados suficientemente comprobados que permitan ser utilizados para este propósito.

1. **Recolección de datos.** En esta etapa se procede a levantar datos referentes a vigor de las plantas y su distribución en el huerto, conductividad eléctrica del suelo, análisis en los árboles en los puntos muestrales como IAF, análisis foliar, contenido hídrico del suelo, etc.
2. **Procesamiento e interpretación de la información:** Con los datos anteriores y mediante un software se procede a hacer los mapas de vigor, conductividad eléctrica, etc., de manera de identificar claramente los sectores del huerto que arrojan diferencias e intentar darle una magnitud a tales diferencias.

Con este análisis de la información, a partir de los datos obtenidos del proyecto precursor, se determinó dónde estaban los puntos críticos y cómo se va a intervenir en ellos. Para este ejercicio se ha definido que hay cuatro puntos críticos sobre los cuales intervenir:

- a. **Riego:** existe un manejo inadecuado de las zonas de riego, lo que hace que se riegue más de lo necesario en algunos sectores y exista un déficit en otros.
 - b. **Fertilizantes:** a propósito de lo mismo y de que el huerto tiene un sistema de fertirriego, las mismas descompensaciones apreciadas en el riego, se producen en términos de fertilización.
 - c. **Energía:** como resultado del cambio en régimen de riego se producen efectos sobre el ítem del costo de la energía.
 - d. **Producción:** Asociado a este cambio de manejo se espera que la producción total del huerto se incremente. Es posible que otros parámetros pudiesen modificarse a propósito del aumento productivo, pero para efectos de la ilustración estos no se han incluido.
3. **Aplicación de Insumos:** con estos datos se procede a corregir los puntos críticos, que en este caso corresponden a:
 - a. Disminución de las horas de riego, por efecto de una redistribución de las horas totales, una disminución en los costos de energía.
 - b. Disminución de las jornadas hombre en fertirriego debido a un mejor manejo y distribución de los insumos en el huerto, disminución de los costos de los fertilizantes ya que disminuirá la cantidad aplicada.

Para ver con mayor claridad el efecto de la disminución en los costos de producción mediante la aplicación de la agricultura de precisión, se plantearon distintos escenarios en los cuales se disminuyeron los costos de raleo, fertilización y riego en un 5%, 10% y 15%.

A continuación se muestra un ejemplo de la disminución en dichos costos mencionados antes.

CUADRO 5. Modelo del efecto en los costos de producción de un huerto de manzanos sin uso de AP (A), y el mismo huerto con el uso de AP (B). Ejemplo disminución de un 10%. Valores en pesos/Ha

COSTOS DE PRODUCCIÓN

(A) - Huerto Escenario Base

(B) - Huerto Base con Agricultura de Precisión

| Labores culturales | Unidad | Cantidad | Precio | Total | Labores culturales | Unidad | Cantidad | Precio | Total |
|---|--------|----------|--------|------------------|---|--------|----------|--------|------------------|
| Poda | JH | 20 | 8.500 | 170.000 | Poda | JH | 20 | 8.500 | 170.000 |
| Recoger y sacar ramillas | JM | 0,5 | 18.000 | 9.000 | Recoger y sacar ramillas | JM | 0,5 | 18.000 | 9.000 |
| Aplicación de fertilizantes (Fertirriego) | JH | 3,8 | 8.500 | 32.300 | Aplicación de fertilizantes (Fertirriego) | JH | 3,42 | 8.500 | 29.070 |
| Aplicación de fitosanitarios | JM | 2,2 | 18.000 | 39.600 | Aplicación de fitosanitarios | JM | 2,2 | 18.000 | 39.600 |
| Aplicación herbicidas | JM | 0,2 | 18.000 | 3.600 | Aplicación herbicidas | JM | 0,2 | 18.000 | 3.600 |
| Aplicación herbicidas | JH | 0,5 | 8.500 | 4.250 | Aplicación herbicidas | JH | 0,5 | 8.500 | 4.250 |
| Siega de malezas en hileras | JM | 0,2 | 18.000 | 3.600 | Siega en hileras | JM | 0,2 | 18.000 | 3.600 |
| Raleo manual | JH | 22 | 8.500 | 187.000 | Raleo manual | JH | 19,8 | 8.500 | 168.300 |
| Raleo químico | JM | 0,1 | 18.000 | 1.800 | Raleo químico | JM | 0,09 | 18.000 | 1.620 |
| Labores cosecha | JH | 35 | 8.500 | 297.500 | Labores cosecha | JH | 35 | 8.500 | 297.500 |
| Labores cosecha | JM | 3,5 | 18.000 | 63.000 | Labores cosecha | JM | 3,5 | 18.000 | 63.000 |
| Reparación estructura | JH | 2 | 8.500 | 17.000 | Reparación estructura | JH | 2 | 8.500 | 17.000 |
| Aplicación fitoreglulador | JM | 0,3 | 18.000 | 5.400 | Aplicación fitoreglulador | JM | 0,3 | 18.000 | 5.400 |
| SUBTOTAL | | | | 834.050 | SUBTOTAL | | | | 811.940 |
| Insumos | | | | | Insumos | | | | |
| Fertilizantes (suelo y foliares) | | | | 396.964 | Fertilizantes (suelo y foliares) | | | | 357.267 |
| Insecticidas | | | | 144.353 | Insecticidas | | | | 144.353 |
| fitoreglulador | | | | 126.778 | fitoreglulador | | | | 126.778 |
| Fungicidas | | | | 75.290 | Fungicidas | | | | 75.290 |
| Herbicidas | | | | 30.740 | Herbicidas | | | | 30.740 |
| Otros,(colmenas) | | | | 60.000 | Otros,(colmenas) | | | | 60.000 |
| Electricidad | Kwh | 4500 | 64 | 288.000 | Electricidad | Kwh | 4050 | 64 | 259.200 |
| SUBTOTAL | | | | 1.122.125 | SUBTOTAL | | | | 1.053.628 |
| TOTAL | | | | 1.956.175 | TOTAL | | | | 1.865.568 |

Fuente: Elaborado por los autores.

Escenarios de Disminución de Costos

Al disminuir los ítems indicados en los costos de producción en diferentes magnitudes: 5%, 10% y 15%, incluyendo además en el flujo de caja el costo de la Agricultura de Precisión (\$266.346 mil pesos/ha) se obtienen los siguientes resultados en los indicadores de rentabilidad del huerto caso:

CUADRO 6. Efecto en los indicadores de rentabilidad de un huerto de manzanos frente a la disminución de costos de producción en distintos porcentajes Valores en \$/ha

| Porcentaje de Disminucion de los Ítems de Costos | 0% | - 5% | - 10% | - 15% |
|--|------------|------------|------------|------------|
| Margen Neto | 4.549.979 | 4.595.283 | 4.640.586 | 4.685.889 |
| VAN | 10.726.937 | 10.872.183 | 11.017.429 | 11.162.676 |
| TIR | 25,47% | 25,59% | 25,71% | 25,83% |

Nota: Los Ítems de costos que se han modificado corresponden a raleo, fertilización, riego y energía de riego. Fuente: Elaborado por los autores.

A partir de este cuadro es posible observar que ninguno de los escenarios de disminución de costos por sí solo es suficientemente bueno de manera que justifique el valor de la agricultura de precisión, ya que el margen neto obtenido en todos los escenarios es inferior a los \$4.897.595 obtenidos de margen neto en el huerto sin la aplicación de la agricultura de precisión, al menos en los valores e impactos obtenidos en este ejercicio.

Escenarios Combinados de Disminución de Costos con Aumento de Producción

En un ejercicio más complejo, en que se disminuyen los costos de producción por una parte y se aumenta la producción por otra, en las mismas proporciones anteriores combinadas, los resultados en los indicadores de rentabilidad del proyecto son los siguientes:

CUADRO 7. Efecto en los indicadores de rentabilidad de un huerto de manzanos frente a la disminución de costos de producción y aumento de la producción, en distintos porcentajes. Valores en pesos/ha

| Disminución en los costos | | | | |
|--|------------|------------|------------|------------|
| Escenario base sin aumento en la producción | 0 | - 5% | - 10% | - 15% |
| Margen Neto | 4.549.979 | 4.595.283 | 4.640.586 | 4.685.889 |
| VAN | 10.726.937 | 10.872.183 | 11.230.764 | 11.162.676 |
| TIR | 25,47% | 26,42% | 25,85% | 25,83% |
| Aumento en la producción | | | | |
| Indicadores de rentabilidad con disminución en los costos de 5% | 0% | 5% | 10% | 15% |
| Margen Neto | 4.595.283 | 4.915.883 | 5.236.483 | 5.557.083 |
| VAN | 10.872.183 | 11.900.055 | 12.927.927 | 13.955.799 |
| TIR | 25,59% | 26,42% | 27,21% | 27,97% |
| Aumento en la producción | | | | |
| Indicadores de rentabilidad con disminución en los costos de 10% | 0% | 5% | 10% | 15% |
| Margen Neto | 4.640.586 | 4.961.186 | 5.281.786 | 5.602.386 |
| VAN | 11.230.764 | 12.291.860 | 13.352.956 | 14.414.052 |
| TIR | 25,85% | 26,68% | 27,48% | 28,23% |
| Aumento en la producción | | | | |
| Indicadores de rentabilidad con disminución en los costos de 15% | 0% | 5% | 10% | 15% |
| Margen Neto | 4.685.889 | 5.006.489 | 5.327.089 | 5.647.689 |
| VAN | 11.162.676 | 12.190.547 | 13.218.419 | 14.246.291 |
| TIR | 25,83% | 26,65% | 27,43% | 28,17% |

Fuente: Elaborado por los autores.

Del ejercicio realizado en el Cuadro 6, se concluía que la sola disminución de los costos de producción en los ítems indicados hasta en un 15%, no justificaba el costo de la aplicación de la agricultura de precisión. Del Cuadro 7 se observa que conjuntamente con la disminución de los costos, el aumento de producción desde un 5%, en cualquiera de los escenarios de costos, significa un aumento en los indicadores de rentabilidad del proyecto, lo que haría justificable el uso de la herramienta rescatada del proyecto precursor.

Finalmente, al usar esta herramienta es importante tener en consideración que a nivel de mercado ésta proporciona un mayor grado de trazabilidad del huerto, en cuanto a aplicaciones y manejos en general, lo que es bien visto y hasta es exigido por ciertos mercados. Esto no es plenamente cuantificable monetariamente, pero proporciona herramientas comerciales que

favorecen la venta del producto. Por otra parte, a nivel de huerto las consideraciones dicen relación principalmente con:

- **Estimación de la cosecha:** al identificar y manejar correctamente la variabilidad productiva del huerto, se podría esperar proyectar los resultados de la cosecha y por tanto ajustar los costos referidos a ésta.
- **Calidad de fruta diferenciada por sector:** al conocer la variabilidad del huerto, el manejo diferenciado podría orientarse a la obtención de diferentes calidades de fruta según el potencial productivo de los diferentes sectores del huerto.
- **Pronóstico de condición de la fruta por sector:** igualmente a los dos anteriores. Al conocer las condiciones potenciales del huerto y los manejos variables y específicos para cada una de estas condiciones, eventualmente podría proyectarse la calidad y cantidad de fruta a obtener.

Los alcances de la herramienta

Los resultados del proyecto permitieron establecer la potencialidad que tiene el uso de la agricultura de precisión basada en los logros obtenidos:

- **Identificar y magnificar las diferencias en los huertos y asociar estas diferencias a causales de terreno:** Se logró gracias al uso de imágenes multiespectrales y mediciones de terreno.
- **Eficiencia en la toma de decisiones de manejo del huerto.** El contar con información sectorizada dentro del huerto ayuda a corregir o disminuir la variabilidad, obtener registros temporales y lograr gestionar el huerto de forma integrada a un sistema digital.
- **Manejo de agroquímicos en los frutales en base a dosis diferenciales.** Con la agricultura de precisión se obtiene información pertinente del vigor vegetativo con lo cual se puede dosificar las aplicaciones de pesticidas al follaje en función de dicho vigor. Lo anterior puede desarrollarse en términos prácticos mediante el empleo de dosificadores especializados, los que son programables en función de los planos de vigor de cada cuartel. Por otra parte, existe una nueva generación de sensores para la aplicación dosificada de herbicidas en los cuarteles, y que responden a criterios diferenciales según presencia de malezas en las distintas zonas de los cuarteles.
- **Reducción de la contaminación y menores costos.** Al sectorizar las dosificaciones según la necesidad de cada frutal, se está aplicando sólo lo necesario y en el momento fenológico adecuado, reduciendo la posibilidad de lixiviación de los elementos químicos y su consiguiente contaminación difusa hacia las napas subterráneas.
- **Conteo de frutos o estimación de rendimiento.** Se diseñó una herramienta que permitió contabilizar los frutos en base a fotografía digital, para lo cual se obtuvo un algoritmo que permite contabilizar los frutos en el árbol, herramienta útil para obtener una estimación temprana del rendimiento del huerto.
- **Estimaciones de volúmenes de copa y Estimación de Índice de área foliar (IAF).** Es necesario definir la toma de datos desde puntos específicos en el cuartel en relación al plano de NDVI (u otro índice vegetacional) y, a la vez calibrar las curvas NDVI (u otro índice vegetacional) v/s IAF debido a que los desarrollos de IAF asociados a los de NDVI (u otro índice vegetacional), no son temporalmente estables. Así, la captura de esta información si bien es altamente necesaria,

se debe trabajar en un sistema que sea bastante más práctico y menos engorroso, tanto en tiempo como grado de dificultad para que estos sean incorporados al sistema de monitoreo que la empresa pueda emprender en adelante, de tal forma la construcción del equipo de monitoreo de canopia será altamente necesario.

- **Optimizar los manejos de carga frutal.** Se logró demostrar que al aumentar en un 15% la carga frutal no se ve afectada la calidad de los frutos, pero el beneficio económico es importante.

► 6. Claves de viabilidad de la Innovación

Dentro de los aspectos más importantes que han permitido la aplicación de la AP en frutales, se puede mencionar el esfuerzo conjunto entre el mundo científico y empresarial, y la puesta a punto de esta tecnología a las condiciones locales para optimizar su funcionamiento. Es relevante indicar que se requieren adaptaciones de esta herramienta tecnológica por localidad y condición agroclimática y que la investigación debe acompañar la introducción de esta herramienta, para determinar cuáles son las variables que mejor se relacionan o influyen el rendimiento de un cultivo en particular. La experiencia internacional y la propia experiencia en Chile demuestran que el éxito en la implementación de esta tecnología va acompañado de una serie de aspectos relacionados con la tecnología, el usuario y el soporte de la misma.

De la Herramienta AP en Huertos frutales

- **Experiencia previa y la validación de la tecnología AP en el cultivo objetivo.** En Chile existe experiencia comprobada en viñedos y hay estudios avanzados en manzanos, frutales de carozo, arándanos y cultivos anuales.
- **Servicio validado que opere la tecnología y disponga del soporte técnico actualizado y perfeccionamiento tecnológico permanente.** En la actualidad varias empresas ofrecen sus servicios relacionados al uso de la AP. La herramienta debe ser capaz de incorporar y ajustarse rápidamente a la implementación de tecnologías de apoyo que ayuden a hacer más precisa su gestión o disminuir sus costos. En este sentido los prestadores del servicio juegan un papel fundamental, toda vez que son ellos quienes conducen estas mejoras de la herramienta.

De los Usuarios de la Herramienta

- **Nivel tecnológico y de gestión avanzado.** El uso eficiente de AP exige un cierto nivel de gestión predial por parte del agricultor de manera que el análisis de la información, la implementación y su control alcancen su mayor potencial de beneficio.
- **Capacitación en el entendimiento y uso de la tecnología.** Es importante que tanto el agricultor como el personal que participe de la implementación de esta herramienta se capacite y logre entender esta técnica y sus alcances.
- **Capacidad financiera.** Por evidente que parezca, es preciso indicar que el agricultor que utilice esta herramienta deberá también considerar recursos para cubrir las inversiones y costos que se derivarán a partir de la información generada por la herramienta.

- **Oportunidad de la implementación.** Indudablemente que cuanto más temprano se tenga información cuantitativa y cualitativa de las variables asociadas a la explotación, mayor serán los beneficios generados por las buenas decisiones tomadas oportunamente.
- **Mayor masificación en el uso de esta tecnología.** Este aspecto tiene estrecha relación con: (a) Aumentar el conocimiento a nivel de usuarios de sus ventajas y oportunidades. (b) Ampliar la experiencia y adaptación en otros cultivos. (c) Evaluación de maquinarias y equipos para la aplicación de prescripciones variables y seguimiento y (d) Mayores exigencias en la gestión de los huertos por parte de los propios agricultores.

▶ 7. Asuntos por resolver

La herramienta tecnológica propiamente tal se encuentra en un nivel de desarrollo que permite su aplicación inmediata en la industria frutícola, no obstante las naturales y necesarias mejoras que se incorporen al paquete tecnológico. A continuación se indican algunos aspectos que pueden constituir un factor determinante para su éxito y deben ser considerados al utilizar la Agricultura de Precisión, AP, y seleccionar un servicio validado.

Mejorar aspectos de las imágenes digitales para el conteo de frutos en cuanto a técnicas de procesamiento de las imágenes. Ello permitirá utilizar las imágenes multispectrales como herramientas para definir criterios más precisos en el manejo y regulación de la carga frutal en manzano.

Biometría y desarrollo práctico de sistemas de evaluación digital. El pronóstico temprano del rendimiento mediante el uso de visión inteligente se ha desarrollado principalmente en frutales mayores mediante uso de imágenes de alta resolución y de imágenes térmicas. Si bien los resultados obtenidos son promisorios -con fines de manejo de los huertos- los desarrollos en esta línea de investigación son bastante recientes, por lo cual al utilizar AP se debe considerar el uso la tecnología más reciente. Tener la posibilidad de una evaluación del rendimiento temprano, tal como ya se ha mencionado, nos hará tener una visión productiva del huerto, permitiendo tener acciones correctivas cuando sean necesarias.

Manejo de agroquímicos en los frutales en base a dosis diferenciales. Debido a la necesidad de cumplir con las exigencias del mercado en cuanto a reducir las cargas de pesticidas en los frutales, es necesario dosificar las aplicaciones de pesticidas al follaje en función de información referida al vigor vegetativo. Es importante verificar el uso de sensores: que sean de última generación para la aplicación dosificada de herbicidas en los cuarteles y que respondan a criterios diferenciales, según presencia de malezas en las distintas zonas de los cuarteles que podrían comenzar a ser utilizados.

Estimaciones de volúmenes de copa (IAF). La captura de puntos de monitoreo en las áreas de estudio para la generación de mapas de IAF de los cuarteles tiene la dificultad de que debe generarse en una alta densidad para poder capturar la real variabilidad de IAF existente en los predios.

La captura de esta información, si bien es altamente necesaria, también es poco práctica y engorrosa, por lo que se debe trabajar en un sistema que reduzca tanto el tiempo como el grado de dificultad, para que estos datos sean incorporados al sistema de monitoreo que la empresa pueda emprender en adelante.

Estimaciones de las potencialidades de carga. Se visualiza una clara necesidad de evaluar y mejorar el desarrollo de índices que permitan estimar con una mayor definición las potencialidades de carga por zonas, lo cual iría asociado al desarrollo de la obtención del volumen de canopia.

Manejo de las relaciones hídricas en los frutales. Para poder mejorar la eficiencia del uso del sistema de riego se debe realizar un monitoreo hídrico que permita verificar que el huerto sea regado homogéneamente.

Aplicación termometría infrarroja. En este método se trabaja en base a la determinación de los denominados “Índices de estrés hídrico de cultivo”. Se ha evaluado el CWSI con respecto a la transpiración en los viñedos, encontrando evidencia de una buena relación entre estas variables estudiadas.

► 8. Situación actual

Actualmente, la Agricultura de Precisión se encuentra operando comercialmente y se está trabajando en el desarrollo de índices más específicos. En cuanto a la cobertura, se está aplicando en más del 50% de las nuevas plantaciones viníferas, además de otros frutales como arándano, manzano y cultivos como trigo y maíz.

En lo que se refiere a los derechos de propiedad intelectual, la apropiabilidad de la herramienta es posible a nivel de tecnologías que acompañan su uso, tales como software, instrumentos de registro, etc... Sin embargo, hasta el momento no existirían en Chile niveles de desarrollo suficientes que ameriten la aplicación de patentes u otras formas de propiedad intelectual. La dinámica en el uso de la herramienta y sus mayores exigencias y/o adaptaciones podría permitir que tales mejoras, si son desarrolladas en Chile, fuesen susceptibles de ser patentadas. El valor se encuentra en la interpretación de la tecnología y en las recomendaciones que puedan hacerse a partir de ella.

Por otra parte, el uso de estas herramientas de alta precisión aún no han sido incorporadas dentro de una estrategia de marketing o de imagen de gestión de las empresas, toda vez que la implementación de aquellas supone un alto nivel de eficiencia y un mejor uso de los recursos (menores niveles de contaminación por exceso de agroquímicos, como ejemplo), lo que podría ser muy bien recibido por algunos clientes-consumidores.

SECCIÓN 2

El proyecto precursor

► 1. El entorno económico y social

El desarrollo y uso de herramientas más complejas, en este caso las asociadas a lo que se ha denominado como “agricultura de precisión”, ocurre primeramente en un escenario donde las exigencias económicas del cultivo obligan a mejorar el uso eficiente de los recursos productivos.

En este sentido, la aparición de este instrumento coincide con un momento particular de la fruticultura chilena. Luego de años de experiencia, de cultivos exitosos y otros no tanto, la viticultura se reubica durante los años 90 en un escenario económicamente promisorio y con lecciones aprendidas en otros cultivos. Esto permite que los viticultores incorporen tempranamente estudios, desarrollo e implementación de tecnologías de mayor precisión para adelantarse a futuros ajustes del negocio.



Desde el punto de vista del entorno científico, algunos investigadores chilenos ya estaban acercándose al conocimiento de esta herramienta a través de visitas a otros países donde su uso ya estaba en práctica. Por lo tanto, hubo una coincidencia del entorno científico con el productivo en la rápida implementación y adaptación de esta tecnología.

Una vez desarrollada, adaptada y disponible esta tecnología está siendo evaluada e implementada cada vez más en otros cultivos, con promisorios resultados, entre los cuales se encuentran: manzanos, arándanos, trigo y maíz.

► 2. El proyecto

El proyecto precursor denominado “Desarrollo de una metodología nueva para manejo sectorizado de huertos de manzanas y duraznos, usando imágenes multiespectrales en tiempo real”, financiado por FIA, tuvo como objetivo principal el desarrollo de una metodología para manejo sectorizado de huertos de manzano y duraznos utilizando imágenes multiespectrales e información digitalizada.

Los objetivos específicos son los que se detallan a continuación:

1. Integrar las bases de datos tabulares históricas de la empresa a un Sistema de Información Geográfica (SIG).
2. Determinar el momento más adecuado en el cual se debiera adquirir las imágenes multiespectrales, con el fin de diferenciar calidades y rendimientos, en huertos de manzanos y durazneros.
3. Obtener el índice vegetacional⁷ que correlacione mejor y que permita explicar las variaciones espaciales del volumen foliar, actividad de clorofila, estatus hídrico, condición de fertilidad de suelos con respecto a la sintomatología evidenciada en el árbol de manzano y duraznero, para agrupar los sectores de igual condición.
4. Optimizar el manejo con respecto a los factores de crecimiento individual por sectores homogéneos que permitan obtener el mejor equilibrio de carga frutal potencial y generar un mayor porcentaje de fruta de exportación.
5. Ajustar el manejo de aplicaciones de agroquímicos por volumen foliar, permitiendo una reducción de las aplicaciones y mejorar el cumplimiento de regulaciones internacionales altamente exigentes en este punto.
6. Desarrollo de una aplicación (software) que permita integrar la información geográfica y de cultivo para mejorar el manejo predial, permitiendo identificar en mejor forma la trazabilidad de la producción.
7. Desarrollo de un programa de divulgación y capacitación de las nuevas metodologías introducidas al sector frutícola, mediante seminario, boletines, días de campo y capacitación en el uso de la aplicación informática especialmente desarrollada para este proyecto.

⁷ Los conceptos y nomenclaturas de las técnicas de agricultura de precisión se explican más adelante en el documento.



KORIAN

Definición de las unidades experimentales

La primera unidad productiva correspondió a un cuartel de manzanos, perteneciente a la Sociedad Agrícola San Manuel Ltda., ubicada camino a Los Niches Km. 15, Curicó, VII Región. El cuartel data del año 1996, por lo que está en plena fase de producción, comprendiendo un total de 4,93 hectáreas, con un marco de plantación de 3,5 x 2 m. Los árboles han sido conducidos en sistema solaxe e injertados sobre portainjerto MM111.

La segunda unidad productiva perteneció a la hacienda Rosa Sofrucu S.A., ubicada en la Carretera de la Fruta, kilómetro 30, Peumo. En esta empresa se trabajó en el fundo SOFRUCO en el cultivar de Paltos (var. Hass) y en el fundo La Rosa Sofrucu con el cultivar Nectarines de la variedad August Red, que fue establecido en el año 1992. La distancia de plantación es 5 x 2,5 m y el portainjerto utilizado es Nema-guard. La superficie correspondió a 6,09 há, divididas en dos cuarteles denominados Cuartel Este y Cuartel Oeste, cada uno con 2,56 y 3,53 há, respectivamente. Lamentablemente, dicha área fue eliminada del predio por decisiones comerciales de la administración del predio. Por esa razón se cambió la especie analizada a paltos, lo que fue conversado e informado a la coordinadora del proyecto, por parte del FIA.

Metodología y resultados del proyecto agrupados por objetivo según etapas de la agricultura de precisión

Para entender mejor las actividades realizadas en el proyecto precursor, como también su metodología y resultados,⁸ se agruparon de acuerdo a las etapas de la agricultura de precisión. Así se pueden correlacionar dichas etapas con los tres objetivos específicos planteados en el proyecto precursor:

ETAPA 1. RECOLECCIÓN DE DATOS (monitoreo de cultivo y suelo, mapas de producción)

En esta etapa de la agricultura de precisión se pueden incluir los objetivos 1, 2 y 3:

- **Objetivo 1: Integrar las bases de datos tabulares históricas de la empresa a un Sistema de Información Geográfica (SIG).**

Metodología: No se describe metodología en el proyecto precursor.

Resultados: En la actualidad, en el SIG está integrada toda la información capturada en terreno tales como: IM, puntos GPS de rendimientos, rendimientos de cosecha y también información obtenida de los primeros análisis, tales como individualización de árboles, niveles de vigor de cada cuartel y resultados de análisis foliares. También está ingresada y adecuadamente georreferenciada la información histórica relevante para el estudio y para la empresa.

- **Objetivo 2: Determinar el momento más adecuado en el cual se debiera adquirir las imágenes multiespectrales, con el fin de diferenciar calidades y rendimientos, en huertos de manzanos y duraznero.**

Metodología:

- **Información multiespectral (Planos NDVI).** Para la obtención de las imágenes multiespectrales, se utilizó una cámara multiespectral DuncanTech Modelo MS3100 de tres bandas, montada en un avión. La altitud de vuelo fue de 3.000 y 1.000 m, con lo cual, se obtuvieron imágenes con una cobertura horizontal de 1.390 m y 250 m, con una resolución de imagen de 2 y 0.4 m/píxel, respectivamente en ambos huertos. Los vuelos fueron realizados por la empresa AgroPrecisión Ltda., la cual formó parte del proyecto precursor. La toma de imágenes se realizó en ambas unidades experimentales.

A las imágenes obtenidas se le realizaron correcciones geométricas y radiométricas, definidas anteriormente en la parte del documento de base conceptual de la tecnología, con el fin de eliminar las anomalías detectadas en la imagen, ya sea en su localización o en el valor del número digital (ND), con el objeto de disponer de los datos en la forma más cercana al valor real existente. Además de las correcciones, se realizó una integración de las imágenes obtenidas (mosaicos), todo esto mediante el software ERDAS® v. 8.5.

Las imágenes multiespectrales obtenidas, se usaron para obtener los planos de NDVI. Las imágenes registraron la refracción radiométrica de los huertos frutales (manzanos y duraznos), refracción que se separa en bandas espectrales desde las cuales se pueden obtener imágenes. A los índices obtenidos por la razón normalizada entre el IRC el IR, se les aplicó un análisis estadístico en donde se obtuvieron 4 clases de vigor. Esto permitió disponer de un mapa de vigor, mediante uso de índices vegetacionales o en este caso el NDVI. Con ellos se pudo definir el período que se correlacionó mejor con las variables de rendimiento y calidad.

⁸ Toda la información metodológica y de resultados se encuentra en detalle en el Proyecto Precursor.

Con el fin de generar un sistema de referenciación simple y de bajo costo, se trazaron las hileras y árboles al interior de los cuarteles con el fin de elaborar los planos del marco de plantación del huerto. Esto se realizó a través del software ArcView, denominado "script", se trazó en forma automática las líneas que representaban las hileras y los árboles de cada cuartel. La distancia entre hileras y árboles, fue suministrada al script para que elaborara líneas y puntos numerados en el sentido deseado.

Para conocer la cantidad exacta de los árboles que componían cada cuartel se realizó un censo en el cual se descartaron los árboles reinjertados, enfermos o simplemente arrancados.

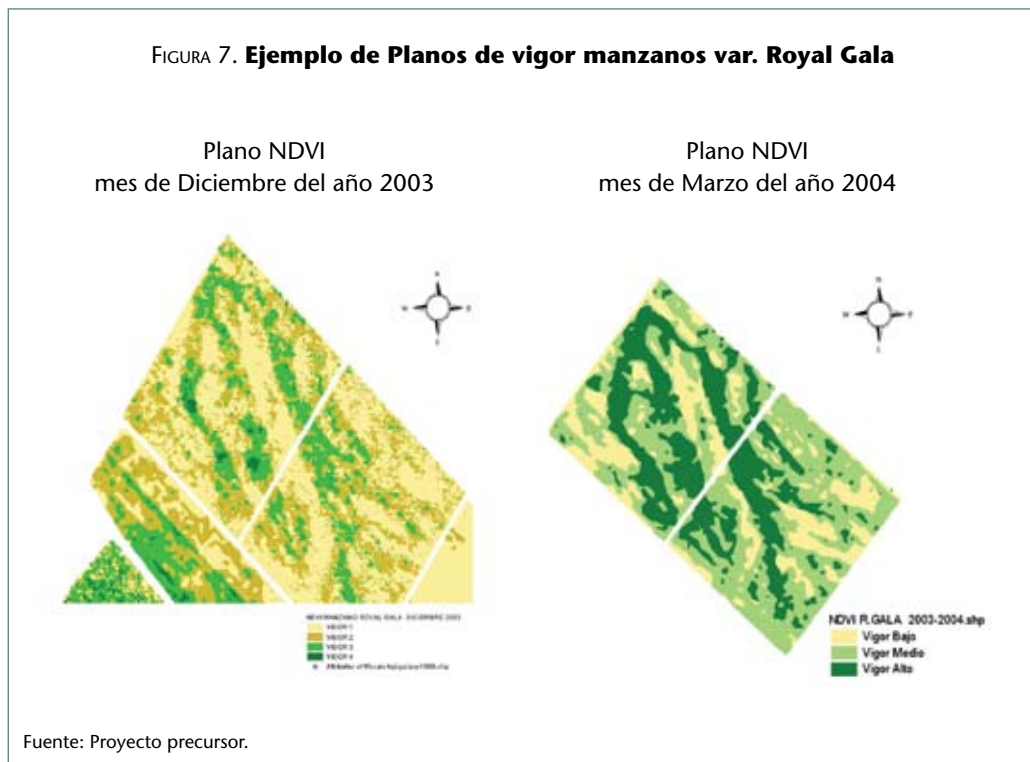
Este sistema simple de georreferenciación (en base a hileras y árbol), permitió entregar instrucciones de monitoreo, manejos o cosecha, información de manera fácilmente utilizable por el administrador de campo en la asignación de labores a sus operarios.

Resultados: Se capturaron imágenes aéreas multiespectrales en distintas fechas durante el transcurso del proyecto precursor, siendo la imágenes del año 2003 las utilizadas para asignar el lugar del ensayo e identificar los puntos de monitoreo. Las imágenes correspondientes al resto de los años se utilizaron para determinar el rendimiento y calidad de frutos, según las zonas de vigor en todos los cuarteles en estudio.

Con estas imágenes se obtuvo el NDVI correspondiente a cada una de ellas, clasificándolas en tres clases de vigor (alto, medio y bajo vigor).

El uso de los planos de vigor permite ser utilizado como herramienta de segmentación para la caracterización de la variabilidad de rendimiento y calidad de frutos dentro del huerto, permitiendo con ello realizar manejo agronómico sectorizado dentro de cada cuartel.

FIGURA 7. **Ejemplo de Planos de vigor manzanos var. Royal Gala**



Fuente: Proyecto precursor.

- **Objetivo 3. Obtener el índice vegetacional que correlacione mejor y que permita explicar las variaciones espaciales del volumen foliar, actividad de clorofila, estatus hídrico, condición de fertilidad de suelos con respecto a la sintomatología evidenciada en el árbol de manzano y duraznero, para agrupar los sectores de igual condición.**

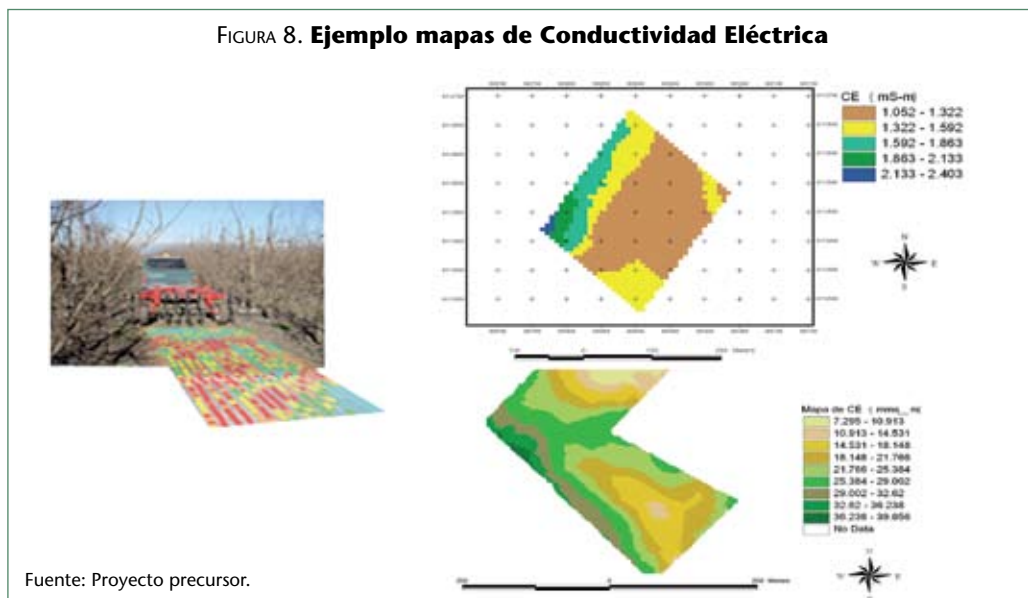
Metodología:

a) Análisis de suelos

El monitoreo de suelos se realizó en terreno en unidades muestrales por clases de vigor, derivadas de las imágenes multiespectrales, específicamente utilizando el índice de vegetación (IV) y también los planos de conductividad eléctrica. De cada una de las muestras se realizó un análisis de textura, curva de retención, pH, materia orgánica, N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Zn, S y B.

Con estos datos se pretendió obtener una escala de vigor potencial por variedad en los diferentes suelos en el predio, dato que aportó al manejo de la Dosel, para ello se realizó una calicata en cada zona homogénea para correlacionar esta variable al vigor.

- *Desarrollo de planos o mapas de Conductividad Eléctrica de los huertos en estudio:* Esta medición se realizó mediante un equipo similar a una rastra de discos eléctrica, “Veris” que emite una señal eléctrica, cada segundo, desde un disco o electrodo (+), la cual es recibida por otro disco o electrodo (-), determinándose la caída de voltaje. Este equipo se asocia a un sistema de posicionamiento global con señal diferencial, lo cual permite la confección de mapas georreferenciados para un posterior manejo diferenciado. Esta herramienta debe ser respaldada con análisis de laboratorio (químico y físico de suelo) y, a su vez, este monitoreo de suelos debe realizarse en base a unidades muestrales por clases de vigor, derivadas de las imágenes multiespectrales, usando el índice de vegetación.



Se desarrolló la caracterización de la conductividad eléctrica de los suelos (uso Veris 3100) en los huertos del Fundo San Manuel para las variedades Gala (Cuartel 4 Norte), Galaxy (Cuartel 3 Norte) y Pink Lady (Cuartel 3 Sur). Sin embargo, en la Rosa Sofruco, solo pudieron ser mapeados los Huertos de Duraznos Var. August Red ya que los Paltos Var. Haas se encontraron demasiado boscosos lo que impidió la captura de dicha información.

- *Relación NDVI/conductividad eléctrica de suelo (CE)*: Utilizando los resultados obtenidos con la rasera eléctrica Veris y los mapas de vigor, se seleccionaron los puntos de monitoreo de suelo para su caracterización física y química. También se realizó una inspección visual del terreno, se determinó en los cuarteles las distintas características de los suelos, considerando la continuidad de color y presencia de piedras. De acuerdo a esto se establecieron los mejores sitios para el muestreo, de forma de capturar la variabilidad que permitiera una información de base importante para los posteriores análisis de correlación de vigores y patrones hídricos en los cuarteles.

b) Análisis en los árboles en los puntos muestrales

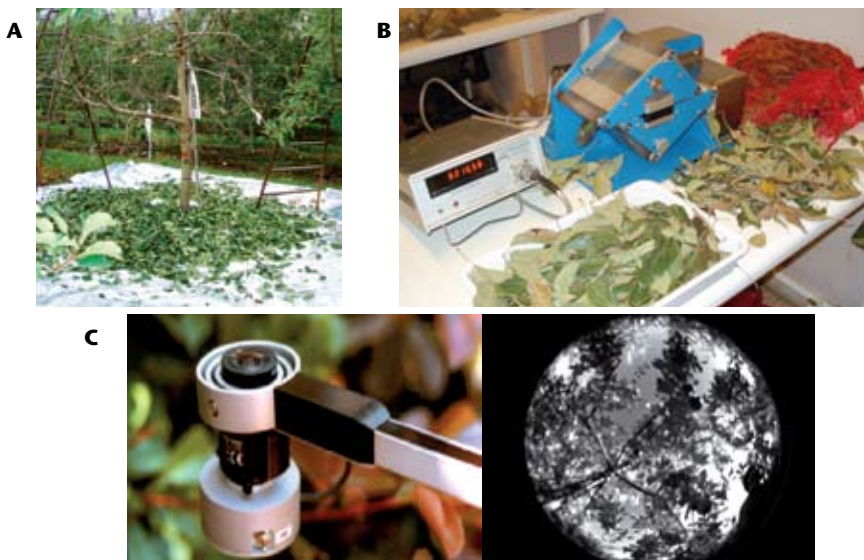
Con la finalidad de integrar y relacionar la estabilidad de los patrones espacio temporales generados de las zonificaciones realizadas, derivadas de la información espectral con la información obtenida de terreno, se evaluaron los parámetros vegetativos y de fructificación, como también la calidad de estos en los mismos puntos de monitoreo de la cosecha 2004-06. Así, se registró el desarrollo de los árboles, desde la cuaja de los frutos hasta la cosecha, en las variedades de Royal Gala, Galaxy y Pink Lady, Nectarinos (Var August Red) y Paltos (Var. Hass).

Los puntos muestrales utilizados para la información de análisis foliar, características vegetativas y reproductivas fueron los mismos, es decir 2 árboles por punto, se marcaron dichos puntos sobre la base geográfica desarrollada en los cuarteles (Cuartel, hilera, árbol).

- *Índice de área Foliar (IAF)*.

Se utilizó la información de NDVI desarrollada a partir de las imágenes adquiridas del área en estudio para definir los puntos de muestreo de área foliar *in situ*. Se realizó la evaluación después de la cosecha de los manzanos y nectarinos. Se utilizaron 2 metodologías, una con extracción total de las hojas y medición de área mediante uso de fotografía digital y software de imágenes. En la segunda metodología se utilizó como instrumento el equipo FISHEYES (CIR 100) que no es destructivo, el cual captura la imagen del árbol *in situ* y utiliza un modelo para el cálculo del IAF. El objetivo fue evaluar ambas metodologías para calibrar el equipo CIR100 ya que es bastante más práctico para la obtención del IAF. Sin esta calibración, sería impracticable su utilización.

A) Deshoje manual de árboles para obtención del IAF. B) Obtención del área de hojas con equipo automático. C) Uso del Fisheye para obtención del IAF.



Hay una alta correlación entre el IAF y la refracción existente en las regiones espectrales del rojo en infrarrojo cercano. La refracción del espectro rojo, disminuye con el incremento del IAF, debido a que la luz es absorbida por los pigmentos de las hojas.

Se trató de encontrar correlaciones significativas entre el área de la canopia y el NVDI (relación NDVI/IAF) obtenidos mediante fotografías aéreas y otros parámetros como el área de la sección transversal del tronco y el volumen de la canopia.

Para la obtención del área de la canopia y del índice foliar radiométrico (IFR), se obtuvieron Imágenes Multiespectrales y RGB del cuartel en estudio, las que fueron obtenidas utilizando la cámara Duncan Tech Modelo MS310 (Duncan Technologies, Inc y Kónica, respectivamente montadas en un avión Cesna a 1.000 m de altura). Luego, con la imagen RGB y NDVI se realizó una categorización de clases, separando de esta forma la vegetación, del suelo y fondo de la imagen.

- Análisis Foliar

Para ver el estado nutricional de las plantas y ver la deficiencia de algún macro o micro elemento que podría influir en el rendimiento y calidad de los frutos se realizó un muestreo de hojas, las que fueron sometidas a un análisis foliar en base al cual se obtuvieron las imágenes multiespectrales en función de los períodos fenológicos.

En manzanos, la muestra se obtuvo en hoja periférica del dardo nuevo, sin fruto. En nectarino, las hojas se extrajeron desde el tercio medio de la ramilla del año. En palto, las hojas que se consideraron fueron las que provenían desde brotes de primavera, con 6 a 7 meses de edad.

- Características Vegetativas

Para la caracterización del desarrollo vegetativo de los árboles de los huertos en estudio (manzanos, nectarinos y paltos), se realizaron mediciones de largo de brotes cada dos semanas, seleccionando cuatro de estos por planta, ubicados a una altura de 1,5 m, orientados a los cuatro puntos cardinales, con el sentido de evaluar los desarrollos asociados a las diferentes exposiciones y obtención de una media representativa de este desarrollo. Con los datos obtenidos se calculó el valor medio de cada punto muestral.

FIGURA 9. Ejemplo de selección y medición de brotes de manzanos por punto muestral



Fuente: Proyecto precursor.

Además, se midió el diámetro del tronco (el área de sección transversal del tronco (ASTT), el largo y grosor del brote, el desarrollo de la altura del árbol. También se realizó una evaluación de problemas fitosanitarios en áreas del proyecto.

- Actividad de clorofila

Dicho valor fue obtenido mediante un equipo Chlorophyll Meter modelo SPAD 502 de Minolta®, en los mismos puntos en que se determinó el IAF y en diferentes sectores de los árboles seleccionados. Se realizó una lectura cada dos semanas. Este valor será útil para ser relacionado con los valores obtenidos de vigor desde las imágenes multiespectrales.

- Determinación del volumen foliar de árboles frutales

Lo primero que se realizó para la obtención del volumen foliar fue la determinación del área de las copas de los árboles se utilizaron tres métodos, *Local Maximum based method*, *Template-matching-based method* y *Contour-based method*, que se describen en el proyecto precursor. También se analizaron tres métodos para detectar el reconocimiento de copas de árboles frutales a partir de fotografías multiespectrales.

De las evaluaciones anteriores se seleccionaron aquellos parámetros que se correlacionaran con los índices vegetacionales y que permitieran extrapolar los datos espacialmente, ello con el fin de determinar las presiones de poda y tipo de manejo adecuado a cada situación, que sean integrables a la calidad y rendimiento obtenido.

c) Evaluación de raleo diferenciado en manzanos

Debido a que se apreció una falta de correlación entre parámetros de calidad entre las zonas de vigor, a pesar de la alta correlación con rendimiento, se vio que el problema se podría asociar a un excesivo raleo de frutos de las diferentes zonas que enmascaran las asociaciones antes mencionadas.

Se realizó un raleo diferencial de frutos por punto muestral, eligiendo dos árboles y un testigo: uno de los árboles se dejó con una carga de un 20% más y el otro con un 20% menos de frutos en comparación al testigo. El árbol testigo es aquel que fue seleccionado para evaluar la dinámica de crecimiento de los frutos durante toda la temporada de monitoreo. Esta evaluación se realizó para el huerto de manzanos Royal Gala, por presentar un calibre pequeño.

Sobre la muestra se realizó un análisis estadístico para cuantificar el efecto de la carga frutal.

- Efecto de la carga frutal sobre atributos sensoriales en manzanos Cv. Royal Gala

Se realizó un panel de degustación a los 60 días de almacenaje en frío convencional, con 3 días a temperatura ambiente. Para lo cual se tomaron 20 frutos para cada uno de los tratamientos de carga frutal (alto, medio y bajo) y para cada nivel de vigor (alto, medio y bajo).

En la degustación cada panelista describió en base a su percepción parámetros tales como firmeza, contenido de azúcar, calibre, color, aceptación general del fruto, comparando 3 manzanas que pertenecen a una determinada carga frutal y un nivel de vigor. Para los factores de firmeza, contenido de azúcar, calibre y color de diseño, se estableció una escala no estructurada del 1 al 10, mientras que para la evaluación sensorial se elaboró una escala hedónica del 1 al 9.

- Aplicación y desarrollo de tecnologías de precisión para el diagnóstico de la carga frutal en manzano Royal Gala

Se definieron tres sitios específicos de vigor: alto (VA), medio (VM) y bajo (VB), utilizando imágenes multiespectrales. En cada sitio se establecieron tres niveles de carga frutal: baja, media y

alta. Para cada sitio de vigor y carga frutal se cuantificaron parámetros de calidad de fruta como peso, sólidos solubles y color de cubrimiento. Adicionalmente, se programó una interfaz gráfica de usuario (IGU) para cuantificar digitalmente algunos parámetros. Finalmente, estos resultados y el diseño experimental se almacenaron en un sistema de información geográfica.

d) Relaciones hídricas

Es preciso verificar que las variaciones en el contenido de agua implican un cambio significativo en la manera en que las plantas reflejan o emiten energía electro-magnética, que además resulte separable de la acción de otros factores en la señal, como son el área foliar, los ángulos de observación, la geometría de las plantas, la situación topográfica o el tipo de suelo.

- Balance Hídrico del suelo

La medición del contenido de agua del suelo se realizó mediante la instalación de los equipos FDR (Reflectometría en el dominio de la frecuencia), los cuales fueron instalados en las tres clases de vigor de cada frutal. Además, se instalaron dos sensores por punto de monitoreo cuya profundidad fluctuó entre los 45 y 60 cm, área en la cual existió la mayor cantidad de raíces activas (más del 80%). El sensor debió ser instalado en suelo no disturbado, por lo tanto, se hizo necesario hacer una calicata sobre hilera, a 70 cm de distancia del árbol.

- Potencial hídrico de los árboles

El contenido de agua en la planta se midió a través del potencial hídrico xilemático utilizando la bomba Scholander en diferentes sectores de las áreas de estudio (9 en cada zona) en base a la sectorización realizada por las áreas de vigor.

e) Información meteorológica

Para el desarrollo de balances hídricos y relaciones en cuanto a factores fisiológicos afectados por condiciones climáticas, se requirió de información climática que considerara las horas luz, precipitación, temperatura (máx. y mín), velocidad y dirección del viento, humedad relativa, evaporación de bandeja. Esta información fue obtenida de las estaciones meteorológicas presentes en las áreas de estudio.

f) Rendimiento y calidad de los frutos al momento de cosecha

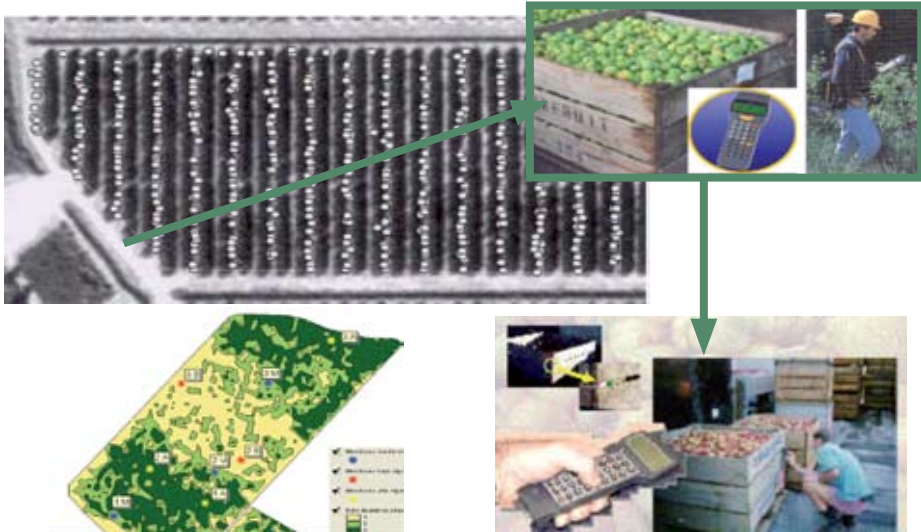
Se realizó una evaluación de las variables de rendimiento y calidad de los frutos al momento de cosecha.

- Planos de rendimiento (cosecha)

Los mapas de rendimiento utilizados en la agricultura de precisión, permiten medir y cuantificar la producción espacial del huerto. Midiendo la producción de cada ubicación dentro del campo, se puede obtener una mejor imagen de la verdadera variabilidad del campo.

En la cosecha manual, por medio de muestreo dirigido, a partir de los planos de NDVI de la temporada, se seleccionan árboles representativos a cada zona de vigor, donde se cosechan todos los frutos. Esto permite obtener una estimación del rendimiento por unidad de área. En cada punto seleccionado se realiza una determinación del número de frutos y rendimiento total (Kg), con lo que se obtiene una estimación del rendimiento por unidad de área.

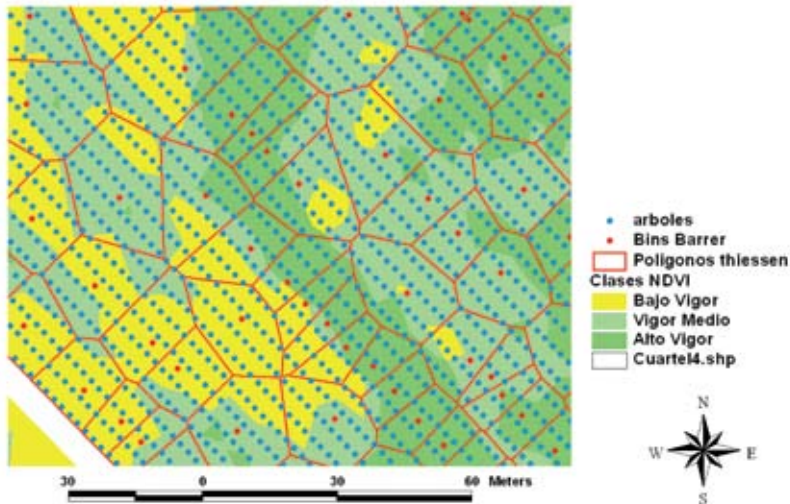
FIGURA 10. **Obtención de mapas de rendimiento cosecha manual**



Fuente: Proyecto precursor

El desarrollo de los planos de rendimiento se realiza sobre la base de la ubicación espacial de los bins, asociados al árbol más cercano, donde el área de influencia de cada uno de ellos se determina por medio de la metodología de Polígonos de Thiessen, permitiendo así obtener el rendimiento por árbol y, por lo tanto, el rendimiento total del cuartel y el impacto económico del huerto.

FIGURA 11. **Aplicación de Polígonos Thiessen para determinar áreas de influencia de cosecha**



Fuente: Proyecto precursor.

Obtenidos los rendimientos totales del cuartel por ambas formas, se procedió a evaluar la consistencia de la información obtenida por ambas vías mediante una regresión espacial.

Para definir el nivel de relación entre las variables medidas en terreno, se procedió a realizar un análisis multifactorial no lineal o factor análisis. En manzanos y duraznos, mediante el software SAS, se analizó la totalidad de las variables medidas con el NDVI, se determinó buenas correlaciones entre el rendimiento real y el NDVI y entre rendimiento predicho y el real.

- Estimación de rendimiento

Para realizar una estimación temprana del rendimiento se utilizó un algoritmo para segmentar los frutos en el árbol. Un mes previo a cosecha se obtuvieron dos fotografías digitales por cada árbol, cada una de 3 megapíxeles y en formato jpg. Para la separación de los píxeles pertenecientes a la fruta, las hojas y el fondo se definieron los colores en el modelo de color HSI. También se realizó una estimación de rendimiento en base al análisis de yemas florales.

- Evaluaciones a la cosecha de calidad de la fruta

Las muestras de calidad de frutas se obtuvieron mediante la localización de puntos muestrales según la variabilidad de los planos de NDVI para ambos huertos, los que fueron localizados en terreno y se marcaron los árboles asociados a ellos.

En esta etapa se cosecharon todos los frutos de cada punto muestral (4 árboles por punto), realizando conteo de frutos y peso total. Posteriormente, se extrajo una submuestra y se analizaron los siguientes parámetros de calidad: para **manzanos**, diámetro ecuatorial, color, sólidos solubles, firmeza de pulpa, pH, acidez, peso, calibres, caracterización del pedúnculo, defectos. Para los **nectarinos** se evaluó diámetro ecuatorial, sólidos solubles, porcentaje de color de cubrimiento, intensidad de color de cubrimiento, peso, firmeza en las mejillas, ápice, sutura y hombros, y defectos (carozo partido, daños sanitarios y desórdenes fisiológicos). Finalmente, para los **paltos** sólo se realizaron mediciones de diámetro ecuatorial, determinación de materia seca de los frutos y se evaluaron los desórdenes fisiológicos post cosecha y daño por sol.

Para medir la firmeza de pulpa se utilizó el *formato tradicional*, utilizando un presionómetro y la *técnica de medición acústica del fruto*, con un equipo creado por el equipo de agricultura de precisión del INIA Quilamapu y la *técnica de espectroscopia del infrarrojo cercano (NIRS)* usando el equipo Corona 45 VIS/NIR 1.7, con el cual también se midió firmeza de pulpa y sólidos solubles.

- Evaluación de correlación entre planos de cosecha y de NDVI

Para evaluar la utilidad de la información de los planos de NDVI en relación a los rendimientos obtenidos se hizo una regresión espacial, utilizando el MODELO espacial de LAG para ajustar el modelo entre NDVI por árbol y su correspondiente rendimiento.

- Relación NDVI/ calidad frutal.

Para evaluar la relación entre valores de NDVI / características de calidad (Sólidos Solubles, Intensidad Color, Cubrimiento, Presión) / características vegetativas (diámetro de tronco) de los árboles que fueron monitoreados con mayor detalle, se realizó una regresión espacial entre las variables en estudio y los valores de NDVI de los árboles. Es importante destacar la necesidad de utilizar modelos espaciales que sopesen la vecindad de cada elemento, ya que la manifestación del rendimiento y calidad respecto al vigor de las plantas es producto de la acción combinada de todos los factores productivos y acción directa del manejo del huerto, hecho que complica la separabilidad del vigor y finalmente del rendimiento. Así, la realización de una regresión simple no considera este importante factor, obteniéndose valores de r^2 inferiores a 0.1, lo que refleja un mal ajuste entre las variables y produciría importantes errores de interpretación en los resultados.

- Análisis estadístico

Para determinar el grado de autocorrelación o dependencia espacial entre las variables de rendimiento por árbol, obtenido de la aplicación de los polígonos de Thiessen, se usó el índice de Moran.

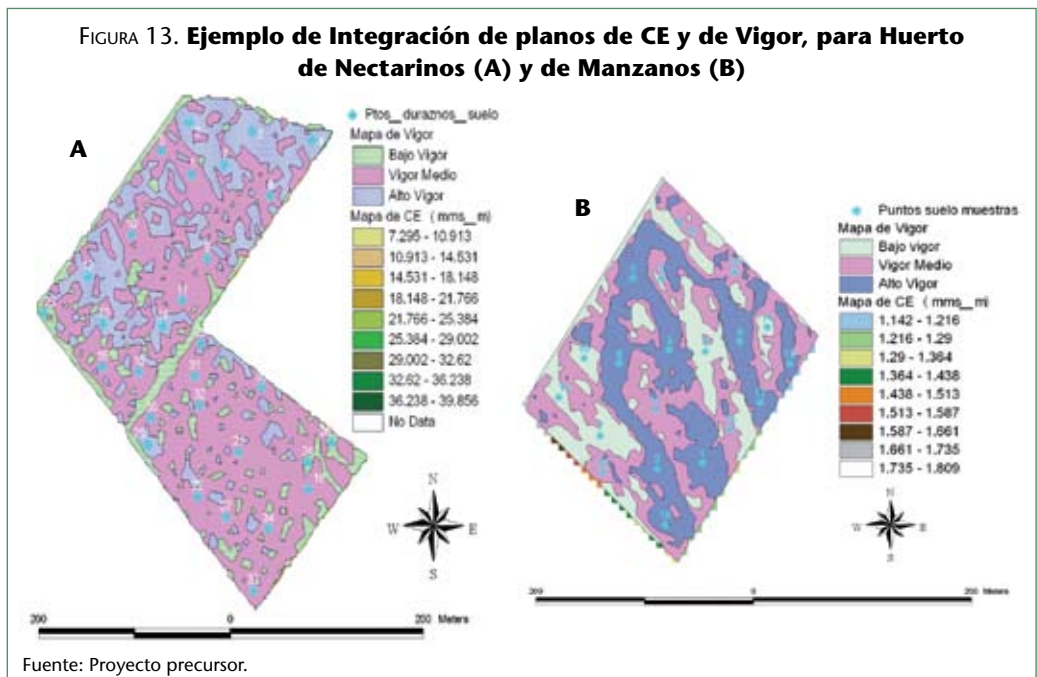
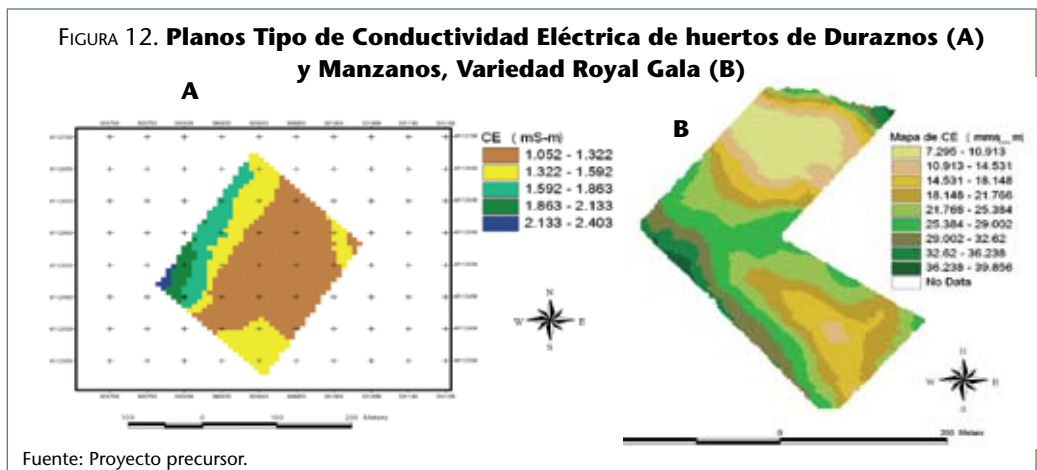
Para evaluar las relaciones entre rendimiento por árbol y su NDVI correspondiente, se efectuó una regresión espacial utilizando el modelo LAG.

Por otra parte, se aplicó el método de la mínima diferencia significativa (LSD), a las variables vegetativas y de fructificación según las zonas de vigor, para determinar la existencia de diferencia entre ellos. Este método se aplica para la determinación de diferencia entre las medias, y se basa en la prueba *t* de student, empleando el valor de la varianza del error.

Resultados: En esta parte del documento se presentan los resultados del objetivo 3, agrupados por especie/variedad, de manera de poder ayudar a la comprensión del valor de los mismos.

- *Relación NDVI/Conductividad eléctrica*

Los planos entregan la información relativa al tipo de conductividad eléctrica de duraznos y manzanos, como también la integración de estos con el vigor (Figura 12 y 13).



- *Evaluaciones en los puntos de muestreo por cultivo para Nectarinos var. August Red*

- a) Características vegetativas: Con respecto al crecimiento de los brotes, se observó un crecimiento exponencial en todas las zonas de vigor en los meses de noviembre y diciembre. No se observaron diferencias estadísticamente significativas en el crecimiento total de los brotes en el cuartel oeste, por lo que el crecimiento vegetativo de este cuartel fue relativamente homogéneo (Cuadro 8).

CUADRO 8. Diferencias promedios de crecimiento de brotes (cm) del cuartel oeste en nectarinos var. August Red, durante la temporada por zona de vigor

| Clases de vigor | Largo promedio (cm) |
|-----------------|---------------------|
| Bajo | 13,19 a* |
| Medio | 10,75 a |
| Alto | 14,05 a |

*Letras dentro de la columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD ($P \leq 0,05$)

Fuente: Proyecto precursor.

Cabe señalar que el grupo con vigor bajo fue el que presentó más humedad en comparación al vigor medio, debido a que se aplicó más agua en un sector de suelo poco profundo. Los sectores analizados presentaron una humedad constante durante toda la etapa de evaluación, lo que significó que el riego en esas fechas fue constante, presentando una leve baja en noviembre del 2005.

- b) Características de fructificación: No se observaron diferencias significativas en los diámetros totales de los frutos analizados por zona de vigor, por lo que el huerto presentó una cierta uniformidad en el tamaño de los frutos.
- c) Evaluación de calidad de frutos por zona de vigor: Al analizar los parámetros de calidad de los frutos por zona de vigor, estos nos indicaron que no existieron diferencias significativas entre ellos, por lo que la calidad de ellos fue similar en todo el cuartel.
- d) Resultados espaciales: Los resultados obtenidos del análisis espacial de las variables analizadas indicaron una alta relación espacial entre los valores de NDVI con los parámetros de: rendimiento, número de frutos y disposición geográfica de los puntos muestrales. En cambio, con los otros parámetros no se encontraron relaciones directas con el NDVI.

- *Evaluaciones en los puntos de muestreo por cultivo para Manzano Variedad Galaxy*

- a) Características vegetativas: El crecimiento de los brotes durante la temporada fue en forma exponencial en las tres zonas de vigor, donde la zona de vigor alto presentó el mayor crecimiento vegetativo en comparación a las otras. No se encontró diferencia significativa entre las zonas de vigor bajo y medio, lo que se atribuyó a la humedad del suelo presente en esas zonas de vigor y a la humedad del suelo en el cuartel durante la etapa de evaluación. Se encontraron valores mayores en la zona de vigor alto (Cuadro 9).

CUADRO 9. Diferencias promedios de crecimiento de brotes (cm) durante la temporada por zona de vigor en manzanos var. Galaxy

| Clases de Vigor | Largo promedio (cm) |
|-----------------|---------------------|
| Bajo | 9,7 a* |
| Medio | 10,10 a |
| Alto | 13,45 b |

*Letras distintas dentro de la columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD ($P \leq 0,05$)

Fuente: Proyecto precursor

- b) Características de fructificación: los resultados obtenidos mostraron que el crecimiento de los frutos durante la temporada fue constante y siguió la misma tasa de crecimiento para cada una de las zonas de vigor, no encontrándose diferencias significativas entre ellas.
- c) Evaluación de calidad de frutos por zona de vigor: no hubo diferencias significativas entre las diferentes zonas de vigor, por lo que la calidad de los frutos fue similar en todo el cuartel.
- d) Resultados espaciales: los resultados obtenidos del análisis espacial de las variables analizadas indicaron una alta relación espacial entre los valores de NDVI con los parámetros de: rendimiento, largo de brotes, número de frutos, °Brix y la relación espacial de ubicación de los puntos muestrales.
- e) Evaluación de raleo diferencial de frutos por punto muestral: al aumentar en un 20% la carga frutal en comparación al testigo por zona de vigor, el diámetro de los frutos se afectó negativamente en su tamaño final, pero no fue significativo.

- *Evaluaciones en los puntos de muestreo por cultivo para Manzano Variedad Pink Lady*

- a) Características vegetativas: no se observaron diferencias significativas según el análisis de la varianza entre las zonas de vigor bajo y medio, pero sí se encontró con la zona de vigor alto (Cuadro 10).

CUADRO 10. Diferencias promedios de crecimiento de brotes (cm) en manzanos var. Pink Lady durante la temporada por zona de vigor

| Clases de Vigor | Largo promedio (vm) |
|-----------------|---------------------|
| Bajo | 21,2 a* |
| Medio | 21,7 a |
| Alto | 22,8 b |

*Letras distintas dentro de la columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD ($P \leq 0,05$)
Fuente: Proyecto precursor.

- b) Características de fructificación: los resultados obtenidos mostraron que el crecimiento de los frutos durante la temporada fue constante y siguió la misma tasa de crecimiento para cada una de las zonas de vigor, no encontrándose diferencias significativas entre ellos.
- c) Evaluación de calidad de frutos por zona de vigor: al analizar los parámetros de calidad de frutos por zona de vigor, estos nos indicaron que no existieron diferencias significativas entre ellos, por lo que su calidad fue similar en todo el cuartel.



- d) Resultados espaciales: Los resultados indican una alta relación espacial entre los valores de NDVI con los parámetros analizados. Al igual que las variedades anteriores, nos demuestran la importancia de utilizar esta herramienta (NDVI) y los métodos estadísticos a analizar, permitiendo así una mejor relación entre cada parámetro.
- e) Evaluación de raleo diferencial de frutos por punto muestral: al aumentar en un 20% la carga frutal en comparación al testigo por zona de vigor, el diámetro de los frutos se afectó negativamente en su tamaño final, pero no fue significativo. Las diferencias de rendimiento por el aumento de carga por zona de vigor no influyen significativamente en la calidad final de estos, lo que se traduciría finalmente en mayores ingresos.

- Evaluaciones en los puntos de muestreo por cultivo para Manzano Variedad Royal Gala.

- a) Características vegetativas. No se observaron diferencias significativas de crecimiento vegetativo entre las zonas de vigor.
- b) Características de fructificación. Los resultados obtenidos mostraron que el crecimiento de los frutos durante la temporada fue constante y siguió la misma tasa de crecimiento para cada una de las zonas de vigor, no encontrándose diferencias significativas entre ellas.
- c) Evaluación de calidad de frutos por zona de vigor. Al analizar los parámetros de calidad de frutos por zona de vigor, éstos nos indicaron que no existieron diferencias significativas entre ellos, por lo que la calidad de estos fue similar en todo el cuartel.
- d) Monitoreo hídrico del cuartel. En la zona de vigor bajo, el nivel de humedad se mantuvo entre los 18 y 23 % v/v, en cambio los de nivel medio y alto se mantuvo en el orden de los 20 y 24% v/v, lo cual indica que el nivel de humedad presente durante la temporada fue mayor, con efecto directo en la expresión vegetativa y productiva de la planta. Esto influyó en que el huerto tuviera un vigor homogéneo, tanto en rendimiento como en la calidad de frutos.
- e) Resultados espaciales. Los resultados indicaron una alta relación espacial entre los valores de NDVI con la mayoría de los parámetros analizados, a excepción del diámetro de frutos.
- f) Rendimiento espacial de los puntos de monitoreo: el análisis de regresión espacial obtenido de los puntos de monitoreo fue de 0,6 con $p \leq 0,5$, esto indica que existe una alta relación con el NDVI.
- g) Evaluación de raleo diferencial de frutos por punto muestral: al aumentar en un 20% la carga frutal en comparación al testigo por zona de vigor, el diámetro de los frutos se afectó negativamente en su tamaño final, pero no fue significativo. Es importante señalar que al aumentar en un 20% el rendimiento en las tres zonas de vigor, no se afectaron significativamente los diámetros finales, lo que se traduciría en aumento de la rentabilidad del huerto.

- Evaluaciones en los puntos de muestreo por cultivo para Paltos variedad Hass

- a) Características vegetativas. El crecimiento de los brotes fue de forma exponencial en las tres zonas de vigor para todas las temporadas, la zona de vigor alto presentó el mayor crecimiento vegetativo. No se encontraron diferencias significativas entre las zonas de vigor bajo y medio. Esto puede atribuirse a la humedad del suelo presente en esas zonas de vigor, como también a las características estructurales presentes en dicha zona.

La humedad de suelo durante la etapa de evaluación fue mayor en la zona de vigor bajo, situación a la que es atribuible ese resultado (Cuadro 11).

CUADRO 11. Diferencias promedios de largo de brotes (cm), en paltos var. Hass durante la temporada por zona de vigor

| Clases de Vigor | Largo promedio (mm) |
|-----------------|---------------------|
| Bajo | 9,17 a* |
| Medio | 10,18 a |
| Alto | 13,23 b |

*Letras distintas dentro de la columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD ($P \leq 0,05$)

Fuente: Proyecto precursor.

- b) Características de fructificación. De los resultados obtenidos por zona de vigor, no se observaron diferencias significativas en los diámetros, por lo que huerto presenta uniformidad en el tamaño de los frutos en el cuartel.
- c) Estudio hídrico en paltos: el principal factor de la baja de vigor es la condición hídrica a que es sometida el huerto, por lo que un mal uso de este recurso puede causar asfixia radicular o la sequedad de ellas, afectando directamente su vigor. Como complemento se hizo un ensayo de análisis de humedad del suelo, de mejoramiento de estructura del suelo y de rendimiento y calidad por zona de vigor (ver proyecto precursor).

- Resultado de ensayos realizados sólo en manzano cv Royal Gala

- a) Resultados análisis frutos/área de copa. Las evaluaciones de rendimiento y calidad por área de copa permiten demostrar la importancia que tiene esta herramienta tecnológica para ser utilizada para realizar diferentes prácticas de manejo como podas, raleo de frutos y aplicación de pesticidas entre otras.

Se visualiza que el uso del Índice Foliar Radiométrico (IFR) es muy útil para el manejo de la carga frutal en manzano, el cual en combinación con el conteo digital de frutos, medición de color y área digital podría automatizar la evaluación y predicción tanto de rendimiento como calidad en los huertos de manzanos.

- b) Efecto de la carga frutal sobre atributos sensoriales en manzanos cv Royal Gala. En el análisis sensorial, sólo en la fruta proveniente de árboles con VB (vigor bajo), se logró apreciar un efecto significativo de la carga frutal sobre el grado de aceptabilidad, siendo este parámetro marcadamente más bajo en niveles altos de carga frutal (Cuadros 12 y 13.)

CUADRO 12. Efecto de la carga frutal sobre la aceptabilidad general percibida por el consumidor en manzanas desde sitios de vigor bajo, medio y alto. Cv "Royal Gala". Temporada 2006/2007

| Nivel de carga | Nivel de vigor | | |
|----------------|----------------|-------|------|
| | Bajo | Medio | Alto |
| Baja | 6,5 a | 6 | 7 |
| Media | 6,0 ab | 6 | 5,5 |
| Alta | 4,0 b | 5,5 | 6 |
| Significancia | * | N.S. | N.S. |

*Letras distintas dentro de la columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD ($P \leq 0,05$).

Fuente: Proyecto precursor.

CUADRO 13. Efecto de la carga frutal sobre el dulzor percibido por el consumidor en manzanas desde sitios de vigor bajo, medio y alto. Cultivar "Royal Gala". Temporada 2006/2007

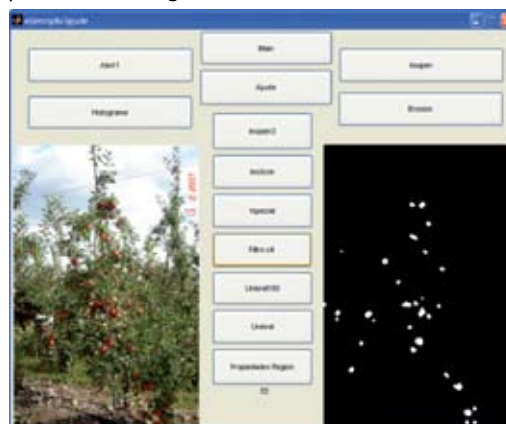
| Nivel de carga | Nivel de vigor | | |
|----------------|----------------|-------|------|
| | Bajo | Medio | Alto |
| Baja | 6,5 a | 6 | 7 |
| Media | 6,0 ab | 6 | 5,5 |
| Alta | 4,0 b | 5,5 | 6 |
| Significancia | * | N.S. | N.S. |

*Letras distintas dentro de la columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD ($P \leq 0,05$)
Fuente: Proyecto precursor.

- c) Predicción de calidad de fruta con tecnologías no destructiva: acústico. Se obtuvo un aceptable coeficiente de regresión $r = 0,51$, lo cual indica la moderada relación entre la medición acústica y el presionómetro.
- d) Aplicación y desarrollo de tecnologías de precisión para el diagnóstico de la carga frutal en manzano cv Royal Gala. Los niveles de carga frutal afectaron diferencialmente parámetros de calidad como PF, CC, SS para los distintos sitios de vigor discriminados. Se encontró una relación para peso en función de los frutos y m^3 de canopia.

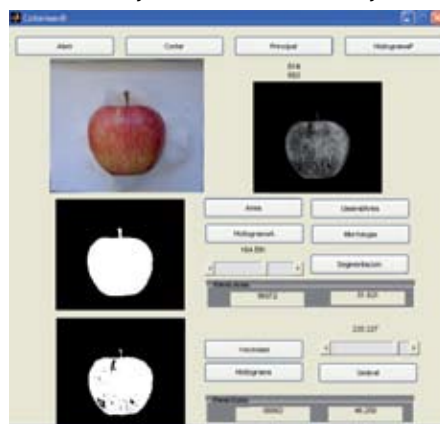
FIGURA 14. Programa digital para conteo de frutos de manzano var. Royal Gala

(A) Interfaz Gráfica de Usuario para el conteo digital de frutos



Fuente: Proyecto precursor.

(B) Interfaz Gráfica de Usuario para determinación del Área y CC en Manzanas cv Royal Gala



Esta investigación diseñó una herramienta que permite contabilizar los frutos en base a fotografía digital, para lo cual se obtuvo un algoritmo que permite contabilizar los frutos en el árbol, herramienta útil para obtener una estimación temprana del rendimiento del huerto.

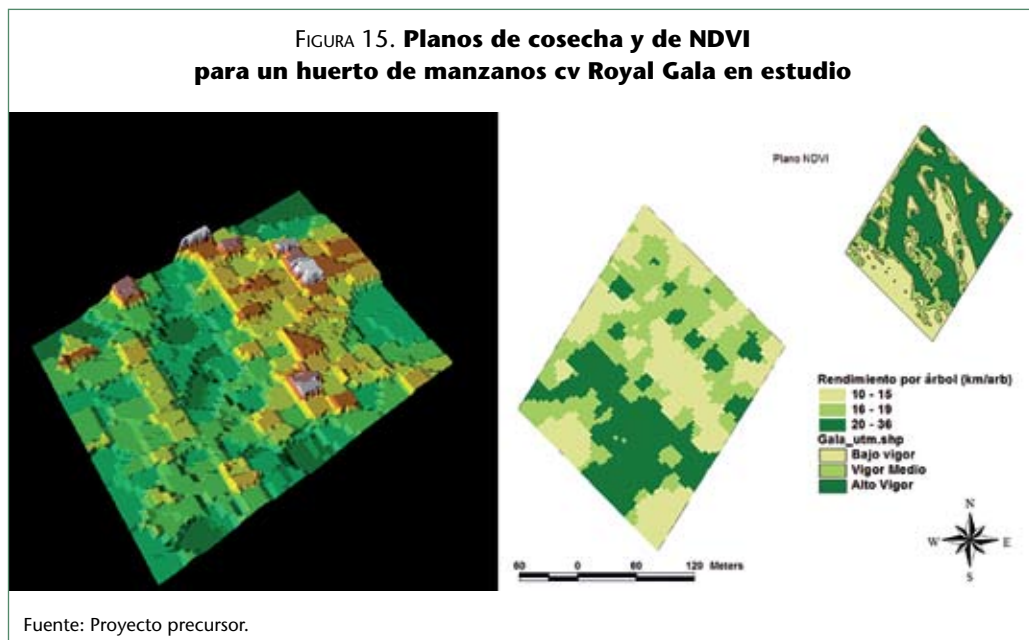
Planos de rendimiento (cosecha)

Obtenidos los rendimientos totales del cuartel por ambas formas (real en terreno y uso de polígonos de Thiessen⁹), se procedió a evaluar la consistencia de la información obtenida por ambas vías mediante una regresión espacial, obteniéndose muy buenos resultados y con diferencias de rendimientos totales de tan solo 2.5%, pudiéndose decir que ambas metodologías pueden ser utilizadas bajo la condición de bins móviles.

⁹ Polígonos de Thiessen (también llamados diagramas de Voronoi o teselación de Dirichlet) son una construcción geométrica que permite construir una partición del plano euclídeo.

Los planos finales de rendimiento pueden ser vistos para las diferentes variedades de manzanos en estudio y en duraznos; a modo de ejemplo se presenta un plano de los resultados de manzano cv Royal Gala en la Figura 15.

Para el caso de paltos no se obtuvieron los resultados de rendimientos.



En la figura se puede distinguir que los polígonos de mayor área están ubicados en las zonas de menor vigor, con menos cantidad de fruta presente en los árboles. Por el contrario, los polígonos de menor tamaño se encuentran en las zonas de mayor vigor, confirmando la relación de rendimiento y su asociación con las zonas de vigor.

a) Rendimiento total por zona de vigor

Los rendimientos obtenidos por zona de vigor, indicaron que estos están asociados a mayor vigor. No se encontraron diferencias significativas entre las zonas de vigor medio y bajo, en cambio la zona de vigor alto sí las presentó. Esta marcada diferencia se suscita porque en esos sectores los árboles tienen diferentes envergaduras, según lo visto en terreno, tanto en hojas como en tamaño de cada árbol, expresando todo aquello en rendimiento y en calidad de frutos.

El análisis de regresión espacial obtenido entre la metodología de Polígonos de Thiessen en las 7 categorías de vigor indica una alta relación entre ellos, permitiendo así validar el uso de esta metodología para ser utilizada en determinar el rendimiento espacial del huerto.

CUADRO 14. Resultados de la regresión espacial entre Polígonos de Thiessen y valores de NDVI por árbol

| Variable | Coficiente | Error estandar | z-valor |
|-----------|------------|----------------|---------|
| Rend. Tot | 0,964 | 0,0037 | 258,48 |
| Constant | 0,618 | 0,0872 | 7,08 |
| NDVI | 0,077 | 0,16368 | 0,47 |

Fuente: Proyecto precursor.

b) Correlación entre planos de cosecha y de NDVI ¹⁰

Se realizó una regresión espacial utilizando el Modelo espacial de LAG¹¹ para ajustar el modelo entre el NDVI por árbol y su correspondiente rendimiento, resultando excelentes resultados de ajuste en todas las experiencias realizadas.

Se evaluó el rendimiento final obtenido y predicho para cada individuo y como valores totales por cuartel, obteniéndose como resultado un error máximo en la estimación total de un 2.5%, factor que ratifica nuestra afirmación anterior.

Con el fin de evaluar la posibilidad de utilizar valores promedio para las diferentes clases de vigor, se obtuvo los valores promedio por áreas de vigor, asignándose éstas a dichas áreas. Dicho análisis, a modo de ejemplo, se realizó para manzanos var. Pink Lady.

En la relación de rendimiento entre los valores obtenidos en terreno con respecto a los estimados por esta regresión, se encontraron errores de tan solo un 2%, factor que vislumbra que se podría trabajar tan solo con áreas representativas y puntos muestrales por cada una de esas áreas.

Evaluación de calidad de frutos por zona de vigor

Al analizar los parámetros de calidad de frutos por zona de vigor, estos indican que no hay diferencias significativas entre ellos y la calidad es similar en todo el cuartel.

CUADRO 15. **Calidad de frutos por zonas de Vigor**

| Vigor | Peso (gr) | D. ecuat (mm) | Largo(mm) |
|-------|-----------|---------------|-----------|
| Alto | 221,67 a* | 68,07 a | 97,36 a |
| Medio | 229,38 a | 66,06 a | 108,04 b |
| Bajo | 232 a | 69 a | 105 b |

*Letras distintas dentro de la columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD ($P \leq 0,0$)
Fuente: Proyecto precursor.

a) Relación NDVI/ calidad de la fruta

Esta relación se fundamentó en los resultados anteriores de variabilidad hídrica, desarrollo vegetativo y reproductivo que definen una alta relación entre el rendimiento espacial y los planos de NDVI.

Los resultados obtenidos de la regresión espacial demuestran que existe consistentemente en todos los frutales en estudio una relación entre NDVI, con características tanto reproductivas como vegetativas. De ello se puede inferir que los mapas de vigor pueden ser útiles para la sectorización de zonas para dirigir el monitoreo de terreno, para definir las condiciones para un manejo más eficiente.



CLIFF HUTSON

¹⁰ Normalized Difference Vegetation Index, en español "Índice de Vegetación Diferencial Normalizado".

¹¹ LAG: Modelo de Rezago espacial

ETAPA 2. PROCESAMIENTO E INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN (Análisis)

En esta etapa se incluyó el Objetivo 6.

- **Objetivo 6. Desarrollo de una aplicación (software) que permita integrar la información geográfica y de cultivo para mejorar el manejo predial permitiendo identificar en mejor forma la trazabilidad de la producción.**

Metodología

a) *Software de gestión predial: Sobre uDig¹² (sistema utilizado de diseño)*

Se escogió uDig como base para el desarrollo de esta versión personalizada por diversas razones, siendo una de las principales la necesidad de un software que cumpla con los requisitos deseados para manejar información predial para los agricultores y empresas que trabajan con agricultura de precisión que fuese gratuito y de libre acceso. Al estar desarrollado en Java lo transforma en un software multiplataforma, puede correr en sistemas operativos diversos como Windows, Linux, MacOS, etc. Al poseer un núcleo desarrollado por una comunidad de usuarios permite la corrección de errores en el código y la constante actualización del software lo transforman en una herramienta en crecimiento continuo a la cual se pueden agregar funcionalidades de acuerdo a las necesidades que se presenten en el camino y sin pagar el costo de licencias asociadas. Así se facilita la masificación de estas tecnologías y se pone al alcance de todas las herramientas fundamentales para el desarrollo e implementación de metodologías de agricultura de precisión.

Resultados

Este software está siendo difundido a través de un convenio vía PDP (programa desarrollo de proveedores), hacia las empresas Greenvic y Trinidad. Para ver el funcionamiento del software, revisar el proyecto precursor.

ETAPA 3. APLICACIÓN DE INSUMOS (Manejo variable)

En esta etapa de la agricultura de precisión se incluyeron los objetivos 4 y 5 del proyecto precursor.

- **Objetivo 4. Optimizar el manejo con respecto a los factores de crecimiento individual por sectores homogéneos que permitan obtener el mejor equilibrio de carga frutal potencial y generar un mayor porcentaje de fruta de exportación.**

Metodología

No se encontró descripción de una metodología en el proyecto precursor.

Resultados

No se encontraron resultados en el proyecto precursor.

¹² uDig (*User-friendly Desktop Internet Gis*) es un sistema de información geográfica de código fuente abierto desarrollado en Java sobre GeoTools, una librería (también de código fuente abierto) diseñada para proveer capacidad de manipular información geográfica a aplicaciones desarrolladas en Java.

- **Objetivo 5. Ajustar el manejo de aplicaciones de agroquímicos por volumen foliar, permitiendo una reducción de las aplicaciones y mejorar el cumplimiento de regulaciones internacionales altamente exigentes en este punto.**

Metodología

a) Aplicación Diferencial de agroquímicos

Se realizó la aplicación diferencial en los huertos de manzanos y de duraznos. La obtención de los volúmenes foliares por sector, permitirá dosificar en función lo requerido por cada área determinada, utilizando el sistema de aplicación variable. Las aplicaciones fueron realizadas para Venturia y Oidio en manzanos; Cloca y Monilinia en duraznos.

Resultados

No se encontraron resultados en el proyecto precursor.

► 3. Los productores del proyecto hoy

Considerando que el proyecto se enfocó en poner a punto una tecnología y que los productores que participaron contribuyeron básicamente en aportar sus huertos para las pruebas de campo, no mantuvieron ellos mayor relación con el proyecto mismo.

En conversaciones con los ejecutores de proyecto y con agentes de la industria, se entiende que los productores, en general, no han adoptado esta tecnología en huertos frutales, pero sí ha tenido un incremento significativo en viñedos. Lo anterior se explicaría en parte porque el nivel de desarrollo actual de la AP, específicamente para huertos frutales, está en cierta forma en proceso de afinamiento y por la situación económica ajustada del negocio frutícola. Ambos aspectos han influido en la baja disposición de los agricultores por innovar con nuevas tecnologías. Sin embargo, este comportamiento es paradójico, considerando que esta herramienta tecnológica permitiría maximizar el beneficio de la explotación.

SECCIÓN 3

El valor del proyecto

El valor del proyecto radica principalmente en el desarrollo y conocimiento de la forma de la recolección de datos e interpretación de estos. Se correlacionó las variables medidas en terreno con las imágenes multiespectrales en especies en las cuales no se había avanzado en la adopción de las técnicas de la agricultura de precisión. Se utilizó la herramienta en manzanos, nectarines y paltos, lo que es un gran aporte para el desarrollo de esta técnica, ya que son especies en las cuales no se había trabajado. Sólo se habían logrado avances en viñedos que, por lo general, son plantaciones de amplias extensiones de terreno difíciles de manejar sin la aplicación de la agricultura de precisión.

La agricultura de precisión es fundamentalmente una herramienta de apoyo a la gestión del manejo productivo de una explotación agrícola y tiene como gran ventaja la posibilidad de monitorear



ERIC CAMPBELL

las condiciones del predio y del cultivo, además de describir tales condiciones de manera objetiva y mapear (georreferenciar) el huerto en función de las condiciones descritas: suelo, vigor de las plantas, entre otras. Todo ello aplicado al manejo eficiente y producción de calidad.

El valor de la herramienta tecnológica desarrollada

El valor de esta herramienta tecnológica está muy relacionado con las potencialidades y externalidades que esta metodología tiene, y que se traducen en la posibilidad de gestionar el manejo del huerto por medio de variables como la zonificación y el establecer un procedimiento lógico y eficiente para las distintas labores:

Aplicación de insumos agrícolas. Su aplicación eficiente implica una disminución de la contaminación ambiental por dosis excesivas, equivocadas e inoportunas, muchas veces con efecto en los costos. La disminución y mejor eficiencia en las aplicaciones de plaguicidas permitirán un menor contacto de estos con los operarios agrícolas que llevan a cabo dichas labores.

Aplicación de riego. El riego eficiente tiene un impacto en la cantidad y calidad de la producción. También se afecta el gasto del recurso agua y del recurso energía, ambos con efecto en el medio ambiente.

Cosecha. El manejar indicadores de madurez zonificados en el huerto permite planificar o calendarizar con mayor precisión la cosecha y maximizar el retorno de su producción. Tiene efecto significativo en la logística de la cadena productiva y del proceso.

Trazabilidad. El contar con información digitalizada sobre las distintas variables y labores realizadas en toda la temporada de producción, facilita el cumplimiento de las crecientes exigencias y normativa internacional.

Incremento del porcentaje de fruta de exportación. La adopción de tecnología AP permite corregir los problemas de desuniformidad, situación frecuente en los huertos manejados de manera tradicional.

Finalmente, cabe destacar que esta tecnología ayuda a posicionar a las empresas a un nivel de competitividad igual o superior que los países desarrollados, aumentando el horizonte de competitividad de la agricultura chilena.

Se pretende que el sector frutícola dedicado a la exportación de manzanas y duraznos tenga una mayor competitividad por la utilización de tecnologías informatizadas, con capacidad de manejar la información espacial que permita al fruticultor diferenciar los problemas dentro de los huertos para la adecuada toma de decisiones.

Anexos

Anexo 1. Cuadros económicos

Anexo 2. Literatura consultada

Anexo 3. Documentación disponible y contactos

ANEXO 1. Cuadros económicos

| CUADRO 1. Flujo de caja para un huerto de manzanos var. Royal Gala. Valores \$/ha | | | | | | | | |
|---|------------|--|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Item | Año 0 | Año 1 | Año 2 | Año 3 | Año 4 | Año 5 | Año 6 | Año 7-15 |
| Ingresos | | - | - | 1.612.500 | 3.263.700 | 6.037.845 | 6.853.770 | 6.853.770 |
| Producción (kg) | | - | - | 10.000 | 20.000 | 37.000 | 42.000 | 42.000 |
| Costos | 553.037 | 658.555 | 832.592 | 1.135.682 | 1.607.928 | 1.893.965 | 1.956.175 | 1.956.175 |
| Implantación | 553.037 | - | - | - | - | - | - | - |
| Labores e insumos | | 658.555 | 832.592 | 1.062.432 | 1.409.928 | 1.627.465 | 1.595.675 | 1.595.675 |
| Cosecha | | - | - | 73.250 | 198.000 | 266.500 | 360.500 | 360.500 |
| MARGEN BRUTO | -553.037 | -658.555 | -832.592 | 476.818 | 1.655.772 | 4.143.880 | 4.897.595 | 4.897.595 |
| Inversiones | -4.378.225 | -84.250 | -50.550 | | | | | |
| CAPITAL DE TRABAJO | -658.555 | -832.592 | | | | | | |
| FLUJO NETO CAJA | -5.589.818 | -1.575.398 | -883.142 | 476.818 | 1.655.772 | 4.143.880 | 4.897.595 | 4.897.595 |
| VAN (12%) | 11.744.677 | (No considera el costo de la tierra ni el valor de salvamento de la plantación) | | | | | | |
| TIR | 26,35% | | | | | | | |

| CUADRO 2. Flujo de caja huerto de manzanos var. Royal Gala, con Agricultura de Precisión. Valores \$/ha | | | | | | | | |
|--|------------|--|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Item | Año 0 | Año 1 | Año 2 | Año 3 | Año 4 | Año 5 | Año 6 | Año 7-15 |
| Ingresos | | - | - | 1.612.500 | 3.225.000 | 5.966.250 | 6.772.500 | 6.772.500 |
| Producción (kg) | | - | - | 10.000 | 20.000 | 37.000 | 42.000 | 42.000 |
| Costos | 553.037 | 658.555 | 832.592 | 1.135.682 | 1.607.928 | 1.893.965 | 2.222.521 | 2.162.521 |
| Implantación | 553.037 | - | - | - | - | - | - | - |
| Labores e insumos | | 658.555 | 832.592 | 1.062.432 | 1.409.928 | 1.627.465 | 1.595.675 | 1.595.675 |
| Cosecha | - | - | - | 73.250 | 198.000 | 266.500 | 360.500 | 360.500 |
| Aplicación AP | | | | | | | 266.346 | 206.346 |
| MARGEN BRUTO | -553.037 | -658.555 | -832.592 | 476.818 | 1.617.072 | 4.072.285 | 4.549.979 | 4.609.979 |
| Inversiones | -4.378.225 | -84.250 | -50.550 | | | | | |
| CAPITAL DE TRABAJO | -658.555 | -832.592 | | | | | | |
| FLUJO NETO CAJA | -5.589.818 | -1.575.398 | -883.142 | 476.818 | 1.617.072 | 4.072.285 | 4.549.979 | 4.609.979 |
| VAN (12%) | 10.726.937 | (No considera el costo de la tierra ni el valor de salvamento de la plantación) | | | | | | |
| TIR | 25,47% | | | | | | | |

CUADRO 3. Detalle de costos huerto de manzanos var. Royal Gala, sin Agricultura de Precisión

| Labores | Mes | REQUERIMIENTOS | | | TOTAL | |
|-----------------------------|------------|----------------|----------|-------------|----------------|-------------|
| | | Unidad | Cantidad | Precio (\$) | (\$) | (%) |
| Labores Culturales | | | | | | |
| Poda | Jun/Jul | JH | 20,00 | 8.500 | 170.000 | 20,4% |
| Recoger y sacar ramillas | Julio | JM | 0,50 | 18.000 | 9.000 | 1,1% |
| Aplicación Fitosanitarios | Jul/Ago | JM | 0,25 | 18.000 | 4.500 | 0,5% |
| Aplicación Herbicida | Agosto | JM | 0,20 | 18.000 | 3.600 | 0,4% |
| Fertirriego | Septiembre | JH | 0,30 | 8.500 | 2.550 | 0,3% |
| Aplicación Fitosanitarios | Septiembre | JM | 0,25 | 18.000 | 4.500 | 0,5% |
| Fertirriego | Octubre | JH | 0,40 | 8.500 | 3.400 | 0,4% |
| Aplicación Fitosanitarios | Octubre | JM | 0,40 | 18.000 | 7.200 | 0,9% |
| Raleo químico frutos | Octubre | JM | 0,10 | 18.000 | 1.800 | 0,2% |
| Fertirriego | Noviembre | JH | 0,60 | 8.500 | 5.100 | 0,6% |
| Raleo manual | Noviembre | JH | 22,00 | 8.500 | 187.000 | 22,4% |
| Aplicación Fitosanitarios | Noviembre | JM | 0,40 | 18.000 | 7.200 | 0,9% |
| Fertirriego | Diciembre | JH | 0,60 | 8.500 | 5.100 | 0,6% |
| Aplicación Fitosanitarios | Diciembre | JM | 0,20 | 18.000 | 3.600 | 0,4% |
| Aplicación Herbicida | Diciembre | JH | 0,50 | 8.500 | 4.250 | 0,5% |
| Segar malezas entrehilera | Diciembre | JM | 0,20 | 18.000 | 3.600 | 0,4% |
| Fertirriego | Enero | JH | 0,60 | 8.500 | 5.100 | 0,6% |
| Aplicación Fitosanitarios | Enero | JM | 0,50 | 18.000 | 9.000 | 1,1% |
| Fertirriego | Febrero | JH | 0,60 | 8.500 | 5.100 | 0,6% |
| Aplicación Fitosanitarios | Febrero | JM | 0,20 | 18.000 | 3.600 | 0,4% |
| Aplicación fitoregulator | Feb/Mar | JM | 0,30 | 18.000 | 5.400 | 0,6% |
| Fertirriego | Marzo | JH | 0,40 | 8.500 | 3.400 | 0,4% |
| Fertirriego | Abril | JH | 0,30 | 8.500 | 2.550 | 0,3% |
| Reparación Estructura | Abril | JH | 2,00 | 8.500 | 17.000 | 2,0% |
| Cosecha | | | | | | |
| Labores de cosecha | Feb/Mar | JH | 35,00 | 8.500 | 297.500 | 35,7% |
| Labores de cosecha | Feb/Mar | JM | 3,50 | 18.000 | 63.000 | 7,6% |
| Subtotal Labores (a) | | | | | 834.050 | 100% |

| Insumos | Mes | REQUERIMIENTOS | | | TOTAL | |
|---|-------------|----------------|----------|-------------|-------------|-------|
| | | Unidad | Cantidad | Precio (\$) | (\$) | (%) |
| Urea | Ago/Ene | kg | 260,00 | 242 | 62.920 | 6% |
| Sulfato de Potasio | Ago/Ene | kg | 200,00 | 869 | 173.800 | 16% |
| Acido Fosforico | Ago/Ene | lt | 24,00 | 4.350 | 104.400 | 9% |
| Acido Borico | Ago/Ene | kg | 2,40 | 912 | 2.189 | 0% |
| Lorsban 4E(Clorpyrifos) | Sept / Oct | lt | 1,50 | 4.060 | 6.090 | 1% |
| Karate Zeon (Lamda Cihalotrina) | Sept / Nov | lt | 0,60 | 22.730 | 13.638 | 1% |
| Sevin XLR Plus(Carbaryl) | Sept / Feb | lt | 2,50 | 7.790 | 19.475 | 2% |
| Winspray(Aceite mineral) | Abr/May | lt | 30,00 | 2.980 | 89.400 | 8% |
| Acifon 35 WP(Acinfos metil) | Sept / Nov | kg | 1,80 | 8.750 | 15.750 | 1% |
| Cobre Premium (Oxido cuproso) | Abr/May | kg | 4,00 | 5.040 | 20.160 | 2% |
| Captan 83 WP(N- (triclorometil)tio)-4- cyclohexano-) | May/Ago | kg | 3,60 | 5.200 | 18.720 | 2% |
| Score 250 EC (Difenoconazole) | Sept / Oct | lt | 0,60 | 52.350 | 31.410 | 3% |
| Pasta poda TPN 50 (Clorotalonilo) | Jun/Jul | lt | 4,00 | 1.250 | 5.000 | 0% |
| Promalina (Promalina) | Sept / Oct | lt | 2,00 | 63.389 | 126.778 | 11% |
| Roundup(Glifosato) | Jun/Ago | lt | 3,00 | 1.980 | 5.940 | 1% |
| Spectro 33 EC | Jun/Ago | lt | 4,00 | 6.200 | 24.800 | 2% |
| Colmenas | Septiembre | colmena | 4,00 | 15.000 | 60.000 | 5% |
| Wuxal Calcio (Fertilizante foliar micronutrientes) | Oct/Nov | lt | 15,00 | 3.577 | 53.655 | 4% |
| Electricidad | Todo el año | Kwh | 4.500,00 | 64 | 288.000 | 26% |
| Subtotal Insumos (b) | | | | | 1.122.124,6 | 100% |



ANEXO 2. **Literatura consultada**

- BEST, S. Agricultura de precisión: Una plataforma para la fruticultura de exportación. 2004. Pomáceas. Boletín Técnico. Universidad de Talca, 4(5), Septiembre.
- CIREN, 2005. Análisis de las Plantaciones de Manzano Rojo. Boletín Frutícola N°11. Centro de Información de Recursos Naturales. Ministerio de Agricultura. Chile.
- FIA, 2008. Resultados y lecciones aprendidas en Agricultura de Precisión en Viñedos. Serie experiencias de Innovación para el Emprendimiento Agrario. Volumen 6. Fundación para la Innovación Agraria. Ministerio de Agricultura. Chile.
- FIA, 2009. Tecnologías Aplicables en Agricultura de Precisión. Uso de precisión en evaluación, diagnóstico y solución de problemas productivos. Serie FIA. Plataforma Silvoagropecuaria. Servicio de información para la innovación.
- INIA QUILAMAPU, 1998. El Manzano, una Alternativa Rentable para la VIII Región. Informativo Agropecuario. Bioleche-INIA Quilamapu. Ministerio de Agricultura. Chile.
- LOBOS, G., MUÑOZ, T. 2005. Indicadores de Rentabilidad y Eficiencia Económica de la Producción de Manzanas cv. Gala en la Región del Maule, Chile. Agricultura Técnica. 65(4):421-436.
- ODEPA-CIREN, 2007. Catastro Frutícola, Principales Resultados, Región del Maule. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias, Centro de Información de Recursos Naturales. Ministerio de Agricultura. Chile.
- SIMfruit, 2009. Resultados y Análisis de la temporada de Cerezas, Manzanas y Kiwis, 2008/09. Visión del Sistema de Inteligencia de Mercado de la industria Frutícola Chilena. Boletín de Mercado.
- SIMfruit, 2009. Resultados y Análisis de la temporada de Uva de mesa, carozos 2008/09. Visión del Sistema de Inteligencia de Mercado de la industria Frutícola Chilena. Resumen Temporada Fruta de Carozo 2008/09.

Se consultaron además las siguientes páginas web:

Anasac. www.anasac.cl

Bayer CropScience Chile. www.bayercropscience.cl

CIREN, Centro de Información de Recursos Naturales. www.ciren.cl

Copeval. www.copeval.cl

ODEPA, Oficina de Estudios y Políticas Agrarias. www.ODEPA.cl

Servicio Nacional de Aduanas. www.aduana.cl

SIMfruit, 2009. Sistema de Inteligencia de Mercado de la industria Frutícola Chilena. <http://www.simfruit.cl/fruit>

Además, se utilizó la información obtenida de la entrevista realizada a:

Stanley C. Best S., Ing. Agr.M.Sc. Ph D, Investigador de INIA-CRI QUILAMAPU, Chillán, VIII Región (Fono 042-209761, e-mail: sbest@inia.cl)

ANEXO 3. **Documentación disponible y contactos**

El presente documento, su ficha correspondiente y los informes finales del proyecto precursor se encuentran disponibles como PDF, en el sitio Web de FIA “Experiencias de Innovación para el Emprendimiento Agrario” (<<http://experiencias.innovacionagraria.cl>>), al cual también puede ingresar desde la página de inicio del sitio Web institucional, desde la opción “Experiencias de Innovación de FIA” (<www.fia.gob.cl>).

Contacto: fia@fia.cl