

OFICINA DE PARTES - FIA	
RECEPCIONADO	
Fecha	22 ENF 2008
Hora	11:15
Nº Ingreso	475

INFORME FINAL TÉCNICO Y DE GESTIÓN

EJECUTOR	: Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA)			
NOMBRE DEL PROYECTO	: Desarrollo De Una Metodología Nueva Para Manejo Sectorizado De Huertos De Manzanas Y Duraznos, Usando Imágenes Multiespectrales En Tiempo Real.			
CÓDIGO	: FIA-PI-C-2003-1-A-021			
INFORME	: Final			
PERÍODO	DESDE	23/05/2007	HASTA	22/01/2008
NOMBRE Y FIRMA COORDINADOR DEL PROYECTO			Stanley Best S.	
USO INTERNO FIA				
FECHA RECEPCIÓN				

ÍNDICE GENERAL

	MATERIA	PAGINA
I	PROLOGO	2
II	INTRODUCCION	3
II.1	UBICACION GEOGRAFICA DEK PROYECTO	5
II.1.1	UNIDAD PRODUCTIVA 1	5
II.1.2	UNIDAD PRODUCTIVA 2	6
III	FUNDAMENTACION	7
III.1	FACTORES QUE INFLUYEN SOBRE EL RENDIMIENTO Y LA CALIDAD EN FRUTALES	8
III.2	ELEMENTOS DE LA FRUTICULTURA DE PRECISIÓN.	9
III.2.1	SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA, SIG	9
III.2.2	SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL, GPS	12
III.2.2.1	FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA GPS	12
II.2.3	PERCEPCIÓN REMOTA	14
II.2.3.1	IMÁGENES MULTIESPECTRALES	15
II.2.3.2	RESOLUCIÓN	15
II.2.3.3	CORRECCIONES DE LAS IMÁGENES.	16
II.2.4	VARIABLES BIOFÍSICAS QUE EXPLICAN LAS DIFERENCIAS ELECTROMAGNÉTICAS, PARA LA FP.	19
II.2.4.1	DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE VEGETACIÓN DIFERENCIAL NORMALIZADO (NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX, NDVI)	20
III.	METODOLOGÍA DE ANÁLISIS	22
III.1	PLANOS DE NDVI	23
III.2	ELABORACIÓN DEL MARCO DE PLANTACIÓN DEL HUERTO.	23
III.3	CUANTIFICACIÓN DE LOS ÁRBOLES.	24
III.4	MEDICIÓN DE PROPIEDADES DE SUELO	25
III.5	EVALUACIÓN DE LOS PUNTOS MUESTRALES	27
III.5.1	CARACTERÍSTICAS VEGETATIVAS	27
III.5.2	CARACTERÍSTICAS DE CRECIMIENTO DE LOS FRUTOS	28
III.5.3	EVALUACIÓN DE VARIABLES DE RENDIMIENTO Y CALIDAD DE LOS FRUTOS AL MOMENTO DE COSECHA	29
III.5.4	EVALUACIÓN DE RALEO DIFERENCIADO DE FRUTOS POR PUNTO MUESTRAL	31

III.5.5	MUESTREO Y ANÁLISIS QUÍMICO DE TEJIDOS	31
III.6	MEDICIÓN Y CÁLCULO DEL ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (IAF)	35
III.6.1	RELACIÓN NDVI/IAF	36
III.6.2	OBTENCIÓN DEL AREA DE CANOPIA Y DEL INDICE FOLIAR RADIOMETRICO (IFR).	37
III.6.3	METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DEL IAF	39
III.7	VOLUMEN DE CANOPIA	40
III.7.1	METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DEL VOLUMEN DE CANOPIA	41
III.8	ÁREA SECCIÓN TRANSVERSAL DEL TRONCO (ASTT)	41
III.9	RELACIÓN NDVI / CALIDAD FRUTAL	42
III.10	EFFECTO DE LA CARGA FRUTAL SOBRE ATRIBUTOS SENSORIALES EN MANZANOS CV. ROYAL GALA.	44
III.11	PREDICCIÓN DE CALIDAD DE FRUTA CON TECNOLOGÍAS NO DESTRUCTIVA: ACUSTICO Y NIRS	45
III.11.1	LA ESPECTROSCOPIA DE REFLECTANCIA DE INFRARROJO CERCANO (NIR)	47
III.11.2	TÉCNICA BASADA EN EL PRINCIPIO ACÚSTICO	48
III.12	ESTIMACIÓN DE RENDIMIENTO	53
III.12.1	ESTIMACIÓN TEMPRANA "ALGORITMO PARA SEGMENTAR LOS FRUTOS EN EL ÁRBOL	53
III.12.2	ESTIMACIÓN DE RENDIMIENTO EN BASE A YEMA FLORAL.	55
II.13	RELACIONES HÍDRICAS	61
III.13.1	EFFECTO DEL AGUA SOBRE EL COMPORTAMIENTO ESPECTRAL DE LAS PLANTAS	62
III.13.2	POTENCIAL HÍDRICO DE LAS PLANTAS	66
III.14	MAPAS DE RENDIMIENTO	71
III.14.1	OBTENCIÓN DE MAPAS DE RENDIMIENTO "COSECHA MANUAL"	72
III.14.2	ELABORACIÓN DE UN MODELO DE COSECHA PARA LA ESTIMACIÓN DE RENDIMIENTO.	73
III.14.3	III.14.3 IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DIGITAL DE REGISTRO DE LOS BINS	74
III.15	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	75
III. 16	SOFTWARE DE GESTIÓN PREDIAL	76
III.17	DESARROLLO PROTOTIPO DE EQUIPO DE EDICIÓN DE VOLUMEN DE CANOPIA	77
IV	ANÁLISIS DE BRECHA	82

V	RESULTADOS	84
V.1	DETERMINACIÓN DE PLANOS NDVI	85
V.1.1	PLANOS DE VIGOR MANZANOS VAR. GALA.	86
V.1.2	PLANOS DE VIGOR MANZANOS VAR. GALAXY	87
V.1.3	PLANOS DE VIGOR MANZANOS VAR. PINK LADY	88
V.1.4.	PLANOS DE VIGOR NECTARINOS VAR. AUGUST RED	89
V.1.5	PLANOS DE VIGOR PALTO VAR. HASS	89
V.2	RELACIÓN NDVI/ CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELO (CE)	90
V.3	RESULTADOS EVALUACIONES POR CULTIVO	93
<u>V.3.1</u>	<u>NECTARINOS VAR. AUGUST RED</u>	93
<u>V.3.2</u>	<u>MANZANO VARIEDAD GALAXY</u>	97
<u>V.3.3</u>	<u>MANZANO VARIEDAD PINK LADY</u>	101
<u>V.3.4</u>	<u>MANZANO VARIEDAD ROYAL GALA.</u>	106
V.3.4.1	SEGUIMIENTO DE LOS PUNTOS MUESTRALES	106
V.3.4.2	RESULTADOS ANÁLISIS FRUTOS/ÁREA DE COPA	114
V.3.4.3	EFFECTO DE LA CARGA FRUTAL SOBRE ATRIBUTOS SENSORIALES EN MANZANOS CV. ROYAL GALA	115
V.3.4.4	RESULTADOS: PREDICCIÓN DE CALIDAD DE FRUTA CON TECNOLOGÍAS NO DESTRUCTIVA: NIRS	117
V.3.4.5	RESULTADOS: PREDICCIÓN DE CALIDAD DE FRUTA CON TECNOLOGÍAS NO DESTRUCTIVA: ACUSTICO _i	117
V.3.4.6	APLICACIÓN Y DESARROLLO DE TECNOLOGÍAS DE PRECISIÓN PARA EL DIAGNÓSTICO DE LA CARGA FRUTAL EN MANZANO (<i>MALUS DOMESTICA</i> , BORKH) 'ROYAL GALA'	118
V.4	EVALUACIÓN DE PLANOS DE COSECHA	120
V.5	EVALUACIÓN PALTOS VARIEDAD HASS	123
V.5,1	RESULTADOS	138
V.6	EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA INVESTIGACIÓN EN MANZANOS DEL PROGRAMA DE AGRICULTURA DE PRECISIÓN PROGAP DEL INIA	144
VI	COMPARACIÓN CON LO PREVISTO	153
VII	RESUMEN DE LOS RESULTADOS ANTERIORES	155
VIII	PROBLEMAS ENFRENTADOS	155

IX	DESAFÍOS A FUTURO	156
IX.1	RELACIONES HÍDRICAS: APLICACIÓN TERMOMETRÍA INFRARROJA	157
IX.2	MANEJO DE AGROQUÍMICOS EN LOS FRUTALES	159
X	ANEXO	167
X.1	TESIS DE GRADO DE MAGÍSTER "CLAUDIO TROC"	
X.2	TESIS DE PREGRADO "RODRIGO QUINTANA L."	
X.2	TESIS DE PREGRADO "FREDY SALAZAR S."	
X.4	MANUAL CORSIG	

INDICE DE FIGURAS Y TABLAS

Nº	FIGURA	PAGINA
1	Plano de ubicación Fundo San Manuel	5
2	Plano de ubicación Ascienda ROSASOFRUCO	6
3	SIG (CorSIG, desarrollado por el programa de agricultura de precisión INIA, presentado en anexo I y fundamentado mas adelante en este informe) visualizando un mapa de NDVI	11
4	Esquema de la constelación NAVSTAR.	13
5	Diferentes resoluciones espaciales obtenidos a partir de sensores montados en un avión, aplicadas en trigo.	15
6	Imágenes corregidas y dispuestas en un mosaico (vuelo 100)	17
7	Imágenes corregidas y dispuestas en un mosaico (vuelo 3000 m)	18
8	Porcentaje de la reflectividad versus banda R e IR	20
9	Interpretación de la imagen en terreno.	21
10	Desarrollo del Plano de Plantación del Huerto.	23
11	Población de Árboles	24
12	Mapas de Conductividad Eléctrica	25
13	Selección y medición de los brotes de manzanos por punto muestral.	27
14	Selección y medición de los brotes de Nectarinos (Var. August Red) por punto muestral.	27
15	Selección y medición de los brotes de Paltos (Var. Hass) por punto muestral.	28

16	Selección y medición de los frutos de manzanos por punto muestral.	28
17	Selección y medición de los frutos de nectarinos por punto muestral.	28
18	Selección y medición de los frutos de paltos por punto muestral	28
19	Conteo y peso de frutos durante la cosecha de manzanos de los puntos de monitoreo	29
20	Conteo y peso de frutos durante la cosecha de nectarinos de los puntos de monitoreo	29
21	Conteo y peso de frutos durante la cosecha de nectarinos de los puntos de monitoreo	29
22	Distribución en rangos de color de cubrimiento en porcentaje (%), de los frutos analizados por punto muestral.	30
23	EVALUACIÓN DE RALEO DIFERENCIADO DE FRUTOS POR PUNTO MUESTRAL	31
24	Procedimiento de la obtención del área de canopia a partir de una imagen RGB	38
25	Procedimiento de toma de muestra, para el análisis de IAF	40
26	Procedimiento técnico del análisis sensorial de los frutos analizados.	44
27	Ejemplos de resultados de modelos NIR realizados en aceite de oliva	47
28	Ejemplo de modelos de estimación de variables de aceites de oliva con sistemas NIR.	47
29	Interfaz del Software del equipo acustico	50
30	Unidad Implementada donde se aprecia la lectura del peso.	50
31	Vista de la unidad donde se aprecia el solenoide encargado de dar el impacto que produce la vibración.	51
32	Diagrama con los pasos a seguir para realizar una medición.	42
33	Algoritmo utilizado para la segmentación de frutas.	54
34	Esquema de los años de cada rama según disposición en el árbol	57
35	Esquema de los años de cada rama según disposición en el árbol	57
36	Metodología de corte de la rama seleccionada	58
37	Clasificación de las estructuras frutales en grupos.	59
38	Comparación de fertilidad % y tamaño de yemas en (mm)	60
39	Modelo de resistencia estomatica en la planta.	65
40	Distintos tipos de sondas TDR y zona de medida con 2, 3 ó 4 varillas	68
41	Evolución estacional del contenido de humedad del suelo (%v/v),	69
42	Representación de la humedad volumétrica del suelo mediante sensor FDR	71
43	Poligonos de Thiessen	73
44	Palm y identificación de puntos según Cuartel, Hilera y Árbol	74

45	Barra con la disposición de los sensores ultrasónicos, láser y cámaras de video	77
46	Disposición de las dos cámaras de video, se aprecia como las dos imágenes se traslapan un mínimo	78
47	Vista Lateral de las tres secciones medidas sobre cada árbol	79
48	Modelación matemática de la canopia a partir de los datos obtenidos en terreno por el sistema	81
49	Planos Tipo de Conductividad Eléctrica de huertos de Duraznos (A) y Manzanos, Variedad Royal Gala(B).	90
50	. Ejemplo de Integración de planos de CE y de Vigor, para Huerto de Duraznos (A) y de Manzanos (B).	91
51	Fotos de toma de muestras y visualización de condiciones de terreno	92
52	Crecimiento de los brotes (cm) en las distintas zonas de vigor, durante la temporada de monitoreo	93
53	Monitoreo hídrico de suelo en vigor medio, cuartel de nectarino Var. August Red	94
54	Crecimiento de los frutos (mm), en las distintas zonas de vigor, durante la temporada de monitoreo.	95
55	Crecimiento de los brotes (cm), en las distintas zonas de vigor, durante la temporada de monitoreo.	97
56	Monitoreo hídrico de suelo, cuartel de manzano Var. Galaxy	97
57	Relación rendimiento y calidad Rendimiento diferenciado	100
58	Crecimiento de los brotes (cm), en las distintas zonas de vigor, durante la temporada de monitoreo	101
59	Crecimiento de los frutos (mm), en las distintas zonas de vigor durante la temporada de monitoreo.	102
60	Rendimiento espacial var. <i>Pink Lady</i>	104
61	Relación rendimiento y calidad Rendimiento diferenciado	105
62	Crecimiento de los brotes (cm), en las distintas zonas de vigor, durante la temporada 2005-2006de monitoreo	106
63	Crecimiento de los brotes (cm), en las distintas zonas de vigor, durante la temporada 2004-2005 de monitoreo	107
64	Crecimiento de los frutos (mm), en las distintas zonas de vigor durante la temporada de monitoreo	108
65	FDR (Hilera 31 árbol 9), ubicado en la zona de vigor bajo	110
66	FDR (Hilera 12 árbol 70), ubicado en la zona de vigor alto	110
67	FDR (Hilera 19 árbol 13), ubicado en la zona de vigor medio	110
68	Representación grafica de las características de suelo	111

69	Relación rendimiento y calidad Rendimiento diferenciado	113
70	Relación acústico/Presión.	118
71	Programa digital para conteo de frutos	119
72	Sectorización de áreas de incidencia de cada bins sobre la base de su definición real en terreno y mediante uso de polígonos de thiessen (Cosecha Barrer, <i>August Red</i>)	120
73	Relación de estimación de rendimiento por árbol	121
74	Relación entre metodologías de thiessen y Manual en calculo de rendimiento por árbol (valores promedio de 6 zonas de vigor)	122
75	Crecimiento de los brotes (cm) en las distintas zonas de vigor, durante la temporada de monitoreo	125
76	Crecimiento de los frutos (mm) en las distintas zonas de vigor, durante la temporada de monitoreo	127
77	Desarrollo del diámetro ecuatorial de frutos	128
78	Desarrollo celular de palto.	128
79	Efecto de la asfixia radicular	130
80	Efecto de la acción del surfactante en el suelo	132
81	Algunos problemas asociados a estrés por asfixia en palto cv. Hass	133
82	Densidad de raíces de paltos "decaídos" y sanos.	134
83	Distribución de absorción de agua de un sistema radicular de palto	135
84	Humedad de suelo Paltos Hass, Vigor Bajo	138
85	Humedad de suelo Paltos Hass, Vigor Medio.	138
86	Humedad de suelo Paltos Hass, Vigor Alto.	139
87	Perfil de suelo Vigor alto.	139
88	Representación del Hardware que integra el módulo para estimación de Volumen de Canopia y Rendimiento Productivo	143

Nº	Tabla	Pagina
1	Espectro electromagnético y sus usos.	19
2	Distribución en rangos de color de cubrimiento en porcentaje (%), de los frutos analizados en los puntos muestrales.	30
3	Coeficientes de reparto de materia seca para frutales en etapa productiva.	35
4	Porcentaje de materia seca en frutos	35
5	Niveles foliares de macronutrientes considerados como referencia para el diagnóstico nutricional de manzanos y duraznos	35
6	Diferencias promedios de crecimiento de brotes (cm) del cuartel oeste, durante la temporada por zona de vigor	93
7	Diferencias promedios de diámetros de frutos (mm), durante la temporada por zona de vigor.	95
8	Calidad de frutos por zona de vigor.	96
9	Resultados espaciales de los parámetros fonológicos y calidad de frutos con valores de NDVI.	96
10	Diferencias promedios de crecimiento de brotes (cm) durante la temporada por zona de vigor.	97
11	Diferencias promedios de crecimiento de frutos (mm) durante la temporada por zona de vigor.	98
12	Calidad de frutos por zona de vigor	99
13	Resultados espaciales de los parámetros fonológicos y calidad de frutos con valores de NDVI.	99
14	Diferencias promedios de crecimiento de brotes (cm) durante la temporada por zona de vigor	101
15	Diferencias promedios de diámetros de frutos (mm) durante la temporada por zona de vigor	102
16	Calidad de frutos por zona de vigor	103
17	Resultados espaciales de los parámetros fonológicos y calidad de frutos con valores de NDVI.	103

18	Diferencias promedios de crecimiento de brotes (cm) durante la temporada por zona de vigor.	106
19	Diferencias de crecimiento total de los brotes por temporada	107
20	Diferencias promedios de crecimiento de frutos (mm) durante la temporada por zona de vigor.	108
21	Crecimiento total de los frutos por temporada	108
22	Calidad de frutos por zona de vigor	110
23	Resultados espaciales de los parámetros fonológicos y calidad de frutos con lvalores de NDVI	112
24	Efecto de la carga frutal sobre la aceptabilidad general percibida por el consumidor en manzanas desde sitios de vigor bajo, medio y alto. Cultivar "Royal Gala". Temporada 2006/2007	115
25	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	116
26	Efecto de la carga frutal sobre el calibre percibido por el consumidor en manzanas desde sitios de vigor bajo, medio y alto. Cultivar "Royal Gala". Temporada 2006/2007	116
27	Efecto de la carga frutal sobre el Color percibido por el consumidor en manzanas desde sitios de vigor bajo, medio y alto. Cultivar "Royal Gala". Temporada 2006/2007	116
28	Resultados de la regresión espacial entre Polígonos de Thiessen y Polígonos manuales.	120
29	Resultados de la regresión espacial entre Polígonos de Thiessen y valores de NDVI por árbol.	124
30	Diferencias promedios de largo de brotes (cm), durante la temporada por zona de vigor.	125
31	Textura de suelo por zona de vigor.	125
32	Diferencias promedios de diámetro de frutos (mm), por zona de vigor.	127
33	Ensayo Surfactante y Riego diferenciado.	137
34	Grado de compactación de suelo en la superficie (mm	140
35	Grado de compactación de suelo a 1 mt de profundidad.	140
36	Tolerancia de compactación:	140

I. PROLOGO

El presente informe de Fruticultura de Precisión (FP) es parte y producto del proyecto conjunto de la **Fundación para la Innovación Agraria FIA** y el **Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA** a través de su **Centro Regional de Investigación Quilamapu**, denominado: "Desarrollo de una metodología nueva para manejo sectorizado de huertos de manzanas y duraznos, usando imágenes multiespectrales en tiempo real". Posee una orientación teórico-práctica, complementando con información y aspectos técnicos basados en estudios de caso ejecutados en el marco del proyecto, que generan las bases orientadoras para la interpretación y aplicación a escala comercial de la FP. . Es importante visualizar que si bien el proyecto logro grandes avances, este afianzo con mejor claridad las necesidades técnicas-prácticas del los rubros asociados al proyecto, factor base y objetivo principal de todo proyecto FIA.

Así, en el presente informe se resaltan los alcances logrados por el proyecto, su difusión y orientación en los nuevos desarrollos que deben seguir como línea futura para lograr un inserción en el mercado y esta a su vez lograr la innovación deseada y necesaria en el mercado frutícola. Dicho factor antes mencionado, ya se esta desarrollando mediante un convenio de cooperación vía PDP-CORFO y empresa GreenVic S.A. y otro con Trinidad S.A. Además, se esta en el desarrollo de un proyecto de invocación empresarial CORFO y la empresa GreenVic S.A., el cual tiene su base en los desarrollos logrados en el actual proyecto que finaliza, dando así la continuidad de esta línea de investigación. Finalmente, cabe destacar, que esta línea de investigación ha demostrado tener una amplia gama de oportunidades científicas – comerciales, con un potencial de impacto futuro sustancial, con una clara necesidad asociada a los requerimientos internacionales de un mercado moderno el cual debemos ir ajustándonos para ser competitivos y mantener un negocio altamente importante para el país.

II. INTRODUCCION

El proceso de globalización económica, iniciado con mayor énfasis hacia fines del siglo XX, ha implicado importantes cambios en las estrategias competitivas de los países en vías de desarrollo. Este hecho se demuestra de manera fehaciente en el caso de Chile. Es a partir de los años noventa que el País inicia una activa política de apertura comercial que ha dado importantes dividendos. Esto le ha permitido a nuestro país disponer de una entrada preferencial a los mercados más exigentes e importantes del mundo, logrando acceso de libre comercio con el 86% del PIB del mundo. En esta década la fruticultura se ha posicionado como uno de los principales sectores exportadores nacionales, y se encuentra dentro de los proveedores líderes a nivel mundial. Chile enfrenta actualmente la gran oportunidad de convertirse en una potencia alimentaria, para lo cual deberá abordar un conjunto de desafíos para avanzar en esta nueva etapa. Uno de estos desafíos es el cumplimiento de las normas de calidad (ISO, EUREPGAP, BPA; entre otras), debido a ello la reciente homologación del estándar chileno en Buenas Prácticas Agrícolas ChileGAP® por parte de EUREPGAP®, constituye un hecho de gran relevancia para la industria hortofrutícola chilena. Es un reconocimiento concreto respecto a la preocupación por parte del sector, en responder a los exigentes requisitos de los mercados internacionales en aspectos relativos a la inocuidad alimentaria, así como del nivel técnico que la industria ha alcanzado en el desarrollo y aplicación de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) en Chile y una evidencia de la preocupación permanente del sector por los aspectos asociados a la Responsabilidad Social Empresarial, , la protección a los trabajadores y al medio ambiente. Como otro punto de alta relevancia es la "la Trazabilidad" de un producto, y que tiene esencialmente dos componentes: el "Tracking" o "Localización", que es la capacidad de construir la ruta completa seguida por cualquier lote de un determinado producto, a través de los registros realizados en cada proceso relevante de cada etapa por los que pasa dicho lote, y el "Tracing" o "Rastreo" es la capacidad de identificar la etapa de la cadena donde posiblemente se originó la causal del rechazo o retiro de un lote de producción, utilizando los antecedentes registrados. Es decir, el camino de ida y de vuelta. Nótese que el camino de vuelta en general sólo se efectúa cuando ocurre alguna situación de reclamo o retiro de mercadería.

Teniendo en cuenta lo antes mencionado, y visualizando que los mercados internacionales tienen cada vez estándares de calidad y sanidad mayores, los países en vías de desarrollo deben plantearse la necesidad de hacer frente al cumplimiento de dichas exigencias en

forma eficiente y efectiva. Sin embargo, generalmente no se cuentan con las herramientas necesarias para enfrentar este problema o aun peor, no se ha tomado conciencia de ellas y sus implicancias a mediano plazo, a lo anterior se agrega la alta competencia internacional, que reduce paulatinamente el mercado objetivo o sencillamente se pierde el mercado, ello obliga indiscutiblemente a cumplir con las normas impuestas para nuestra fruta de exportación. Sin embargo, el cumplimiento de dichas normas no será suficiente como para diferenciarse con el resto de nuestros competidores internacionales, sino más bien debe existir una visión de un país tecnológico que permita solventar su credibilidad. Todos los esfuerzos que actualmente se han realizado, apuntan al cumplimiento de estas normas, sin embargo, la información generada en el proceso no esta siendo útil para obtener mejor calidad y rendimientos, ya que la información es dispersa es solo un dato y no una herramienta o guía de acción en el manejo del huerto.

La organización e incorporación de toda la información anteriormente descrita, en un sistema digital, permite el posterior análisis de la misma, sin embargo, esta por sí sola no permite identificar la variabilidad espacial de calidades, rendimientos y factores productivos si no se incorpora el aspecto espacial (geográfico) y temporal (evolución) de los mismos, siendo estos últimos los que realmente permiten sectorizar los problemas. Al respecto, las empresas han tratado de identificar variaciones espaciotemporales con metodologías muy rudimentarias y de alto costo, las cuales no han obtenidos buenos resultados, por lo engorroso y el tiempo de captura que implica el obtenerlos, agregando que no se ha podido establecer un criterio estándar que sea aplicable. Para responder a lo anterior, este proyecto introducirá una tecnología nueva, la cual consiste en obtener imágenes multiespectrales oportunamente para identificar y magnificar las diferencias en los huertos y asociar estas diferencias a las causales en terreno, paso seguido, se pretende tomar acciones cuantificables 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 permite gestionar el 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, en resumen se podrá mejorar el proceso productivo, cumplir con las exigencias internacionales y posicionar las empresas a un nivel de competitividad igual o superior que los países desarrollados, aumentando el horizonte de competitividad de la agricultura chilena.

II.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL PROYECTO

Descripción unidades productivas participantes (unidades de ensayo, prediales, demostrativas y/o de réplica).

II.1.1 UNIDAD PRODUCTIVA 1

Propietario (Nombre, RUT, dirección, ubicación geográfica): Sociedad Agrícola San Manuel Ltda., 84.109.000-4, ubicada camino a Los Niches Km. 15, Curicó, VII Región, siendo las coordenadas de ubicación del predio: S35° 1,5' W71° 57,2'.

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 2m. Los árboles han sido conducidos en sistema solaxe e injertados sobre portainjerto MM111.

MAPAS DE UBICACIÓN

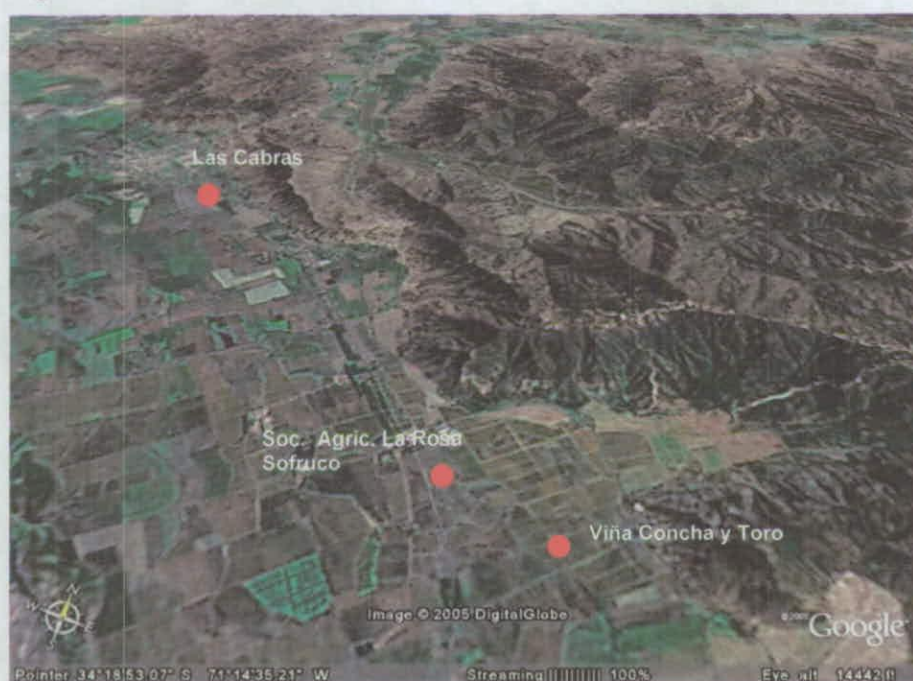
Figura N°1 Plano de ubicación Fundo San Manuel.



II.1.2 UNIDAD PRODUCTIVA 2

Propietario (Nombre, RUT, dirección, ubicación geográfica): hacienda ROSASOFRUCO S.A., 90.831.000-4, CARRETERA LA FRUTA KM 30, PEUMO. Su ubicación en las coordenadas es de S34° 19' W71°15'. En esta empresa se trabajó en el fundo SOFRUCO en el cultivar de Paltos y el fundo La Rosa Sofruco con el cultivar Nectarinos

Figura 2. Plano de ubicación Ascienda ROSASOFRUCO



La especie analizada corresponde a Nectarines variedad August Red, que fue establecido en el año 1.992, la distancia de plantación es 5,0 metros (m) x 2,5 m; el portainjerto utilizado es Nemaguard. La superficie corresponde a 6,09 hectáreas (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, factor que dio a lugar a un cambio en la especie analizada a paltos la cual fue conversada e informada a la coordinadora del proyecto por parte del FIA. En Paltos se trabajo en la variedad Hass, cuya correspondiente dimensión del cuartel es de 2,2 hectáreas.

CAPITULO III

FUNDAMENTACION

III.1. FACTORES QUE INFLUYEN SOBRE EL RENDIMIENTO Y LA CALIDAD EN FRUTALES.

Las variaciones de rendimiento y calidad de fruto a nivel intrapredial generan interés tanto en productores como en asesores frutícolas. Sin embargo, por falta de información el manejo agronómico al que se someten los huertos tiende a ser homogéneo, es decir, se considera que los factores productivos (suelo, agua, nutrientes, topografía, etc.) tienen una distribución regular, situación que no es representativa y que se ve reflejada en las diferencias de rendimiento y calidad de los frutos de los distintos árboles de un huerto (Ortega y Flores, 1999). Diversos estudios señalan que, existe una estrecha relación entre cantidad y calidad de fruta (calibre y características organolépticas) con el área foliar, debido a la producción de azúcares y fotosintatos en las hojas. Por otro lado las labores de poda, raleo de frutos, riego, etc. se desarrollan sobre la base de cuarteles completos, lo cual también influye fuertemente sobre dicha relación.

Sumado a lo anterior, se debe incluir la variabilidad en los factores de suelo _ planta – agua - microclima, etc., que influyen notablemente sobre el comportamiento fisiológico de los frutales, traduciéndose finalmente en diferencias significativas en la calidad y rendimiento de la fruta obtenida. Conocido es que, solo a nivel de cuartel, si consideramos las características físicas del suelo, es posible encontrar un variado número de texturas, profundidades y densidades. Por otra parte, las características químicas del suelo presentan también alta variabilidad: fertilidad y capacidad de intercambio iónico, principalmente. De esta manera, se originan distintas calidades de fruta que, a su vez, darán como resultado distintas calidades, algunas de ellas no deseadas en términos de rentabilidad. Estos factores varían de una temporada a otra, lo cual está determinado esencialmente por las condiciones meteorológicas en cada año y su interacción con las labores de manejo agronómico.

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

1. *Variabilidad espacial*: expresa las diferencias de producción en un mismo campo, en una misma temporada de cosecha.
2. *Variabilidad temporal*: expresa los cambios de producción en un mismo campo, en distintas temporadas de cosecha.

El rendimiento de los cultivos varía espacialmente y determinar cuándo y dónde las variaciones en las propiedades del suelo causan fluctuaciones en el rendimiento es el desafío que enfrenta la agricultura de precisión (Melchiori, García y Echeverría, 2003). En general la idea es cambiar el sistema tradicional de aplicación de insumos, desde uno que se hace bajo la suposición de que los terrenos tienen un potencial de rendimiento homogéneo, por otra suposición de mayor precisión, en que el aprovechamiento de los insumos se hace basado en el conocimiento de la variabilidad de respuestas dentro de un lote, lo que permitiría maximizar la respuesta económica en cada sitio. Según esto, ahorraríamos insumos en las áreas de bajo rendimiento potencial sin disminuir el rendimiento (que ya era bajo), para trasladarlo a las áreas con mayor potencial, que si pueden aumentar la producción aprovechando los insumos correctamente.

III.2. ELEMENTOS DE LA FRUTICULTURA DE PRECISIÓN.

Con el objetivo de evaluar el impacto de los cambios vegetacionales, tanto desde el punto de vista del uso de rendimiento y calidad de frutos, es indispensable cuantificar las superficies en desarrollo. Actualmente en plantaciones frutícolas no se dispone de antecedentes cuantitativos ni geográficos que permitan definir con exactitud las áreas involucradas.

La tecnología actual ofrece la posibilidad de interpretar la superficie terrestre a través de la percepción remota – imágenes satelitales y fotos aéreas. A través de este método, se puede obtener información confiable y certera de la actividad fotosintética que presentan las coberturas vegetales en un determinado momento (Rogan, Franklin & Robert, 2001; Chuvieco, 2002; Hoffhine & Sader, 2002; Capuc, 2004; CCRS, 2004 Inrena, 2004. Las herramientas que justifican y apoyan lo descrito anteriormente se definen en:

III.2.1 SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA, SIG

Hoy en día, la agricultura al igual que la mayoría de las actividades económicas, se desarrolla dentro de un contexto de mercados globalizados. Chile no escapa a esa realidad, lo que implica una mayor competitividad en la producción y elaboración de productos de consumo humano, estando los agricultores forzados a adoptar nuevas tecnologías agrícolas apoyadas, por ejemplo; en técnicas computacionales para mejorar la gestión y el control de sus actividades, asiendo mucho más fácil la resolución de las dificultades que se pudieran presentar. Una de esas técnicas son los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Los SIG son una herramienta computacional en pleno desarrollo y cada día esta tecnología está al alcance de múltiples usuarios y los agricultores no están ajenos a estos adelantos, ya no basta la intuición o la habilidad para explotar los recursos agrícolas en los predios, se necesita el apoyo de técnicas computacionales para aumentar la eficiencia productiva cuando es necesario manejar gran cantidad de variables en las prácticas o actividades de gestión y planificación predial. Permite el manejo de datos con una referencia espacial o denominada en el lenguaje específico "georeferencia" (Chuvieco, 2002). Estos sistemas operan mediante modelos, los cuales permiten relacionar diferentes variables espaciales además de representarlas geográficamente (Capuc, 2004). Una de las aplicaciones más importantes que tienen los SIG es la creación de grandes bases de datos georeferenciadas. Esto permite, entre otras funciones, identificar geográficamente un atributo temático en particular de alguna focalización en específica (Bosque, Escobar, García y Salado, 1997; Cebrian, j.1998. SAG, 2004).

Existe una variada gama de trabajos de gestión y planificación predial que se pueden hacer con los SIG. Entre ellos cabe destacar:

- Confección de cartas temáticas prediales como:
- Capacidad de uso de suelo.
- Profundidad del suelo.
- Problemas de drenaje.
- Red de canales y caminos.
- Infraestructura predial (casas, galpones, construcciones, tranques, etc.).
- Asociaciones vegetales.
- Zonas frágiles.
- Mapeo de rendimiento por cultivo y por potrero.
- Lectura de superficies y distancias.
- Mapas de Vigor u otro índice vegetacional.
- Planificación de nuevas obras de infraestructura al interior del predio.
- 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.

Cada una de estas capas de información se denominan mapas temáticos. 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 (Figura 2).

Figura 3: SIG (CorSIG, desarrollado por el programa de agricultura de precisión INIA, presentado en anexo I y fundamentado mas adelante en este informe) visualizando un mapa de NDVI.



La integración de los SIG con la percepción remota tiene una gran posibilidad de aplicación en la agricultura, desde niveles prediales, regionales hasta nacionales (Prados, 1995). A modo de ejemplo se puede identificar es área exacta de un suelo por vegetación en una fecha determinada, mapeo de áreas temáticas como salinidad (Metternicht, 2001), cartografía de caminos entre otras diversas aplicaciones para el estudio de ambiente (Chuvieco, 2000). Estas aplicaciones son de vital importancia al momento de planificación y gestión de territorio.

III.2.2 SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL, GPS

El Sistema de Posicionamiento Global, conocido por sus siglas en inglés GPS (Global Positioning System), es un sistema de radionavegación satelital operado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América. Este sistema está diseñado para que un observador pueda determinar cuál es su posición en la Tierra, con una cobertura sobre todo el planeta, en todo momento y bajo cualquier condición climática.

Si bien el sistema GPS fue diseñado esencialmente con fines militares, el uso civil se ha difundido debido a su utilidad en las más variadas disciplinas, que van desde las netamente científicas, como la geodesia y tectónica, hasta fines comerciales como el geomarketing, pasando por fines puramente recreacionales.

Otro factor importante en su difusión ha sido el bajo costo, ya que el uso del sistema es gratuito. Sólo es necesario contar con un receptor GPS, cuyo precio variará según el nivel de precisión que permita obtener.

III.2.2.1 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA GPS

El sistema GPS se basa en la constelación de satélites NAVSTAR (Navegación por Satélite en Tiempo y Distancia) que comenzó su operación entre los meses de febrero y diciembre de 1978, con el lanzamiento de los primeros cuatro satélites.

Luego se llegó a 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 4).

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.

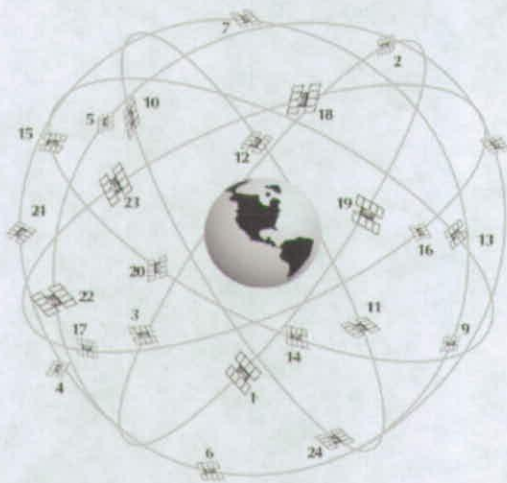


Figura 4. Esquema de la constelación NAVSTAR.

Si bien al hablar de GPS lo más común es pensar en el equipo receptor que nos permite determinar nuestra posición, éste es sólo una parte de un sistema compuesto por tres segmentos: espacial, control y usuario.

Para utilizar los satélites como puntos de referencia necesitamos saber, exactamente, dónde están en el momento en que se realiza la medición.

Recordemos que esta posición será el centro de una esfera de radio igual a la distancia al receptor que, intersectada con otras esferas, nos dará nuestra posición en la Tierra.

Cada satélite de la constelación NAVSTAR está a una distancia aproximada de 20.200 km de la Tierra, en una órbita sumamente estable por lo que también predecible mediante ecuaciones matemáticas.

Los receptores GPS tienen en su memoria un almanaque que les permite saber dónde está cada satélite en un momento determinado. Este almanaque es actualizado con las efemérides que corresponden a los datos que el segmento de Control transmite a cada satélite, con información sobre las correcciones en los cálculos de las órbitas, luego de los continuos monitoreos realizados por este segmento, mediante radares muy precisos que les permiten determinar con un error aceptable, la altura, posición y velocidad de cada satélite, llegando a errores, con un buen nivel de cobertura satelital, a no mayores de 10-15 mt en posición.

Para corregir estos errores se puede utilizar la metodología conocida como Corrección Diferencial Post Proceso, o cuando se requiere una información inmediata de alta precisión se puede utilizar el método de Corrección Diferencial en Tiempo Real o DGPS (errores submétricos de posición).

III.2.3 PERCEPCIÓN REMOTA

Proviene del inglés, *Remote Sensing*. Ideado a principios de los sesenta como concepto para designar cualquier medio de observación remota (Chuvienco, 2002). Científicamente definido como "la ciencia de adquirir información relativa a la superficie de la tierra sin necesidad de estar en contacto con ella" (CCRS, 2004). Prioritariamente, se le atribuía este nombre a la fotografía aérea y a la videografía. Hoy en día el término es un concepto amplio y está asociado a la detección de una superficie u objeto sin estar en contacto físico con ella, acción similar a la que realiza el ojo humano. Este recibe un haz energético de los objetos por reflejo de la luz solar o artificial.

Por tanto Percepción remota se entiende como, la adquisición de imágenes aéreas o satelitales de la superficie terrestre desde sensores instalados sobre plataformas espaciales y su posterior tratamiento, manipulación y análisis por parte de los usuarios finales (Chuvienco, 2002; CCRS, 2004).

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

Los materiales que utiliza la percepción remota, es en base a videografías, fotografías aéreas multiespectrales 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 y de la problemática de resolución de imagen, para luego definir variables de importancia determinadas mediante el sensoramiento remoto.

III.2.3.1 IMÁGENES MULTIESPECTRALES.

Para la obtención de las imágenes multiespectrales, se utiliza cámaras aéreas de tipo multiespectral, éstas 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 en un formato posible de interpretar por los expertos, generan verdaderas matrices digitales de píxeles – elementos pictóricos – (del ingles, Picture x elemet) que en su conjunto constituyen una imagen ó también denominados como "raster". Éstos están íntimamente relacionados entre sí y cada una 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.

III.2.3.2 RESOLUCIÓN

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

La resolución espectral se refiere a la habilidad de los sistemas de percepción de distinguir y diferenciar entre radiación electromagnética de distintas longitudes de onda. Esto es

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

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

Figura 5. Diferentes resoluciones espaciales obtenidos a partir de sensores montados en un avión, aplicadas en trigo.



III.2.3.3 CORRECCIONES DE LAS IMÁGENES.

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

a) **Correcciones Geométricas:** Consiste básicamente en verificar la georeferencia espacial de la información a utilizar.

Los problemas de distorsiones geométricas en este proyecto fueron subsanables mediante el uso del software ERDAS® v.8.5, el cual posee algoritmos de transformación en función de puntos conocidos en la superficie (Figura 3 Y 4). Dichos puntos fueron instalados con el equipo DGPS Trimble®. Cada punto de control (coordenadas geográficas conocidas) fue representado las esquinas de cada bloque en el huerto.

Figura 6. Imágenes corregidas y dispuestas en un mosaico

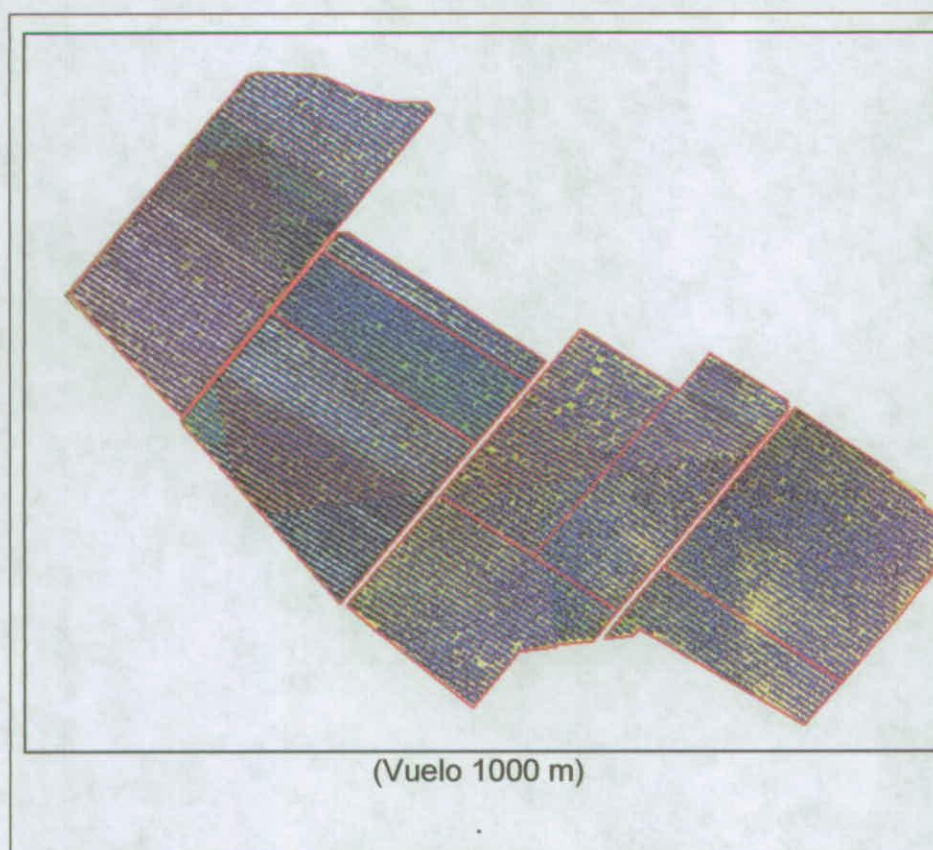
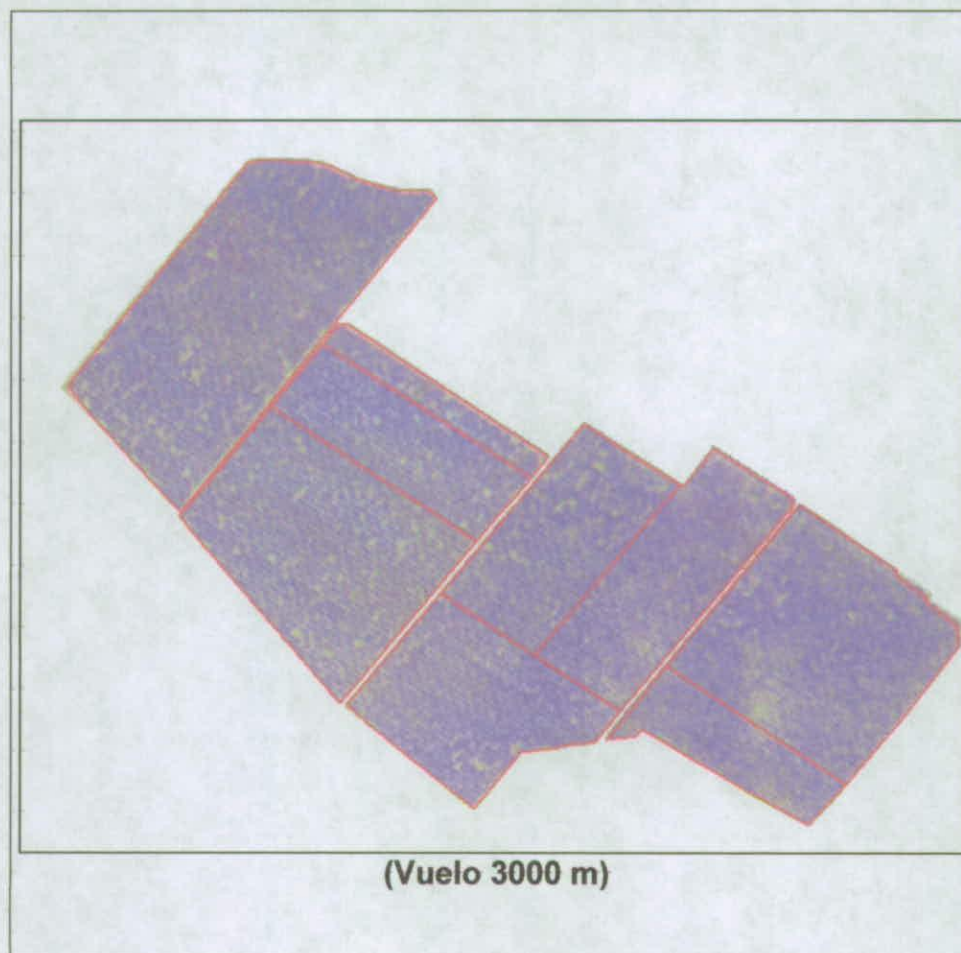


Figura 7. Imágenes corregidas y dispuestas en un mosaico



Las imágenes multiespectrales obtenidas, registra la refracción radiométrica de los huertos frutales (manzanos y duraznos), 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 NDVI.

II.2.4 VARIABLES BIOFÍSICAS QUE EXPLICAN LAS DIFERENCIAS ELECTROMAGNÉTICAS, PARA LA FP.

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).

Tabla 1. Espectro electromagnético. Banda y sus usos.

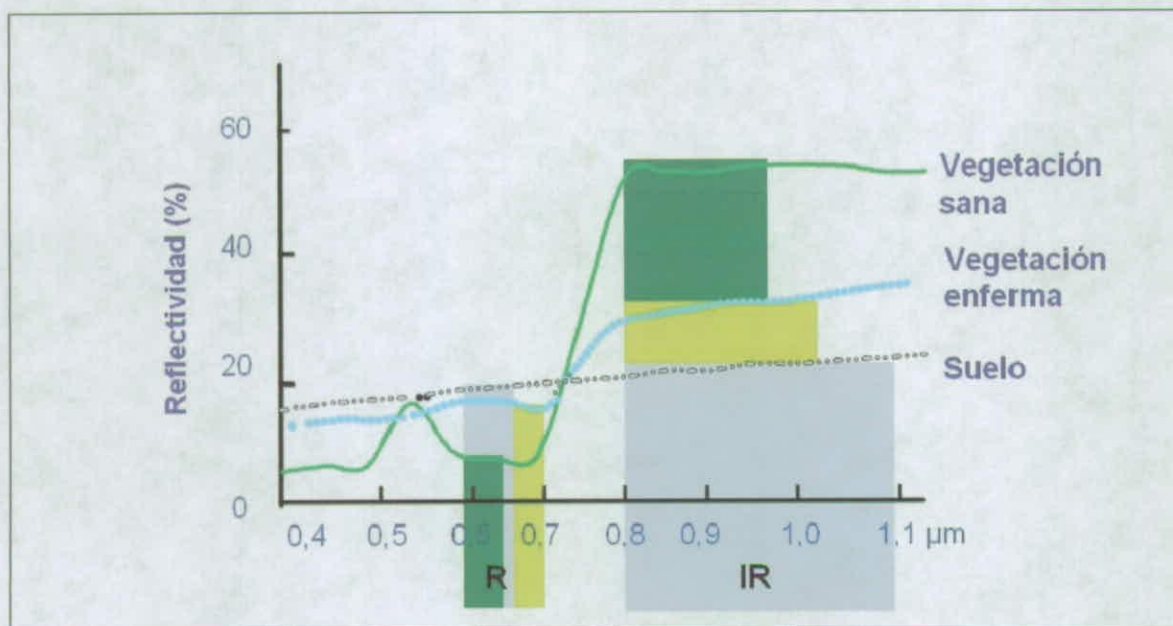
Banda / long. onda	Nombre	Utilización
1 / (0,4-0,5 μm)	Azul	Se usa para discriminar suelo de vegetación, mapeo de zonas costeras.
2 / (0,5-0,6 μm)	Verde	Utilizada para la identificación de centros poblados.
3 / (0,6-0,7 μm)	Rojo	Discriminación entre vegetación y otro tipo de coberturas; límites de tipologías de suelos y delimitaciones geológicas.
4 / (0,7-1,2 μm)	Infrarrojo cercano	Detectar y analizar vegetación en un área. Enfatiza el contraste de zonas de agua – tierra (suelo – vegetación). Sensible al agua.
5 / (1,55-1,75 μm)	Infrarrojo de onda corta	Discriminar entre especies de vegetación, nubes, nieve y hielos. Gran sensibilidad al agua.
6 / (5,0-14,0 μm)	Termal Infrarrojo	Observaciones de temperatura y sus efectos, densidad de vegetación, humedad y tipo de cobertura.
7 / (2,08-2,35 μm)	Infrarrojo medio	Discriminación de tipos de rocas y suelos, así como el contenido de humedad en los suelos y en la vegetación.

Los distintos elementos de la superficie terrestre tienen distintas respuestas energéticas frente a una mayor a ésta, como el sol. A éstas se les conoce como firmas espectrales y cada elemento tiene un propio. Un ejemplo de ello es la vegetación, el cual refleja con mayor intensidad en las longitudes de ondas de infrarrojo cercano (IRc) y menor en longitudes de onda roja. En el caso contrario, el agua, las nubes y la nieve reflejan con mayor intensidad en las longitudes de onda de la banda R y menor en la IRc. Otro caso, son las áreas pedregosas y suelo desnudo en que las respuestas de reflectancia son similares en las dos bandas (NASA, 2004). Es así como, no solamente se puede interpretar algún elemento mediante una sola banda, sino que también a través de la combinación de éstas.

II.2.4.1 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE VEGETACIÓN DIFERENCIAL NORMALIZADO (NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX, NDVI)

Existen diversos índices para el estudio de cubiertas vegetales, uno de los mas comunes, por su facilidad de interpretación y cálculo del NDVI. Éste modelo logra diferenciar las conductas espectrales entre la vegetación vigorosa, bajo vigor, muerta y suelo desnudo; realizando un cuociente entre la diferencia de las bandas R – Irc y la sumatoria de ambas (Chuvieco, 2002; CCRS, 2004). 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 los negativos del índice; y, las áreas pedregosas y suelo desnudo tienen valores cercanos a cero. Este último significa que no hay presencia de vegetación y cerca de +1 (0.8 – 0.9) indica probablemente una alta densidad de hojas (NASA, 2004).

Figura 8: Porcentaje de la reflectividad versus banda R e IR (Fuente: Chuvieco, 2002).



Por intermedio de las relaciones señaladas anteriormente, es posible estimar diversos parámetros de la cubierta vegetal, tales como: el contenido de clorofila y agua en las hojas, flujo neto de CO₂, radiación fotosintéticamente activa absorbida por la planta, productividad neta de la vegetación, índice de área foliar, cantidad de lluvia recibida por el dosel vegetal, dinámica fonológica, evapotranspiración potencial, etc. Para la medición directa en las imágenes es necesario utilizar una relación determinada de acuerdo a la variable en estudio. Según Chuvieco (1996), para aplicar estos índices con rigor deberían aplicarse previamente las correcciones atmosféricas y la conversión de ND (numero digital, es el valor que devuelve el sensor) a reflectividades. De todas maneras, siempre que no se pretenda conceder un valor físico a los resultados, el índice puede aplicarse directamente a los ND originales de la imagen. En este caso la valoración será relativa, pero sigue manteniéndose el mismo principio: 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 ser fotografías aéreas, mapas de vegetación o mapas de cobertura del suelo para la zona en cuestión.

Figura 8: Interpretación de la imagen en terreno.

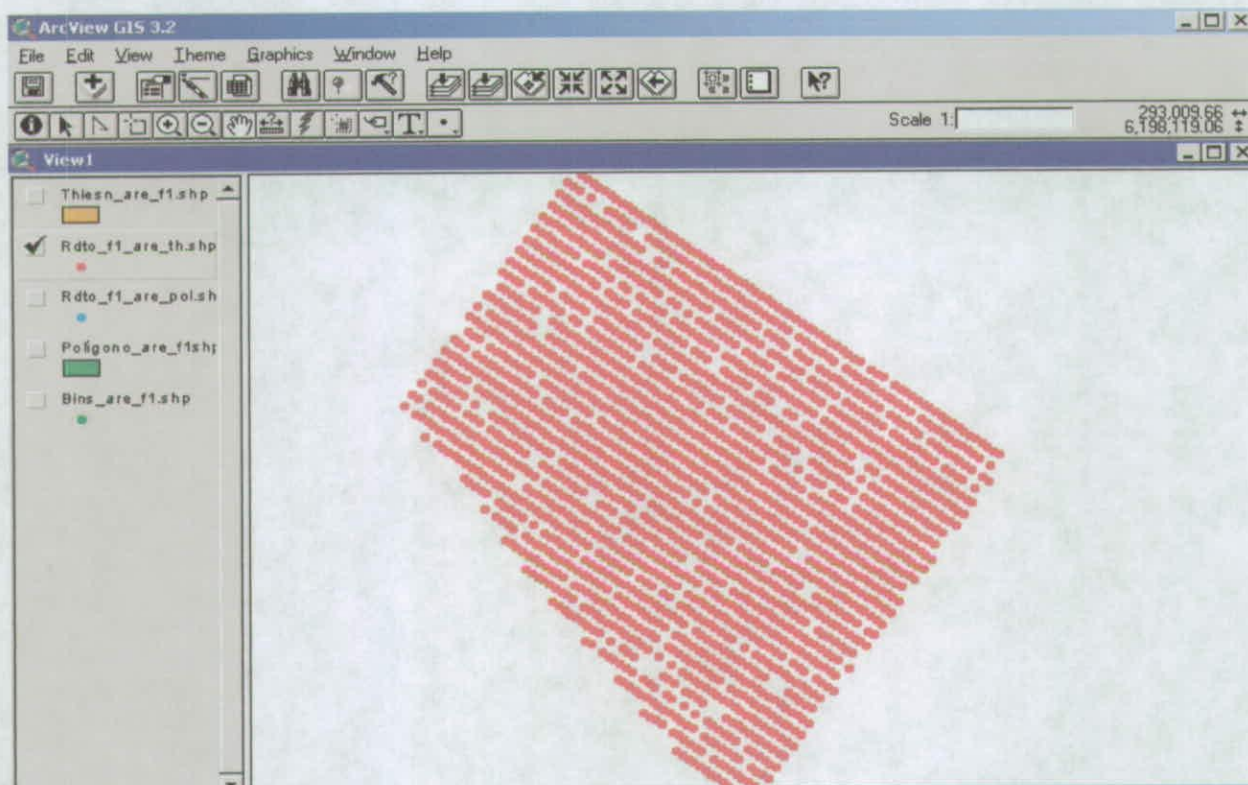


CAPITULO III
METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

III.3 CUANTIFICACIÓN DE LOS ÁRBOLES.

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

Figura 11. Población de Árboles



Este sistema simple de georreferenciación (en base a hileras y árbol), permite 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. Con esto se evita la dependencia de equipos tales como DGPS, cuyo costo y disponibilidad son prohibitivos bajo condiciones normales de producción, además la señal del equipo disminuye dentro del cuartel, por lo que la precisión de la información es menor.

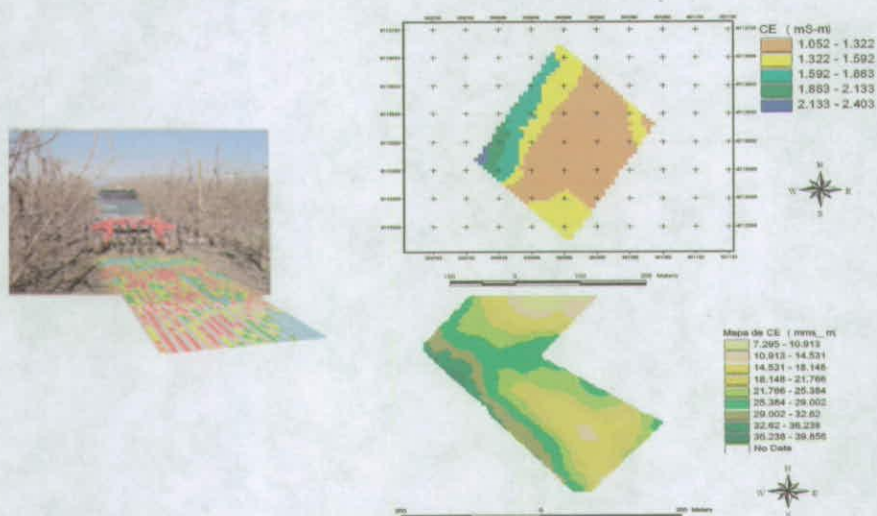
III.4 MEDICIÓN DE PROPIEDADES DE SUELO

Estudios realizados, indican la inmensa variabilidad de suelos en Chile (Ortega y Flores, 2000), la cuales son frecuentes fuentes de variación de los rendimientos y calidad de los frutales. La estimación de esta variabilidad, se puede hacer por medio de la adquisición de los datos de suelos en forma regular, con el fin de establecer un modelo de dispersión, pero es de alto costo por la densidad muestral que se requiere. Un segundo método es medir la conductividad eléctrica del suelo, la cual permite reducir la cantidad muestral (costos) ya que por medio de esta técnica se pueden zonificar áreas de conductividades similares.

Las mediciones espaciales de la conductibilidad eléctrica (CE), han sido reportadas como un potencial indicador de la variación de la producción de los cultivos, causados por diferencia en el agua del suelo (Jaynes et al., 1995; Sudduth et al., 1995). En algunos casos, la CE pueden ser directamente correlacionadas con una propiedad física y química del suelo como la localización de una estrata impermeable, textura, salinidad, agua, materia orgánica, metales entre otros (Doolittle et al., 1994; Sudduth et al., 1995; Kitchen et al., 1999; Jaynes, 1996; McNeill, 1992; Kitchen et al., 1996; Sudduth et al., 1999). Existen sensores que miden esta CE a través del contacto directo con el suelo como VERIS 3100, EM38, etc.

El uso de equipos que miden la conductividad eléctrica en tiempo real ha tomado gran interés en el sector vitícola nacional. La conductividad eléctrica (CE) es una medida indirecta del grado de salinidad de un suelo. Este valor puede ser usado para inferir propiedades físicas como la textura, puesto que la CE aumenta con el aumento en el contenido de arcilla. Los resultados de esta medición no son absolutos ya que la CE varía, además, con el contenido de agua, sales disueltas y temperatura del suelo. Esta medición se realiza mediante un equipo similar a una rastra de discos 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 georeferenciados (Figura 6) para un posterior manejo diferenciado. Los datos obtenidos a partir de la medición de CE son útiles para el diseño de sistemas de riego y para orientar el muestreo de suelos para análisis físico y químico.

Figura 12: Mapas de Conductividad Eléctrica



Esta herramienta debe ser respaldada con análisis de laboratorio (químico y físico de suelo), el cual el monitoreo de suelos debe realizarse en base a unidades muestrales por clases de vigor, derivadas de las imágenes multiespectrales, específicamente utilizando el índice de vegetación (IV).

Bajo este principio se toman muestras de suelo, a distintas profundidades según edad del huerto y a profundidad radicular efectiva según especie frutal, en los puntos definidos. La cantidad de muestras a ser obtenidas, será definida según las subdivisiones a ser realizadas. Sin embargo, se estima que no debieran ser más de 4 (desde un punto de vista práctico en el manejo del huerto futuro), estimándose una cantidad no superior a 50 muestras por área de estudio, durante el transcurso de este proyecto.

De cada una de las muestras se realiza un análisis de textura, curva de retención, pH, materia orgánica, N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Zn, S y B en el Laboratorio de Análisis de suelos del CRI Quilamapu. Donde dicha información será utilizada para la determinación de las potencialidades de los suelos en la expresión del vigor.

Como ya se ha indicado, el factor que infiere más sobre la expresión del vigor de un frutal, es el suelo, que en conjunto con la disponibilidad de agua, debe ser analizado. Los suelos pueden ser categorizado por sus componentes físico-químico y por el desarrollo de de raíces en su perfil. Suelos con alto potencial tendrán un enrizamiento por sobre el metro de profundidad, potencial medio entre 0,5 y 1 m y potencial bajo menores a 0,5 cm.

III.5 EVALUACIÓN DE 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 continuó evaluando los parámetros vegetativos y de fructificación como también la calidad de éstos en los mismos puntos de monitoreo de la cosecha 2004-06, que fueron explicados en el informe numero dos en de la metodología aplicada. 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).

III.5.1 CARACTERÍSTICAS VEGETATIVAS.

Se realizaron mediciones de largo de brotes, para lo cual se seleccionó cuatro de éstos por planta, ubicada a una altura de 1,5 m, orientado 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. Las mediciones se realizaron con una cinta o hinch de medir, cuyos datos obtenidos se calculó el valor medio de cada punto muestral.

Figuras 13 : Selección y medición de los brotes de manzanos por punto muestral.



Figuras 14: Selección y medición de los brotes de Nectarinos (Var. August Red) por punto muestral.



Figuras 15: Selección y medición de los brotes de Paltos (Var. Hass) por punto muestral.



III.5.2 CARACTERÍSTICAS DE CRECIMIENTO DE LOS FRUTOS.

Se seleccionaron cuatro frutos por árbol (8 frutos por punto muestral) asociado a cada brote, realizando mediciones de diámetro ecuatorial. Cada fruto seleccionado fue marcado por medio de una etiqueta, donde se identificó la hilera y el número de árbol correspondiente.

Figura 16: Selección y medición de los frutos de manzanos por punto muestral.



Figura 17: Selección y medición de los frutos de nectarinos por punto muestral.



Figura 18: Selección y medición de los frutos de paltos por punto muestral.



III.5.3 EVALUACIÓN DE VARIABLES DE RENDIMIENTO Y CALIDAD DE LOS FRUTOS AL MOMENTO DE COSECHA.

En esta etapa se cosecharon todos los frutos de cada punto muestral, realizando conteo de frutos y peso total. Posteriormente se extrajo una submuestra correspondiente al 25% del peso total y se analizaron los siguientes parámetros de calidad: diámetro ecuatorial, color, sólidos solubles, firmeza de pulpa y color de cubrimiento, en Manzanos y Nectarinos, en cambio en Paltos sólo se realizó mediciones de diámetro ecuatorial y determinación de materia seca de los frutos.

Figura 19: Conteo y peso de frutos durante la cosecha de manzanos de los puntos de monitoreo.



Figura 20: Conteo y peso de frutos durante la cosecha de nectarinos de los puntos de monitoreo.



Figura 21: Conteo y peso de frutos durante la cosecha de nectarinos de los puntos de monitoreo.



Firmeza de pulpa: Se realizaron dos mediciones por cada fruto, en puntos opuestos de la zona ecuatorial de ellos, utilizando un presionómetro marca Veto, modelo A6510006, con vástago de 11 y 8 mm.

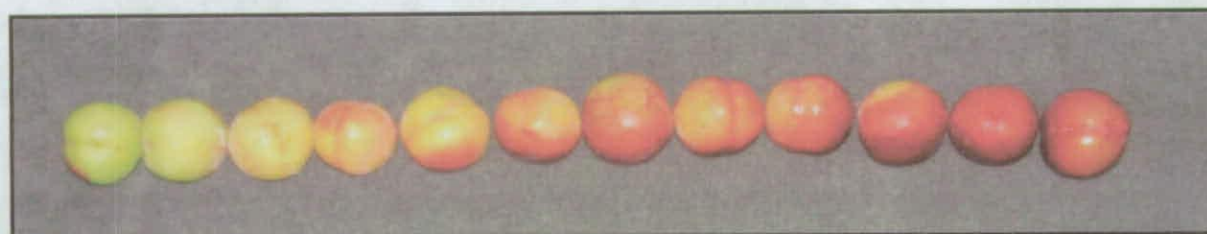
Sólidos solubles: A partir de un corte transversal del fruto se extrajo la muestra, donde fueron medidos utilizando un refractómetro de marca Veto, modelo R0010007.

Color de cubrimiento: Fue clasificado en cuatro rangos según el porcentaje de cubrimiento de color de cada fruto (Tabla 1 y Figura 10).

Tabla 2: Distribución en rangos de color de cubrimiento en porcentaje (%), de los frutos analizados en los puntos muestrales.

Rango	Porcentaje de Color de Cubrimiento
1	0-25 %
2	26-50 %
3	51-75 %
4	>75 %

Figura 22: Distribución en rangos de color de cubrimiento en porcentaje (%), de los frutos analizados por punto muestral.



Por otra parte, se evaluó a modo experimental un sistema de monitoreo no destructivo de calidad sobre la base de un sistema NIR facilitado por investigadores de la universidad católica de Leuven, el cual se encontraba en el país gracias a un acuerdo de cooperación internacional que existe con dicha entidad para trabajos asociados a un proyecto en el área vitivinícola, pero se aprovechó la oportunidad de probar el sistema con vías de utilización futura debido a sus cualidades y rapidez de captura de información.

III.5.4 EVALUACIÓN DE RALEO DIFERENCIADO DE FRUTOS POR PUNTO MUESTRAL.

Debido a que se vio 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, de tal forma, se pensó llevar a cabo un ensayo para visualizar si esta era la problemática o mas bien probas esta hipótesis. Así, se realizó un raleo diferencial de frutos por punto muestral en las diferentes variedades de Manzanos trabajados, con la finalidad de probar, si dejar mas o menos carga afecta la calidad de los frutos. Para estos efectos se escogieron dos árboles y un testigo (3 por punto muestral), en el cual uno de los árboles se dejo una carga de un veinte porciento más (+20%), y otro árbol con un veinte porciento menos (-20%) 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. El comienzo de esta evaluación se realizo el 24 de noviembre del 2005 para el huerto de manzano.

Al momento de cosecha la fruta de éstos árboles fueron pesada y contabilizada, extrayendo 10 frutos al azar por árbol para evaluar calidad de éstos.

III.5.5 MUESTREO Y ANÁLISIS QUÍMICO DE TEJIDOS

El crecimiento y desarrollo anual de un frutal en etapa productiva manifiesta variaciones que responden al manejo de la especie y a la interacción con los factores edáficos y climáticos. Estas variaciones pueden inducir a cambios estacionales reversibles en la concentración interna de los diferentes nutrientes esenciales, lo cual finalmente puede afectar el rendimiento y/o calidad de la fruta cosechada. A modo de ejemplo se puede citar el efecto de dilución ocurrido en huertos de manzano durante la etapa de pleno crecimiento de fruto (enero - febrero), en la cual, muchos nutrientes son atraídos hacia el fruto, provocando una sintomatología de deficiencia en los brotes nuevos en crecimiento. Este efecto de dilución es del tipo reversible, pero manifiesta un contenido insuficiente de aquellos elementos que manifiestan deficiencia (generalmente nitrógeno y magnesio).

Durante las diferentes etapas de desarrollo de un frutal se van produciendo cambios estacionales en la concentración de nutrientes a nivel de hojas y pecíolos (algunos elementos bajan su concentración y otros la suben). Estos cambios de concentración están relacionados a las necesidades nutricionales del fruto y al grado de movilidad interna de cada

elemento. El tejido foliar constituye el pool activo de reservas nutrimentales dentro de la planta, puesto que muchos elementos se encuentran en estado mineral dentro de la vacuola, y por tanto cumplen un rol fundamental como fuente de aporte inmediato de nutrientes a los centros de crecimiento (frutos).

Cuando se ha obtenido el resultado del análisis, éste debe compararse con un estándar que indique niveles deficientes, adecuados y excesivos. En este sentido, se denomina concentración deficiente o nivel deficiente a aquella concentración nutrimental bajo la cual se ve afectada la producción y/o calidad de la fruta. A su vez, la concentración excesiva es aquella en la cual se produce un efecto adverso en la producción, ya sea por competencia interna con otros nutrientes o por toxicidad de algún elemento. Por su parte, la concentración adecuada es aquella que asegura una producción cercana al potencial que permite cada condición edafoclimática, cumpliendo además con la calidad exigida en la fruta cosechada.

El análisis foliar ha demostrado ser un indicador efectivo del estado nutricional de los frutales y denotar posibles incidencias en el resultado de rendimiento y calidad de estos.

La muestra se seca y molida se calcina a 500° C en una mufla. Las cenizas se disuelven en HCl diluido y en la solución resultante se determinan las concentraciones de P, Ca, Mg, K, Cu, Fe, Mn, Zn y B.

Fósforo: en el filtrado proveniente de la calcinación de la muestra se determina la concentración de fósforo por colorimetría del complejo fosfo-vanado-molibdico.

Calcio, Potasio, Magnesio, y Sodio: en el filtrado proveniente de la calcinación de la muestra se determina la concentración de Ca, Mg K, Na por espectrofotometría de absorción y emisión atómica con llama de aire-acetileno y agregando Lantano para minimizar las interferencias.

Cobre, Hierro, Manganeso y Zinc: en el filtrado proveniente de la calcinación de la muestra se determina la concentración de Cu, Fe, Mn, y Zn por espectrofotometría de absorción atómica directa con llama de aire-acetileno.

Boro: en el filtrado proveniente de la calcinación de la muestra se determina la concentración de boro por colorimetría con azometina-H.

Nitrógeno total: la muestra de tejido vegetal seca y molida se digiere en tubo con H₂SO₄ y ácido salicílico-catalizador. En el filtrado proveniente de la digestión se determina la concentración de N-NH₄ por destilación de NH₃ y titulación manual.

Cuantificación del grado de deficiencia de N, P, K, Ca y Mg en las especies evaluadas en este proyecto.

Sea cual sea el objetivo del muestreo foliar, una vez que se tiene el resultado se deben realizar las comparaciones pertinentes. En términos subjetivos, el análisis comparativo del valor porcentual que presenta cada elemento es relativamente sencillo, y permite identificar aquellos elementos que se encuentran en un rango adecuado, deficiente o elevado. Cuando un elemento se encuentra en un rango normal, se puede inferir que el aporte del suelo y/o la dosis de fertilización empleada es suficiente para suplir los requerimientos específicos del huerto, por lo tanto, en la próxima temporada se puede usar una estrategia de fertilización similar. Por el contrario, cuando un elemento se encuentra en un rango inadecuado, se podría inferir, en términos subjetivos, que durante la próxima temporada se debería usar una dosis superior (en situaciones de deficiencia) o inferior (en situaciones de exceso) a la utilizada en la temporada correspondiente al muestreo. No obstante, la cuantificación de esta dosis inferior o superior merece ciertas consideraciones de carácter objetivo.

El resultado del análisis foliar indica el contenido porcentual de nutrientes presente en las hojas (lámina más pecíolo) para la mayoría de las especies frutales, y del pecíolo para vides viníferas y de mesa. Además, las hojas ocupan un porcentaje determinado de la materia seca total que compone a un árbol frutal. Por consiguiente, al utilizar estos 2 elementos objetivos se puede calcular la magnitud de la deficiencia o exceso a través de las siguientes ecuaciones: En función del rendimiento obtenido por cada grupo de vigor o productividad y de los resultados del análisis foliar respectivos, se determinó la cantidad de N, P_2O_5 , K_2O , CaO y MgO que faltaba en las hojas de cada árbol (identificados por grupo de productividad), para aquellas muestras que presentaron deficiencias nutricionales.

Para la determinación de los kilogramos de nutriente que se encontraban en déficit en las hojas se utilizaron las siguientes ecuaciones (Hirzel y Rodríguez, 2003):

Ecuación N°1:

$$\begin{array}{l} \text{Déficit de} \\ \text{Nutriente en hojas} \\ \text{(kg/ha)} \end{array} = \frac{(\% \text{ adecuado} - \% \text{ actual}) * \text{MSTF (kg/ha)} * \text{CRH}}{100}$$

Donde;

MSTF = Materia seca total del frutal.

CRH = Coeficiente de reparto de hojas.

Ecuación N°2:

$$\begin{array}{l} \text{MSTF} \\ \text{(kg/ha)} \end{array} = \frac{\text{Rendimiento esperado (kg/ha)} * \% \text{MSF}}{\text{CRF} * 100}$$

Donde;

%MSF = Porcentaje de materia seca en frutos

CRF = Coeficiente de reparto de frutos

Los coeficientes de reparto de materia seca de los frutales utilizados en este estudio se presentan en el Cuadro 2. Los porcentajes de materia seca de los frutos de las especies evaluadas se presentan en el Cuadro 3. El contenido crítico de nutrientes en hojas utilizado para la determinación de deficiencias se presenta en el Cuadro 4, y corresponde a la media del rango adecuado señalado por Clarke et al. (1986).

Tabla 3: Coeficientes de reparto de materia seca para frutales en etapa productiva.

Especie	Fruto (CRF)	Hoja (CRH)	Brote (CRB)	Raíz (CRR)	Estructuras permanentes (CREP)
Manzano	0,52	0,17	0,06	0,05	0,20
Duraznero	0,36	0,23	0,16	0,05	0,20

Fuente: adaptado de Silva y Rodríguez (1995).

Tabla 4. Porcentaje de materia seca en frutos.

Frutos	Porcentaje de materia seca (%MSF)
Manzana	16,0
Durazno	18,0

Fuente: adaptado de; Silva y Rodríguez (1995).

Tabla 5 Niveles foliares de macronutrientes considerados como referencia para el diagnóstico nutricional de manzanos y duraznos.

Especie	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
Manzano	2,0	0,2	1,5	1,5	0,3
Durazno	3,0	0,2	1,5	1,5	0,2

III.6 MEDICIÓN Y CÁLCULO DEL ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (IAF)

En materiales biológicos, la luz reflejada varía ampliamente entre las diferentes plantas según la arquitectura de las hojas y su composición fisiológica. Así, la interacción entre la radiación electromagnética y la vegetación terrestre es compleja, con numerosas variables que afectan la forma e intensidad de la reflectividad y/o absorción.

Los principales factores que se relacionan con variables biofísicas (Índice de área foliar o IAF, fracción vegetal y contenido de clorofila) relacionados con comportamientos fisiológicos de las plantas que estarán integrados en este proyecto. La calidad, tanto de manzanos como duraznos, está bajo la influencia principalmente de factores tales como la proporción de peso de fruta y área de foliar del frutal, la cantidad de luz del sol directamente interceptada por la fruta, y niveles de tensión de agua y nutrientes existentes durante la temporada. La densidad de pabellón del frutal (el índice de área foliar, IAF) es así una variable clave de interés. El IAF es importante porque controla muchos de los procesos biofísicos y biológicos asociados con la vegetación, tales como fotosíntesis, respiración, transpiración, ciclos de los nutrientes y carbono, entre otros. El IAF está fuertemente correlacionado con muchos procesos fisiológicos como evapotranspiración, balance hídrico, interceptación de luz por el dosel, y producción total primaria neta. Así, el IAF es una variable clave que posee una relación funcional con la refracción espectral. Un sinnúmero de investigaciones han demostrado la alta correlación entre el IAF y la refracción existente en las regiones espectrales del rojo e 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. La refracción del infrarrojo cercano se incrementa con la adición de capas de hojas hasta que se alcanzan 2 a 3 capas, momento en el cual la reflexión del infrarrojo cercano se hace constante. Así, el uso de la reflectancia del dosel puede ayudar a entender las relaciones funcionales entre las características del cultivo y observaciones espectrales.

Así, la información espectral, obtenida por la medición de la refracción de la luz solar dada por las plantas, y la información espacial, ambas plasmadas en imágenes, son combinadas para proveer de una herramienta completa y compleja para acceder las características de composición y localización de una entidad dada.

III.6.1 RELACIÓN NDVI/IAF

El índice de área foliar (IAF), es ampliamente utilizado para describir superficies fotosintéticas y de transpiración de doseles vegetales. Puede ser definido como la cantidad de superficie de hojas (considerando una cara), por unidad de suelo. De acuerdo a esta definición, el IAF es una cantidad adimensional, característica de un ecosistema y que presenta importantes aplicaciones en ecofisiología, modelos de balance hídrico y caracterización de interacciones vegetación- atmósfera. El IAF produce variaciones a nivel microclimático, las que controlan una serie de aspectos tales como la intercepción de luz, extinción luminosa e intercambio de agua y CO₂. Por tal motivo es un componente importante de los ciclos biogeoquímicos de los ecosistemas. Cualquier cambio en el IAF, ya sea debido a heladas, sequías o prácticas de manejo, es acompañado por modificaciones en la productividad.

Por otra parte el índice de área foliar puede tener una aplicación nutricional ya que una gran cantidad de reservas están presentes en el follaje, destacándose nitrógeno, calcio y azúcares, además una excesiva superposición de hojas dentro de una planta, producirá un efecto de sombreamiento, el cual rápidamente altera el funcionamiento óptimo de las hojas y limita el desarrollo de color en la fruta.

Nuestro objetivo en el presente trabajo es encontrar correlaciones significativas entre el área de la canopia y el NDVI obtenidos mediante fotografías aéreas y otros parámetros como el área de la sección transversal del tronco y el volumen de la canopia.

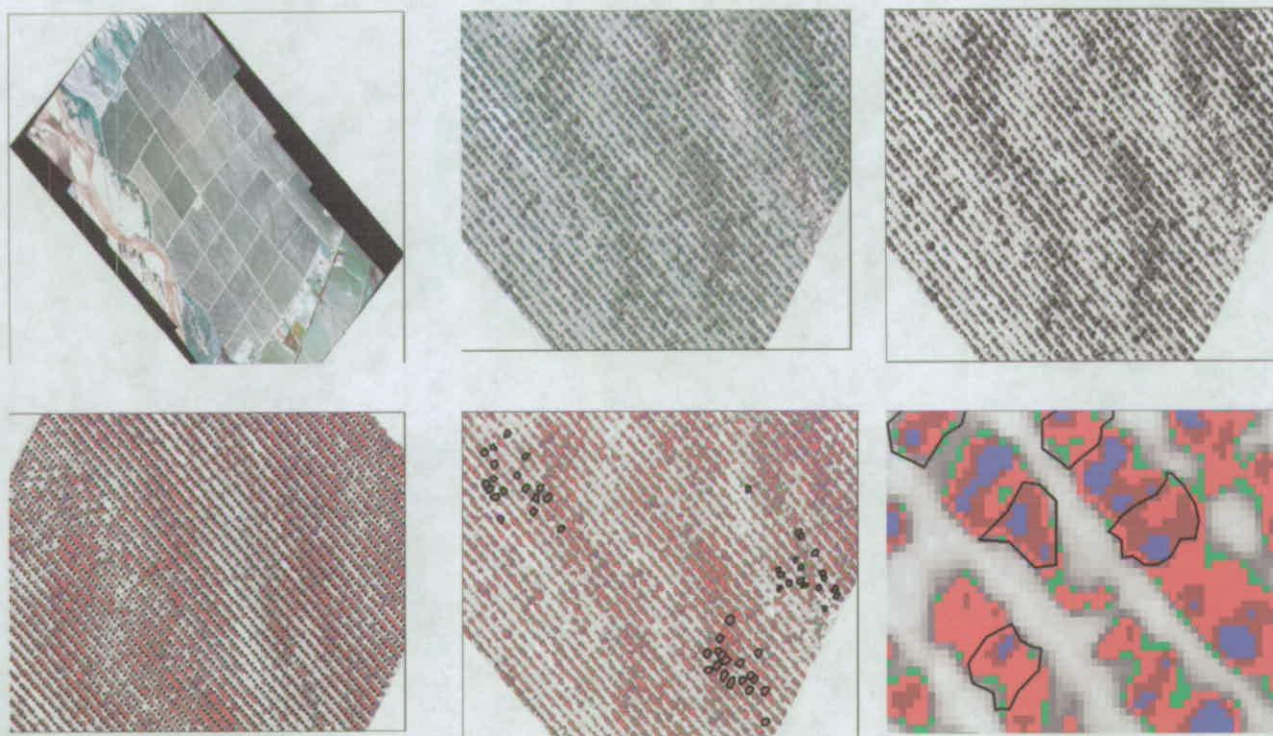
III.6.2 OBTENCIÓN DEL AREA DE CANOPIA Y DEL INDICE FOLIAR RADIOMETRICO (IFR).

Imágenes Multiespectrales y RGB del cuartel en estudio fueron obtenidas utilizando las cámaras DuncanTech Modelo MS310 (Duncan Technologies, Inc y Kónica, respectivamente montadas en un avión Cessna a 1000m de altura. La imagen multiespectral tenía una resolución de 1m por pixel, mientras la RGB era de 0.3m por pixel. Mediante la generación de un Sistema de Información Geográfica (SIG) en ARCVIEW se poseía un sistema de grillas cartesiana (X,Y) georeferenciado con la ubicación espacial de los árboles en el huerto. 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. Una vez obtenida la vegetación se

procedió a seleccionar los perímetros de las copias de los manzanos manualmente, considerando para ello que en el centro de las copias el tono es mayor.

Utilizando el toolbox IMAGE ANALYSIS de ARCVIEW se obtuvo el área de las copias de los árboles en estudio tanto para la imagen RGB y NDVI. Finalmente se procedió a normalizar el área de copia por el valor NDVI promedio para cada copia. Para la obtención del IFR de los 54 árboles en estudio.

Figura 24: Procedimiento de la obtención del área de copia a partir de una imagen RGB



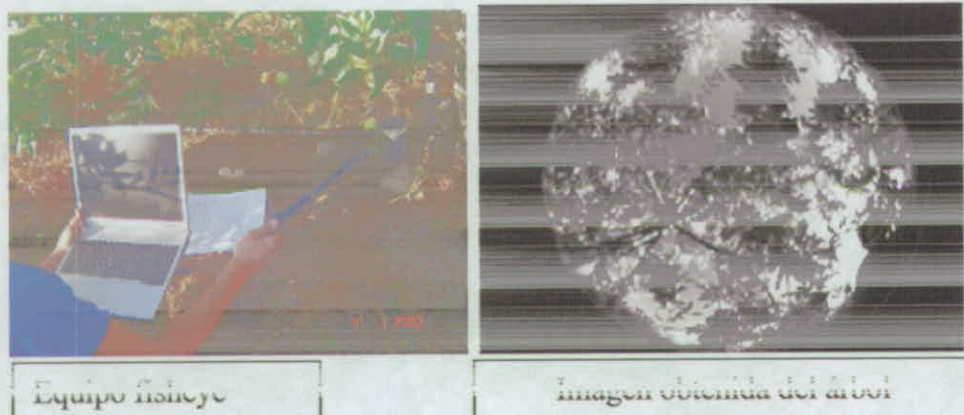
Fotos: A) Imagen Aérea RGB del huerto (200 ha); B) Cuartel Royal Gala en estudio; C) Segmentación de las copias de los árboles; D) Grilla de puntos para identificar los árboles ; E) Perímetros de copia de 54 árboles en estudio; F) Obtención del Área de copia

El sistema de cuantificación de área foliar a partir de imágenes digitales, posee grandes ventajas, tales como:

- Reducción del tiempo de medición.
- Permite realizar mediciones in situ.
- Permite trabajar con valores reales.
- Reducción del tiempo de respuesta ante posibles correcciones del cosei.

III.6.3 METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DEL IAF

Una semana antes de cosecha se obtuvieron fotografías con el fisheye Después de cosecha se deshojaron en total 27 de los 54 árboles utilizados en el ensayo, de tal forma que se deshojó 1 árbol por cada bloque y por cada tratamiento perteneciente a cada nivel de vigor. Una vez cosechadas las hojas (ver fotografías), se echaron a sacos y se pesaron en una balanza, para luego obtener una submuestra, la cual fue llevada rápidamente a la cámara de almacenaje perteneciente a la planta piloto agroindustrial de la universidad de Concepción campus Chilian y luego se midió el IAF en la maquina perteneciente al laboratorio de suelos de la facultad de agronomía, luego con relaciones gravimétricas se obtuvo el IAF de los árboles.



Debido a la alta laboriosidad para la obtención del IAF (una persona se demora unas 3 horas y a la gran utilidad que presenta este indice, esperamos encontrar correlaciones altamente significativas entre el IAF y Algún indice entre NVDI y Area de canopia que fueron captados por fotos aereas en enero de 2007. Ademas de expresar algun indice de carga frutal en base a IAF o M^2 de follaje.

III.7 VOLUMEN DE CANOPIA.

La relevancia del conocimiento del volumen de canopia radica principalmente en la importancia de obtención de equilibrio del frutal y de la aplicación de agroquímicos al follaje, esto considerando que la fruta sólo ocupa el 1% del volumen de la planta. Por otra parte las aplicaciones de productos agroquímicos como por ejemplo Ca al follaje son muy importantes, ya que la baja tasa de absorción de CaCl_2 por raíces es baja, cercana al 1%, hacen necesario optimizar estas aplicaciones o utilizar la vía foliar para producir las correcciones necesarias que permitan la utilización optima de este elemento altamente necesario para la calidad de los frutos.

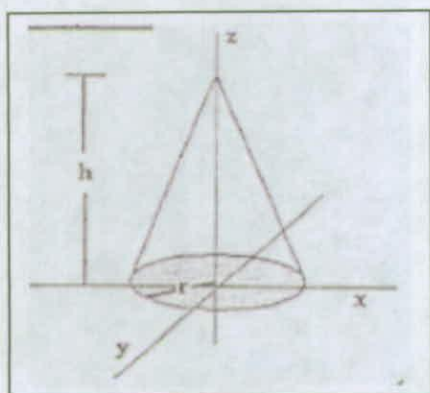
Figura 25: Procedimiento de toma de muestra, para el análisis de IAF.



III.7.1 METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DEL VOLUMEN DE CANOPIA

Se tomó el volumen utilizando la metodología propuesta por Wright et al 2004 del volumen del cono simple que requiere de 3 mediciones

- La altura de la canopia (h)
- El ancho de la base del arbol; paralelo a la hilera (a) y perpendicular a la hilera (b). Para el cono simple la medida de la base del eje (a y b) se dividió por 2 y promediado para dar el valor r (corresponde al radio promedio de la base). En la metodología se asume que el contorno del árbol es recto.



$$V = (1/3) \pi r^2 h$$

Con esta medición se podrá comparar carga frutal /m³ de follaje generando una metodología útil para las empresas de evaluación de la carga frutal. Además se espera obtener correlaciones significativas entre NVDI y area de canopia obtenidas mediante fotografías aéreas.

III.8 ÁREA SECCIÓN TRANSVERSAL DEL TRONCO (ASTT).

Este índice ya dispone de suficiente evidencia teórico -práctica, con la obtención de este parámetro podemos obtener la eficiencia productiva que corresponde a la cantidad de fruta en relación al área del ASTT.

Metodología de obtención del ASTT

Previo a cosecha en conjunto con el volumen de canopia se obtuvo el ASTT. Midiendo con huincha el perímetro de los troncos a una altura aproximada de 50cm sobre la superficie del suelo. Posteriormente se calculó el área

III.9 RELACIÓN NDVI / CALIDAD FRUTAL.

Numerosos mercados tienen cada vez mayores estándares de calidad, por lo que los países en vías de desarrollo deben plantearse la necesidad de hacer frente al cumplimiento de dichas exigencias. Lamentablemente, en la mayoría de los casos no se cuenta con las herramientas necesarias para hacerlo o peor aún, no se ha tomado conciencia de ellas y sus implicancias a mediano plazo. Sin embargo y por falta de información, el manejo agronómico al que se someten los huertos tiende a ser homogéneo; es decir, se consideran que los factores productivos (suelos, agua, nutrientes, microrelieve, poda etc.), tienen una distribución regular, toda vez que no se dispone de herramientas que permitan la obtención de la información necesaria que detalle estas variaciones.

Lo anterior hace que la variabilidad de los frutales siempre esté presente y los esfuerzos para disminuirla no tengan un efecto significativo. De igual manera, se está incurriendo en un alto costo en la normalización de la información de campo, con el objeto de responder a las exigencias impuestas para la trazabilidad del producto, agendas en la aplicación de agroquímicos y políticas de reducción, entre otros muchos factores. Todos los esfuerzos que actualmente se han realizado, apuntan al cumplimiento de estas normas; sin embargo, la información generada en el proceso no siempre está siendo útil para obtener mejor calidad y rendimientos, ya que la información es dispersa, constituye sólo un dato y no una herramienta o guía de acción en el manejo del huerto.

Es sabido que la variabilidad de los factores de suelos induce una variabilidad de los rendimientos y calidad (Kitchen et al., 1999). Con el manejo estandarizado u homogéneo del huerto, hace que estas variabilidades naturales del suelo se manifiesten en las diferencias de vigor, calidad y rendimiento de los frutales.

Existen estudios de variabilidad espacial en manzanos, un ejemplo de esto son los realizados por Tindall (www.simplotgrowersolutions.com/data/ACFC2.pdf), quien determinó una gran variabilidad en el rendimiento y calidad de un huerto de manzana de 10 acres en el estado de Washington (de 6.385 Lbs/acre a 28.600 Lbs/acre, dentro de un mismo huerto).

Esta variabilidad de rendimiento y calidad de frutales ha sido detectada también en cítricos (Schueller J. K et al., 1999). Otra forma de detectar la variabilidad en frutales es por medio del empleo de sensores remotos, por ejemplo el monitoreo de la Dosel en viñas con una cámara multiespectral (Johnson et al., 1996). Esta técnica permite obtener una imagen del vigor o sanidad de las hojas, obteniendo un mapa de vigor o índice de vegetación, con el cual

se puede relacionar la variabilidad de vigor con la calidad, rendimiento y factores físico-químicos del suelo, método que ha sido comprobado en Chile mediante la cooperación técnica INIA-UDEC y Empresas vitivinícolas en conjunto con empresas de servicio en una superficie de 7.500 há con alta correlación entre las imágenes y los parámetros de calidad de la uvas. Así, los resultados, tanto de evaluaciones en el rendimiento como de calidad de los huertos, han demostrado que existe una muy elevada variabilidad, lo que permite concluir que se requeriría una alta densidad de muestreo para lograr detectar los patrones de variabilidad necesarios para un buen monitoreo de factores productivos, hecho impracticable y antieconómico. Para ello, las muestras de calidad de frutas se obtienen mediante la localización de puntos muestrales según la variabilidad de los planos de NDVI para cada huerto frutal, para su análisis.

Un nuevo método utilizando imágenes digitales multiespectrales y RGB es propuesto para la estimación de rendimiento y calidad en manzanos *Malus domestica* Borkh, cultivar Royal Gala. El método consiste en segmentar las copias de los árboles y dividirlos por el valor NDVI para obtener el Índice Foliar Radiométrico (IFR). El índice fue evaluado en la temporada 2006/2007 en un huerto de manzano cv "Royal Gala". Para ello se utilizó una imagen NDVI clasificándola en 3 clases de sitios específicos de vigor: alto (VA), medio (VM) y bajo (VB). En cada sitio se establecieron tres niveles de carga frutal: baja (B), media (M) y alta (A). Al momento de cosecha se cuantificó el peso de fruto (PF, gr.), sólidos solubles (SS, °Brix) y color de cubrimiento (CC, %). El modelo explicó un 84%, 60% y 51% de la varianza para Producción (kg), Peso (grs) y Sólidos Solubles (°Brix), siendo el mejor modelo en comparación a la carga frutal expresada en Área sección transversal del tronco (ASTT), Volumen de copa (VC) y Área de copa (AC).

En la cosecha se cuantificó el peso de fruto (PF, gr.) para el 100% del tamaño muestral, y se obtuvieron submuestras para obtener sólidos solubles (SS, °Brix) y color de cubrimiento (CC, %).

III.10 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). Por lo cual el tamaño muestral total fue ($3 \times 3 \times 20 = 180$ frutos).

Los frutos fueron evaluados por el grupo de análisis sensorial de la Universidad de Concepción, que para la evaluación contó con 20 panelistas. De esta forma cada panelista probó 9 frutos presentados en 3 grupos (nivel de vigor) con 3 manzanas cada grupo (3 cargas frutales). Previo a la degustación los 180 frutos fueron medidos no destructivamente con el Nir y la técnica de medición acústica, fueron pesados y clasificados por color. Para luego medir en 2 puntos la presión con un presionómetro manual.

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 firmeza, contenido de azúcar, calibre, color se diseñó una escala no estructurada del 1 al 10 (ver anexo), mientras que para la evaluación sensorial se elaboró una escala hedónica del 1 al 9. En la medición se tuvo especial cuidado en el enmascaramiento del color y el calibre, para la no interferencia con los otros atributos evaluados firmeza y dulzor (ver anexo y fotografías) Entre los análisis los panelistas bebieron agua. Después de la evaluación las mitades de los 180 frutos fueron destruidos para medir grados brix.

Figura 26: Procedimiento técnico del análisis sensorial de los frutos analizados.



Fotos: A y B Preparación de las muestras para el panel sensorial. C y D Presentación de las muestras a los panelistas. E y F panelistas degustando las muestras.

La carga frutal como una medida de la productividad del huerto se define como la cantidad (número o peso) de fruta producida por árbol o unidad de rama , (Wunsche y Ferguson 2005), y es expresada generalmente en función del ASTT, N° de hojas por fruto, y mas recientemente en función del volumen de la canopia del árbol. Sin embargo todas las anteriores son consumidoras de tiempo y difíciles de realizar, lo que genera un bajo tamaño muestral para la predicción de rendimiento y calidad en los huertos. El uso de nuevas tecnologías como la utilización de imágenes aéreas de alta resolución ha generado expectativas en los productores debido al desarrollo de mapas de bajo costo que pueden ser de gran ayuda en el manejo de los huertos. El objetivo del trabajo tiene por finalidad la evaluación del Índice Foliar Radiométrico, para la predicción del rendimiento y calidad en manzanos.

III.11 PREDICCIÓN DE CALIDAD DE FRUTA CON TECNOLOGÍAS NO DESTRUCTIVA: ACUSTICO Y NIRS

La carga frutal afecta la calidad postcosecha (Wright et al 2006; Fadanelli et al 2005; Delong et al 2006) y estándares de alta calidad junto a la necesidad por la determinación de la durabilidad postcosecha ha aumentado la necesidad por evaluaciones simples y rápidas de características internas de fruta (De Baerdemaeker et al 2006). El termino calidad de fruta no ha sido un atributo bien definido pero compromete muchas características o propiedades que se relacionan con la apariencia, textura, flavor y nutrición (Abbott et al 1997). Durante el transcurso de la maduración existen una serie de fenómenos en los frutos como respiración, transpiración, emisión de sustancias volátiles, cambio de color y disminución de la acidez y firmeza (Urzúa 2001), estos cambios pueden ser positivos o negativos dependiendo de las preferencias del consumidor (Maib et al 1996), por lo cual el objetivo de la industria de manzanas es cosechar la fruta en la madurez adecuada y aplicar las tecnologías postcosecha para controlar estas tasas de cambio y así proveer al consumidor un producto aceptable.

Tanto la firmeza de pulpa como la concentración de sólidos solubles se consideran los parámetros de calidad interna más importantes (Lu y Ariana 2002), debido a que son afectados por factores de precosecha como estación, localización del huerto y exposición a la luz, aportando importante información del comportamiento postcosecha (Feree y Warrington 2003). La textura expresada como firmeza es a menudo utilizada como un indicador de madurez fisiológica, organoléptica y calidad en manzanas (Abbot 1994), siendo

un factor clave que determina la aceptabilidad de la fruta por el consumidor, conceptos como duro, blando, jugoso, crujiente, harinoso son términos que describen textura, existiendo una relación muy estrecha entre textura y firmeza (Harker et al 1997).

Por muchos años la medición de estos parámetros se ha hecho con instrumentos como el penetrómetro para firmeza y refractómetro para la concentración de sólidos solubles, comercialmente estas mediciones son hechas sobre pequeñas muestras (debido a la naturaleza destructiva de los instrumentos) tomadas desde lotes grandes para obtener un indicador estadístico de toda la calidad del lote, sin embargo frutas y vegetales son notoriamente variables y la calidad de piezas individuales puede diferir enormemente del promedio (Abbott et al 1997). Además para el caso de la firmeza el penetrometro no es capaz de detectar cambios muy pequeños (1-2%) causados por ejemplo por diferentes tipos de carga (apretones, caídas, daño por productos) (Felfolfi y Fekete, 2003.), incluso la precisión es afectada por la velocidad de aplicación y del sesgo del usuario (Hoehn et al 2003; Lehman, 1996; Harker et al 1996; Abbot, 1996) a lo anterior se suma que el penetrometro no puede detectar desordenes internos en manzanas (De Baerdemaeker et al 2006).

Por lo cual se han desarrollado instrumentos no destructivos como la técnica de la medición acústica y la utilización del NIRS (Spectroscopy Near- Infrared), que son metodologías no destructivas que permiten el monitoreo de parámetros de calidad a través del tiempo evitando los prejuicios causados por las variaciones en las mediciones fruta a fruta con métodos destructivos (Ventura et al 1998; Symoneaux et al 2005; De Baerdemaeker et al 2006; Duprat et al 1997)

III.11.1 LA ESPECTROSCOPIA DE REFLECTANCIA DE INFRARROJO CERCANO (NIR)

Ha sido reconocida como una poderosa técnica analítica por ser una herramienta rápida de determinación de varios constituyentes de los alimentos (Osborne et al., 1993), siendo un sistema no destructivo, de bajo costo y provee un ambiente sano de trabajo. En los últimos años, este tipo de sistemas (NIR) han sido utilizados en la industria olivícola para predicción – identificación de adulteración (Wesley et al., 1995), diferenciación – clasificación de aceites vegetales (Bertrán et al., 2000), y monitoreo de carotenoides y pigmentos de clorofila (Jiménez, 2003). Los tratamientos matemáticos de información NIR incluyen Multi Linear Regression (MLR), Principle Component Analysis (PCA), Principle Component Regression (PCR), Partial Least Squares (PLS) and discriminant analysis, los cuales requieren software altamente complejos como Unscrambler para la integración de información de laboratorio y NIR y generar los modelos predictivos (Jiménez, 2005).

En la figura 27, Ejemplos de resultados de modelos NIR realizados en aceite de oliva.

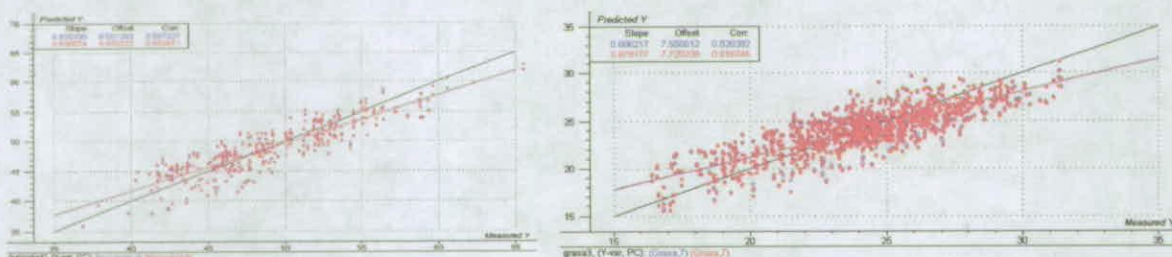
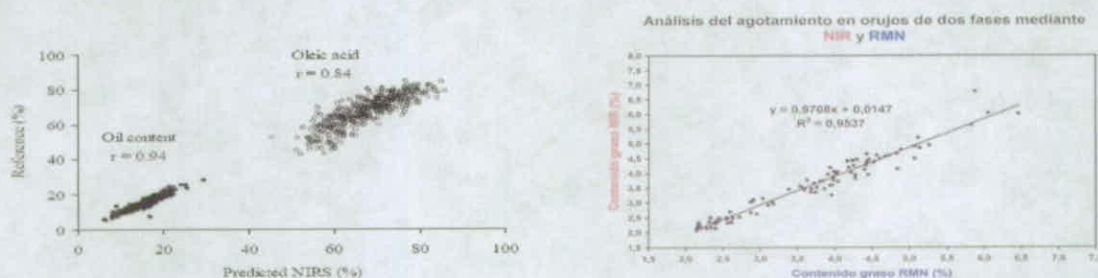


Figura 28. Ejemplo de modelos de estimación de variables de aceites de oliva con sistemas NIR.



Como ya se ha mencionado, el monitoreo de variables de calidad, rendimiento y biomasa deben mantenerse en equilibrios para potenciar el aceite producido.

El desarrollo de esto, debe realizarse en función de mantener las variables exógenas del cultivo bajo control y evaluar su evolución asociado a las variables antes mencionadas de tal forma que se pueda determinar las necesidades de estas para el logro del objetivo antes expuesto.

III.11.2 TÉCNICA BASADA EN EL PRINCIPIO ACÚSTICO.

Si bien el conocimiento de esta técnica se ha expandido en forma reciente para uso en frutas y hortalizas, ya en 1968 se encontró que la firmeza de frutas fue altamente correlativa con el coeficiente de rigidez S que resultó desde el sensor acústico definido como $f^2 m$, (Abbott et al., 1968), donde f es la frecuencia natural para una forma estilo elíptica que se asume para la fruta y m es su masa. El factor de rigidez fue luego modificado por Cooke (1972) quien mostró que el factor de corrección de masa fue $m^{2/3}$ más que m . Estas formulas son validas para frutas que se podrían catalogar como esféricas. Yamamoto et al. (1980) desarrolló un método acústico impulso-respuesta para el cual la fruta fue excitada por un impacto con un pequeño péndulo. Asimismo, un micrófono fue usado como sensor para medir la respuesta del pequeño golpe. Se mostró que las frecuencias de resonancia y los índices de firmeza, expresadas como funciones de la frecuencia de resonancia, masa y densidad de la fruta, son significativamente correlativas con la firmeza de frutas y mediciones sensoriales (van Woensel et al., 1987; Abbott and Lu, 1996).

Basándose en las conclusiones anteriormente descritas, y mediante la realización de diversas investigaciones llevadas personalmente adelante, el profesor Josse De Bardemaeker encabezó el desarrollo de un producto comercial basado en el principio acústico, el que es manufacturado por la compañía Holandesa AwetaTM, bajo el nombre de *acoustic firmness sensor*, AFS

III.11.2.1 Ventajas de la Técnica Acústica frente a Técnicas Tradicionales.

El hecho de ser no-destructivo permite al sensor acústico realizar un monitoreo con un numero de muestras limitado durante el periodo experimental, y en base a modelos proyectar la calidad de la población. No así cuando se trabaja con el dispositivo MT el que requiere cada vez nuevas muestras.

Se ha demostrado que la técnica acústica es capaz de detectar desordenes internos, donde la firmeza MT clásica no lo hace. Esto probablemente se debe al hecho que el pericarpio externo de la fruta, para el cual el MT da información, permanece sin daño; en contraste, el sensor de respuesta del impulso acústico proporciona un marco de calidad total, equivalente a un test global (De Bardemaeker et al., 2006).

Otro aspecto que vale la pena recalcar corresponde a la rapidez, facilidad y limpieza con que se realizan las mediciones, lo que hace mas grata la labor de muestreo y acorta los tiempos requeridos para ello.

III.11.2.2 Implementación de la Unidad

Generalidades

El equipo de medición se adquirió mediante un convenio de cooperación científica con el país de Bélgica, cuya institución es la Universidad Católica de Leuven.

Se implementó una unidad para medir la firmeza de manzanas, tomando como modelo a seguir el AFS de AwetaTM (Figura 12). Como se mencionó en los fundamentos de funcionamiento de esta técnica, para estimar el modulo de Young's, en este caso de una manzana, se debe tener los datos de frecuencia de resonancia, f , además del valor de la masa, m . Para ello se cuenta con el software desarrollado para la unidad original, que de igual forma se utiliza en la unidad implementada para calcular el valor de firmeza.

Descripción de la Unidad Implementada

El valor de la frecuencia es captado por un micrófono que se conecta directamente a la conexión provista para ello en el PC.

El valor de la masa de la manzana debe ser tecleado en el cuadro indicado para ello en la interfaz de usuario del software (Figura 13). El valor de la masa es medido en la misma unidad, con la presencia de una celda de carga, cuyo valor se muestra en el display LCD dispuesto para ello (Figura 29).

El impacto que se requiere dar a la manzana lo produce un solenoide dispuesto en la base en que se deposita la manzana sobre la unidad (Figura 15).

Un microcontrolador se encarga de dirigir el funcionamiento de la unidad completa.

La unidad presenta la opción de funcionar conectada a la red eléctrica (220V), a través de un transformador. También puede funcionar sin conexión a la red, para ello cuenta con baterías recargables incluidas, con la que logra una autonomía de tres horas.

Figura 29. Interfaz del Software: 1) Botón para la adquirir lectura del micrófono, 2) Señal en el dominio del tiempo, 3) Zoom de la Señal en el dominio del tiempo, 4) Señal en el dominio de la frecuencia obtenida al aplicar la FFT (Transformada Rápida de Fourier).

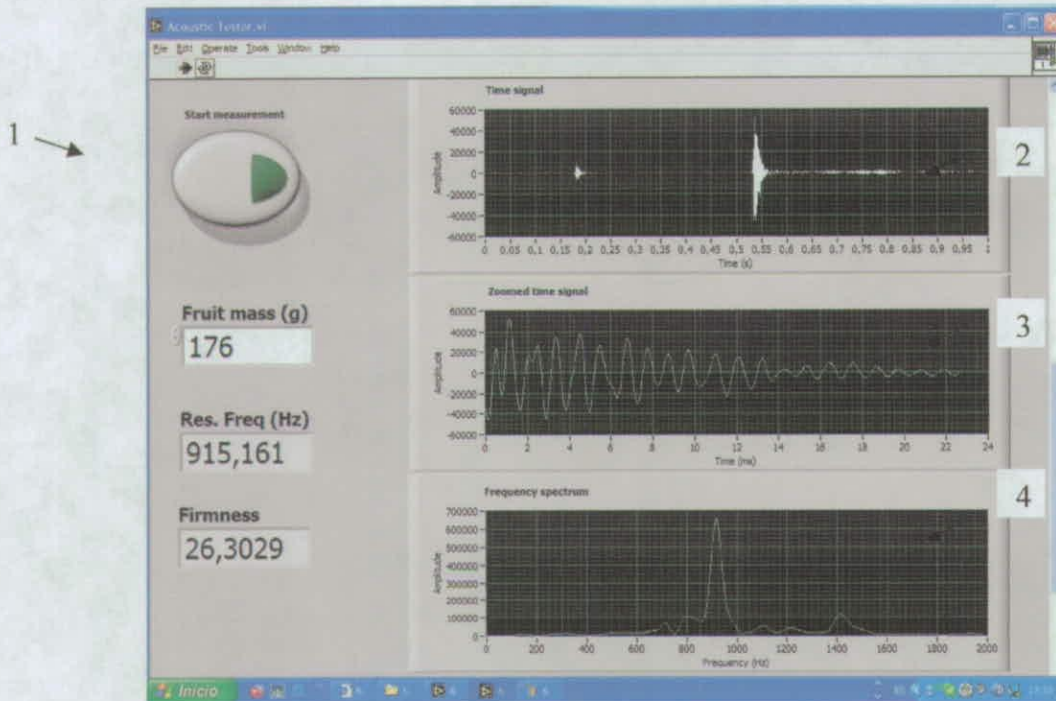


Figura 30. Unidad Implementada donde se aprecia la lectura del peso.



Figura 31. Vista de la unidad donde se aprecia el solenoide encargado de dar el impacto que produce la vibración.



Operación de la Unidad

Se intentó reproducir esta unidad de forma de facilitar en gran medida el trabajo demandado al usuario, para ello se organizó todo de tal forma que sólo se requiera colocar la manzana en el lugar previsto, y desde allí se obtenga la información requerida para calcular la firmeza de la misma, lo que en definitiva realiza el software.

En el diagrama se explica el funcionamiento del sistema que en conjunto con el software permiten obtener el valor de firmeza.

Se ha observado que la forma de la manzana influye en la estimación de la firmeza, encontrándose la existencia de varios modos esféricos, clasificados según proporciones y forma de la manzana. Debido a que se ve impracticable realizar mediciones a la manzana y luego clasificarla en el modo correspondiente, basado en la simulación de elementos finitos se han encontrado dos recomendaciones dirigidas a reducir el error en la firmeza. La primera es limitar la posición de la medida próxima al ecuador de la manzana, y la segunda es repetir las mediciones tres veces para cada manzana (Chen et al., 1993).

Figura 32. Diagrama con los pasos a seguir para realizar una medición.



En la técnica de la medición acústica para medir firmeza, la fruta es impactada con un pequeño martillo y el resultado mecánico de la vibración es luego medido directamente usando acelerómetros o vibrometros laser o indirectamente usando un micrófono para capturar la onda de sonido correspondiente, Luego un artefacto calcula el espectro frecuencial respondido desde la señal dominante del tiempo mediante promedios de la transformada rápida de Fourier. Luego se calcula un índice de firmeza $S = f^2 m^{2/3}$ donde f es la primera frecuencia de resonancia (Hz) y m es la masa de la fruta (Kg).

III.12 ESTIMACIÓN DE RENDIMIENTO

III.12.1 ESTIMACIÓN TEMPRANA "ALGORITMO PARA SEGMENTAR LOS FRUTOS EN EL ÁRBOL".

Un mes previo a cosecha se obtuvieron dos fotografías digitales por cada árbol a una distancia de dos metros de manera de obtener la imagen del árbol completo. La fotografía fue tomada con una resolución de tres mega píxeles y en formato jpg, utilizando para ello una cámara digital convencional (Sony DSC-W30, Japón)

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 (¿qué significa esto?), de esta forma los colores RGB (Nuevamente: ¿Qué significa esto?), fueron normalizados por:

$$r = R / (R + G + B)$$

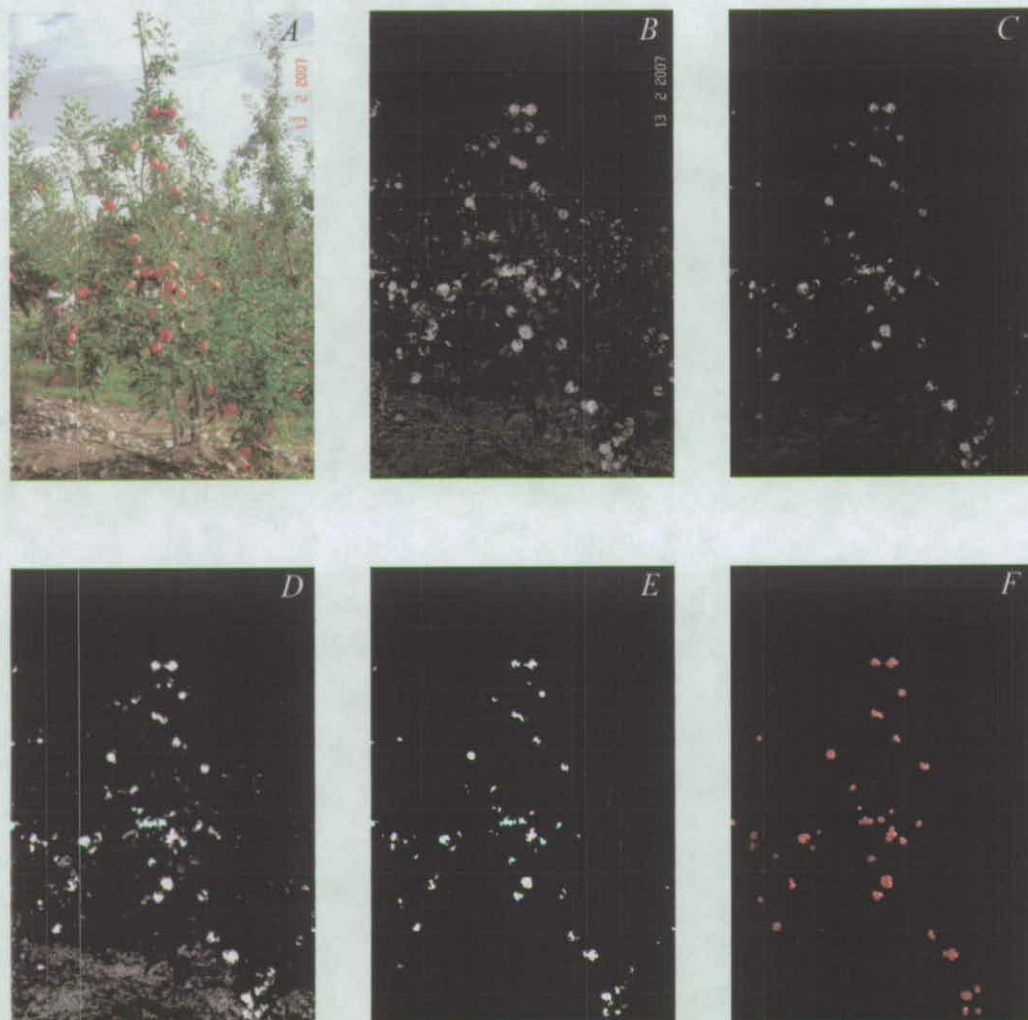
$$g = G / (R + G + B)$$

$$b = B / (R + G + B)$$

Donde r, g y b son los valores normalizados de las componentes de color RGB (Gonzalez y Goods, 1982). (En la metodología científica es innecesario indicar la ventaja de un método!!!)

Luego se realizó la diferencia normalizada: $(r-g) / (r+g)$, para de esta forma separar los frutos del resto de los píxeles. Las fotografías que presentaron frutos que pertenecían a otros árboles, se utilizó una función apertura, la cual suaviza el contorno de una imagen, rompe istmos estrechos y elimina protuberancias extrañas (Gonzalez y Goods 1982). Posteriormente, se utilizó una función de conectividad de píxeles que establece los límites de los objetos y los componentes de área de una imagen (Gonzalez y Goods 1982). Finalmente, se procedió a la conformación de una imagen binaria para así segmentar la fruta del resto de la estructura del árbol (Figura 33).

Figura 33: Algoritmo utilizado para la segmentación de frutas.



(A) Imagen original, (B) Diferencia Normalizada, (C) Operaciones morfológicas de Apertura y Erosión. (D) Función de conectividad-4. (E) Binarización de la imagen (F) Conteo de frutos mostrando los pixeles segmentados que pertenecen a las manzanas (NO SERÁ MÁS INTERESANTE INCLUIR ESTAS IMÁGENES EN TUS RESULTADOS)

III.12.2 ESTIMACIÓN DE RENDIMIENTO EN BASE A YEMA FLORAL.

La producción frutal depende de una serie de factores entre los cuales debe considerarse, entre otros el clima, suelo, tipo de cultivo y variedad, *Longley* (1960), en un amplio estudio estadístico encontró una estrecha relación entre la calidad de las flores producidas por árbol y la cosecha. Sin embargo, esto no se pondera sólo de la calidad (*Feucht*, 1955). Ya en 1917, otros estudios indican en manzanos la capacidad productiva de la flor depende del vigor del dardo y brote que dará origen a ella. Es mas las especies vegetales se caracterizan por ser de diferentes hábitos de vegetativos, lo que conduce a una forma típica de fructificar.

El cambio en los árboles frutales, el ritmo que induce la formación de flores coincide temporalmente con la formación de brotes y frutas. La formación de frutas o fructificación puede influir sobre el metabolismo de las yemas jóvenes de tal modo que puede afectar e incluso inhibir la floración de la próxima temporada.

El desarrollo estructural de los distintos órganos que conforman la flor en la próxima primavera comienza en las pomáceas normalmente a fines de diciembre, pero los procesos metabólicos que provocan la floración han comenzado ya en semanas anteriores.

Es evidente que el periodo de inducción floral (fines de noviembre hasta fines de diciembre) es mucho más importante que el periodo siguiente de formación de los distintos órganos de la flor, pues este ultimo proceso una vez comenzado, no se interrumpe sino a causa de condiciones de insuficiencia muy extremas., noviembre y diciembre, los meses críticos de la determinación floral, coinciden en las pomáceas con los meses de crecimiento vigoroso de la fruta.

La identificación de las unidades estructurales de significación biológica que componen los ejes foliados de las plantas leñosas es un paso fundamental en el estudio de la arquitectura de esas especies.

En las especies leñosas de crecimiento rítmico, tales unidades pueden delimitarse por los marcadores morfológicos resultantes de la alternancia entre periodos de alargamiento de los ejes y periodos en los cuales porciones de eje permanecen en estado embrionario constituyendo yemas terminales o axilares (*Hallé et al.*, 1978; *Caraglio & Barthélémy*, 1997). El reconocimiento de categorías de ejes y de las unidades estructurales que componen cada eje permite realizar descripciones y modelos precisos de la arquitectura de los árboles (*Reffye et al.*, 1991; *Reffye & Houllier*, 1997; *Barthélémy et al.*, 1997).

Algunos estudios demuestran que el número de órganos que constituyen una yema puede relacionarse con la longitud, el diámetro y el número de órganos del brote derivado de la misma (Remphrey & Davidson, 1994; Souza et al., 2000). Por otro lado, la longitud y el diámetro de una yema podrían ser buenos indicadores de la cantidad de órganos que la constituyen y, por lo tanto, del tamaño del brote que derivará de ella. Pese a ello, el número de estudios que incluyen el análisis del tamaño de las yemas y su relación con su composición es muy limitado (Remphrey & Davidson, 1994).

El conocimiento de las variaciones intraespecíficas en el tamaño de las yemas y su relación con la composición de las mismas según criterios arquitecturales permite una mejor comprensión de la conformación de la copa de los árboles y una evaluación más precisa del estado de desarrollo presente y futuro de árboles individuales o de sus ejes componentes (Caraglio & Barthélémy, 1997; Sabatier & Barthélémy, 2000).

Metodología de Análisis de Yemas.

1. Objetivos del Análisis de yema.

- a. Relación tamaño de yemas con fertilidad de ellas.
- b. Decisión de poda (¿Cuánto Podar?)
- c. Determinar la producción Total, de la temporada.

2. Fecha de Muestreo: se debe realizar antes de poda, o antes de yema algodonosa, en los meses de Mayo - Julio.

3. Elección del material: el criterio que se emplea para la elección del material, comprende 10 ramas de árboles más representativos por cada 5 hectáreas de terreno. Estas ramas no deben sobrepasar más de 5 años. La metodología se explica a continuación.

a. **CONOCIMIENTO DE LOS AÑOS DE LA RAMA:** El reconocimiento del año da cada rama, comienza de la punta hacia el tronco, donde cada separación de año de cada rama se distingue por un nudo o conjunto de anillos. Figura 1 y 2.

Figura 34. Esquema de los años de cada rama según disposición en el árbol.

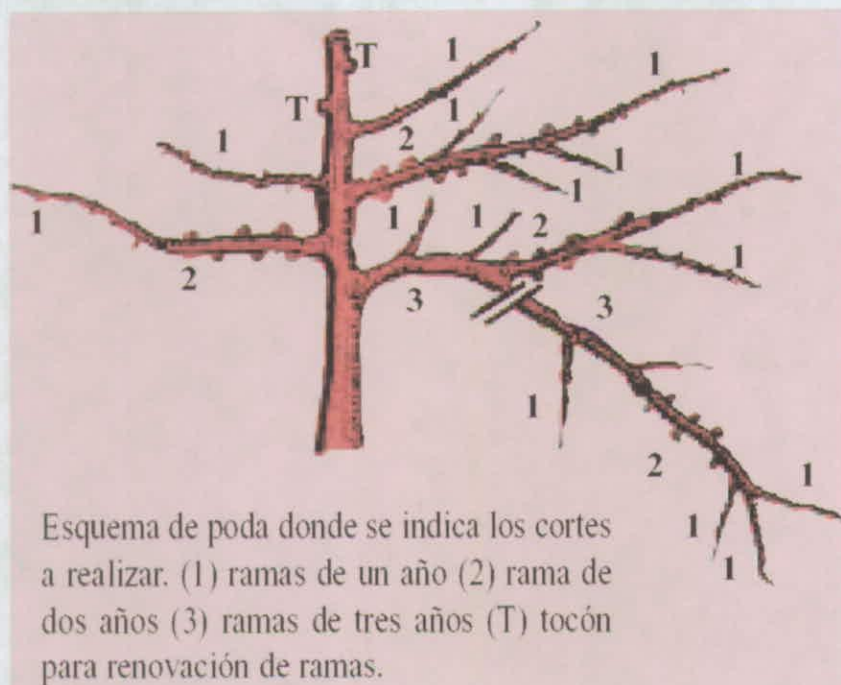




Figura 35. Esquema de los años de cada rama según disposición en el árbol.



b. METODOLOGÍA DE CORTE DE LA RAMA SELECCIONADA.

Como se explico anteriormente, la elección de los árboles esta en función al vigor presente en el cuartel, en el cual serán los mas representativos entre ellos. La rama al cual será cortada, ésta debe ser lo más representativa del árbol y del cuartel





Figura 36: Metodología de corte de la rama seleccionada.

<p>Selección de la Rama</p> <ul style="list-style-type: none">• Rama con orientación hacia el camino.• Rama de cuatro años.	
<p>Identificar los años de la Rama. (contar los años de la punta hacia el tronco)</p>	
<p>Corte de la rama al cuarto (4°) año.</p>	

c. **Metodología de Selección de los Grupos.**

La yema se clasifica en IV grupos de acuerdo a la edad de la rama en que se encuentran.

Figura 37: Clasificación de las estructuras frutales en grupos.

<p>Grupo 1</p> <p>Todos los DARDOS o YEMAS (de menos de 2,5 cm de largo) que están en madera de 2 y 3 años</p>	
<p>Grupo 2</p> <p>Las Yemas de "patas de gallina" de la madera del 3er y 4to año.</p>	
<p>Grupo 3</p> <p>Yemas terminales de brindillas. (menos de 30cm) del año de edad.</p>	
<p>Grupo 4</p> <p>Yemas de ramillas vegetativas de mas de 30 cm. sin producción independiente de la ubicación de la madera.</p>	

d. Relación Tamaño de yemas (mm.) y Fertilidad según variedad en Manzanos.

Figura 38: Comparación de fertilidad % y tamaño de yemas en (mm)

Comparación fertilidad (%) y tamaño yemas (mm) en Manzanos

	Fertilidad 06/07	Calibre de yemas 06/07	Fertilidad 05/06	Calibre de yemas 05/06
Braeburn	34.3	4.3	77.8	5.2
Fuji	52.1	4.3	71.8	4.3
Granny Smith	51.7	4.3	68.6	4.6
Red Delicious	51.2	4.4	60.4	5.1
Gala	52.9	4.0	69.1	4.3
Pink Lady®	69.5	4.4	90.3	5.1
Fertilidad			Tamaño de yemas	
> 80	Muy alto	Provocará alternancia	> 5.0	grande
70 - 80	Alto		4.0 - 5.0	medio
60 - 70	Optimal alto		< 4.0	pequeño
50 -60	Optimal	Producción regular		
30 - 50	Bajo			
20 - 30	Muy bajo			
< 20	Desastre			
		Provocará alternancia		

III.13 RELACIONES HÍDRICAS

La estimación del contenido de agua de las plantas resulta de gran importancia, pues se trata de una de las variables más críticas para explicar la actividad vegetativa y los modelos de productividad vegetal (Boyer, 1995). Por ejemplo, un conocimiento más detallado, tanto en el espacio como en el tiempo, del contenido de agua del cultivo en regadío nos permitiría mejorar la gestión de los recursos hídricos, aportando agua al cultivo cuándo y dónde sea más vital. En el ámbito de la vegetación herbácea o arbustiva, el contenido de agua resulta un parámetro clave para explicar la evolución fenológica de las formaciones vegetales, detectando situaciones de déficit que puedan dar lugar a deterioros críticos del tejido vegetal (Hale y Orcutt, 1987). En lo que se refiere a la prevención de desastres naturales, como sequías o incendios forestales, el estado hídrico resulta de notable importancia, en la medida en que el contenido de agua está inversamente relacionado con la inflamabilidad y la combustibilidad (Viegas et al., 1992).

La estimación del contenido de agua en las plantas se puede realizar básicamente por tres métodos: muestreo de campo, información meteorológica y teledetección. Los tres sistemas tienen ventajas e inconvenientes. El trabajo de campo resulta el método más directo y preciso, pero tiene el inconveniente de ser costoso y lento, además de contar con un carácter muy local, lo que dificulta su aplicación operativa. Habitualmente se aplica un sistema de muestreo, seleccionado ciertas plantas que se consideren representativas de la situación hídrica del conjunto (Desbois et al., 1997). Esta selección resulta bastante complicada, al tener que considerar las diversas variables que influyen en el estado hídrico de la planta (situación topográfica, suelos, densidad de la cubierta, tipo de especie, situación dentro de la planta, etc.). Habitualmente el contenido hídrico se mide por métodos gravimétricos, comparando el peso húmedo y seco de la muestra, lo que implica que la estimación no es inmediata, sino que requiere un cierto tiempo (24-48 h) para conseguir el secado de la muestra.

Las imágenes aéreas multiespectrales, facilitan una cobertura espacial exhaustiva, con buena frecuencia temporal, lo que asegura poder observar cualquier zona de interés. Por otro, la estimación es directa, se basa en la señal reflejada/emitada por la propia planta, y no en las condiciones atmosféricas que la circundan, por lo que estaría, al menos teóricamente, mejor relacionada que éstas con el estado hídrico específico de cada masa vegetal. En este caso, el principal problema radica en demostrar que hay una buena relación entre ese estado

hídrico y el comportamiento espectral de la planta, que es lo que en última instancia miden los sensores de teledetección. Dicho de otra manera, 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.

III.13.1 EFECTO DEL AGUA SOBRE EL COMPORTAMIENTO ESPECTRAL DE LAS PLANTAS

Diversos autores han estudiado relaciones entre la reflectividad y el contenido de agua tanto de hojas aisladas como de doseles vegetales (Riaño et al., 2000). La mayor parte de estos estudios se han llevado a cabo en laboratorio, en condiciones controladas de observación, mediante el uso de espectro-radiómetros (Bowman, 1989, Carter, 1991, Cohen, 1991, Hunt y Rock, 1989, Jackson y Ezra, 1985, Peñuelas et al., 1997, Thomas et al., 1971). Estos estudios han mostrado que el contenido hídrico de la vegetación está más claramente relacionado con la reflectividad en el SWIR, entre 1,1 y 2,5 μm , en donde las relaciones son claras, aunque negativas, ya que a estas longitudes de onda se presentan picos de alta absorción en presencia de agua. Respecto a la reflectividad del infrarrojo cercano (0,8-1,1 μm), las conclusiones recogidas por diferentes estudios no están de acuerdo entre sí, puesto que se miden aumentos o disminuciones en la reflectividad de la vegetación dependiendo de si la medición se realiza sobre una sola hoja o sobre todo el dosel vegetal. Para hojas individuales, la mayoría de los autores encuentran un aumento en la reflectividad del infrarrojo cercano cuando la hoja se seca (Bowman, 1989, Hunt y Rock, 1989, Thomas et al., 1971), lo que puede deberse al incremento en el índice refractivo de la capa del mesófilo cuando el agua es reemplazada por aire. Sin embargo, otros autores miden una disminución en la reflectividad (Peñuelas et al., 1993; Westman y Price, 1988), que puede estar causada por los efectos indirectos de la sequía en la hoja, como la disminución del índice de área foliar o las sombras debidas al rizado de la hoja (Jackson y Ezra, 1985). Finalmente, un tercer grupo de autores no encuentra un cambio significativo en la reflectividad del infrarrojo cercano cuando la hoja se seca (Carter, 1991, Pierce et al., 1990).

Por último, el espectro visible ha demostrado no ser muy sensible al contenido hídrico de la vegetación, al menos en términos absolutos. Por un lado, la reducción de la clorofila después de que se seque la hoja aumenta la reflectividad, mientras que por otro, cuando disminuye el agua se reduce la reflectividad. Así, algunos autores encontraron que la banda roja del

espectro era sensible al contenido hídrico de las plantas (Jackson y Ezra, 1985, Ripple, 1986), mientras que otros no observaron cambios significativos (Bowman, 1989, Thomas et al., 1971). Una alternativa al empleo de los canales ópticos es el análisis de la dinámica térmica de las plantas. Cuando la vegetación está bien irrigada, el aumento de la radiación incidente implica también un incremento de la evapotranspiración (calor latente), lo que lleva a reducir el calor sensible (temperatura del aire) frente a zonas inmediatas. En consecuencia, la diferencia entre la temperatura del aire y la de superficie puede ser un buen indicador del estado hídrico de las plantas. Sobre este principio se han apoyado varios estudios realizados sobre cultivos en regadío (Jackson et al., 1981, Jackson et al., 1986, Moran et al., 1994). La relación entre los índices de vegetación y la temperatura de superficie también se ha demostrado de gran utilidad para evaluar el estrés hídrico de las plantas (Vidal y Devaux-Ros, 1995, Vidal et al., 1994).

Además de las experiencias en condiciones de laboratorio, se han desarrollado algunos trabajos a partir de imágenes espectrales (Chuvienco et al., 1999). Los resultados han sido bastante adecuados para pastizales (Chladil y Nunez, 1995; Paltridge y Barber, 1988), mientras que en matorrales resultan más controvertidos (Alonso et al., 1996).

Por otra parte, se han evaluado la variación espacial del estrés hídrico y sus efectos en algunos frutales como manzanos (Fusheng et al. 2002) teniendo igual respuesta que viñedos. Además, en Israel, se ha evaluado el uso de fotografías aéreas como una herramienta útil para la determinación de las aplicaciones de riego en frutales de acuerdo a las necesidades estimadas a partir de la Dosel de los árboles (características derivadas de las imágenes), dicho proyecto se titula *"Improvement of irrigation application in the orchard by adjustment of water dispensing to tree volumes, obtained from aerial photogrammetry"* (<http://www.migal.org.il/CropEcology.html#cr2>).

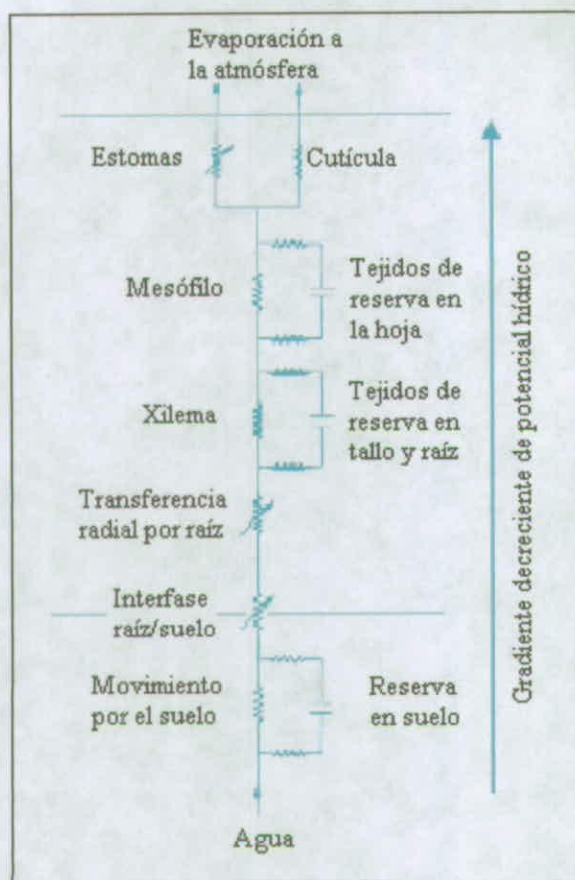
III.13.2 POTENCIAL HÍDRICO DE LAS PLANTAS:

El crecimiento celular es uno de los procesos fisiológicos más sensibles al déficit hídrico, ya que la sequía severa reduce el área foliar y acelera la senescencia de las hojas maduras; además, la fotosíntesis y la transpiración se alteran debido a la reducción de la turgencia, el cierre estomático y el bloqueo de la difusión del CO₂ hacia el mesófilo. Por lo tanto, es conveniente caracterizar las especies cultivables en cuanto al grado de adaptación a la sequía y evaluar el comportamiento fenotípico y el fisiológico, el cual se puede caracterizar mediante el ajuste osmótico y en elasticidad de la pared celular, entre otros (Parra, Berril y Castañeda, 2002). El estado hídrico en las plantas se puede describir cuantitativamente mediante el potencial hídrico. Este factor controla y explica el movimiento del agua en el continuo suelo-planta-atmósfera, así como entre células, tejidos y órganos. El potencial hídrico se determina mediante instrumentos como el psicrómetro de termopares y la cámara de presión (Ascon y Talon, 1993 y 2001). En 1965, Scholander y cols desarrollaron una técnica para medir el potencial hídrico en unidades de presión.

El método consiste en aplicar presión sobre una hoja cortada hasta que aparece el agua en el extremo seccionado del tallo o del pecíolo. Se interpreta que la presión positiva aplicada a la hoja corresponde a la presión negativa o tensión con la cual el agua estaba retenida en el interior del tallo antes de cortarse. Una ventaja de la cámara de presión es que mide rápidamente el potencial hídrico, y también se puede utilizar para medir la relación presión-volumen del tejido vegetal.

Si se aplica presión adicional por encima de la presión de equilibrio inicial, se obtiene un volumen de líquido xilemático que se puede recoger y determinar; haciendo esto de manera progresiva se puede establecer una curva presión-volumen. Una vez que la presión de turgencia alcanza valor cero, la representación de $1/p$ en función de v se hace lineal. Estas curvas permiten la determinación de un amplio espectro de parámetros hídricos en los tejidos: contenido hídrico total, relación peso turgente/peso seco, contenido hídrico relativo (CHR), contenidos hídricos apoplástico y simplástico, contenido hídrico simplástico relativo, presión osmótica a plena turgencia, presión osmótica a turgencia cero, contenido hídrico relativo a turgencia cero, módulo de elasticidad promedio, isothermas de potencial hídrico, diagrama de Höfler (Ascon Bieto y Talon, 1993, 2001).

Figura 39: Modelo de resistencia estomatica en la planta.



Agua del suelo y su disponibilidad para la planta.

La planta como una vía de paso de agua desde el suelo (alto potencial hídrico) a la atmósfera (bajo potencial hídrico).

Modelo de resistencia estomatica en la planta.

Agua del suelo disponible para la planta: principalmente agua de capilaridad (Ψ típicamente -0,1 a -0,2 MPa).

Diferentes estudios han demostrado que el potencial hídrico xilemático (Y_x), medido con cámara de presión, es un buen indicador del estrés hídrico en árboles frutales. Naor et al. (1995) encontraron una buena correlación entre Y_x y el rendimiento en manzanos. Datos similares encontraron Ferreyra et al. (2002, 2004) en duraznero y vides viníferas. Naor (1998) y Ferreyra et al. (2002) comprobaron que la conductancia estomática en nectarines y vid vinífera está altamente correlacionada con Y_x . Por lo cual, el potencial hídrico xilemático (Y_{xmin}), medido a mediodía, ha sido propuesto por varios autores como un indicador estándar para determinar el estado hídrico de la planta, con fines de riego (Ferreeres & Goldhamer, 1990; Shackel et al., 1997; Naor, 2001; Ferreyra et al., 2002).

Aunque un numero importante de literatura caracterice el impacto del déficit de agua en respuesta fisiológica de la vid, hay poca información que cuantitativamente relacione la producción con la cantidad de agua de riego aplicada.

III.13.3 BALANCE HÍDRICO DEL SUELO.

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

Según Solano y Vázquez, (1998) el Índice de Humedecimiento para los cultivos representa la relación entre la necesidad hídrica de las plantas, el suministro de agua por las precipitaciones y la reserva de humedad productiva del suelo para el mismo período temporal dado. Esta representación del contenido de humedad en el medio donde se encuentran las plantas, ya esté en condiciones óptimas o en condiciones de exceso o déficit de humedad, puede cambiar considerablemente de un período temporal a otro e indica el comienzo, las condiciones normales y el fin de los períodos de crecimiento, húmedos y secos en que se encuentra la vegetación y además, otros aspectos de interés agrícola relacionados con el estado y manejo de cultivos, condiciones favorables para el desarrollo o no de plagas y enfermedades y otros aspectos.

Existen distintos procedimientos para determinar el contenido de agua en el suelo y poder relacionarlo con las necesidades de agua de las plantas y el riego, que han ido evolucionando al compás del desarrollo científico y tecnológico (Figura 3). En tal sentido el proyecto tiene por objetivo utilizar distintas herramientas para obtener información adecuada del comportamiento del agua de riego en las distintas zonas de vigor. En este caso se utilizan herramientas tales como: Gravimetría, FDR, TDR.

III.13.3.1 Por Gravimetría

Es el método de referencia de medida directa del contenido de agua. Se toma una muestra de suelo y se pesa, a continuación se deseca el suelo en una estufa y se vuelve a pesar. La diferencia entre las dos pesadas es la cantidad de agua que contiene dicho suelo o humedad gravimétrica θ_g . Si la muestra se toma de un volumen de suelo conocido, para lo cual se suelen usar cilindros de toma de muestras inalteradas, se determina la humedad volumétrica θ_v . La gravimetría es un método sencillo y muy fiable, sin embargo su mayor inconveniente radica en que se trata de un método destructivo, con lo que no se puede realizar un seguimiento exhaustivo a lo largo del tiempo.

III.13.3.2 Basados en las propiedades dieléctricas del suelo

Existen básicamente dos clases de instrumentos que utilizan esta técnica para determinar la humedad volumétrica del suelo (θ_v), los denominados TDR y los FDR. Ambos se basan en las propiedades del suelo como condensador eléctrico y miden el coeficiente dieléctrico aparente del mismo (ϵ), el cual es fundamentalmente función de la humedad, dado que el del aire es $\epsilon \approx 1$, el de los sólidos del suelo es $\epsilon \approx 2-5$ y el del agua es $\epsilon \approx 80$.

El coeficiente dieléctrico del suelo también varía con la temperatura y con la salinidad, pero su influencia suele ser pequeña (temperatura 4%/°C) excepto en las proximidades a la superficie del suelo, por lo que no se precisan correcciones en la mayoría de los casos.

a. Sensores TDR (Reflectometría en el Dominio del Tiempo)

Miden el coeficiente dieléctrico del suelo (ϵ) a partir del tiempo de recorrido de un pulso electromagnético a lo largo de varillas de acero que se introducen en el suelo y que sirven de guía a las ondas.

Los equipos se componen de una sonda porta-varillas que se introducen en el suelo, un cable de conexión y un cuerpo central, donde va instalado el generador de pulsos de radiofrecuencia, el osciloscopio analizador de pulsos y el procesador de datos. Miden la humedad volumétrica del suelo con un margen de error del 1-5%.

La zona de medida es la comprendida entre las varillas de acero (2, 3 ó 4 según modelos), tal y como se aprecia en el esquema (Figura 7) y a lo largo de toda su longitud.

Para medidas en superficie no requieren la instalación de elementos permanentes en el suelo, pero para medidas en profundidad hay que realizar un acceso e instalar más o menos permanentemente las sondas. Una dificultad práctica importante es que la distancia entre sonda y el instrumento registrador se limita a longitudes inferiores a 25 m.

Figura 40. Distintos tipos de sondas TDR y zona de medida con 2, 3 ó 4 varillas

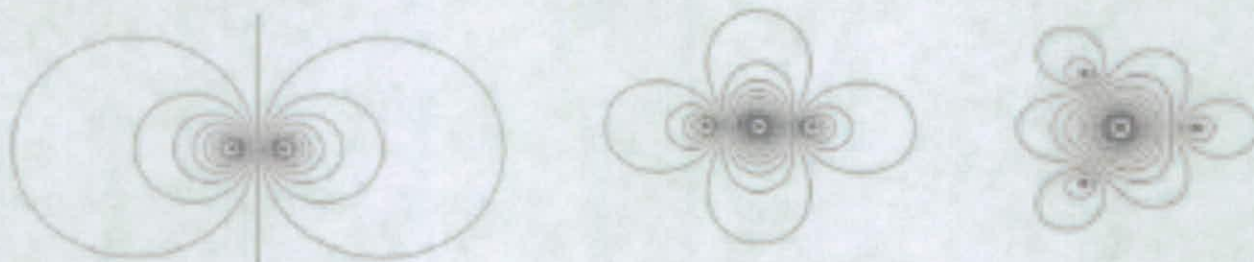
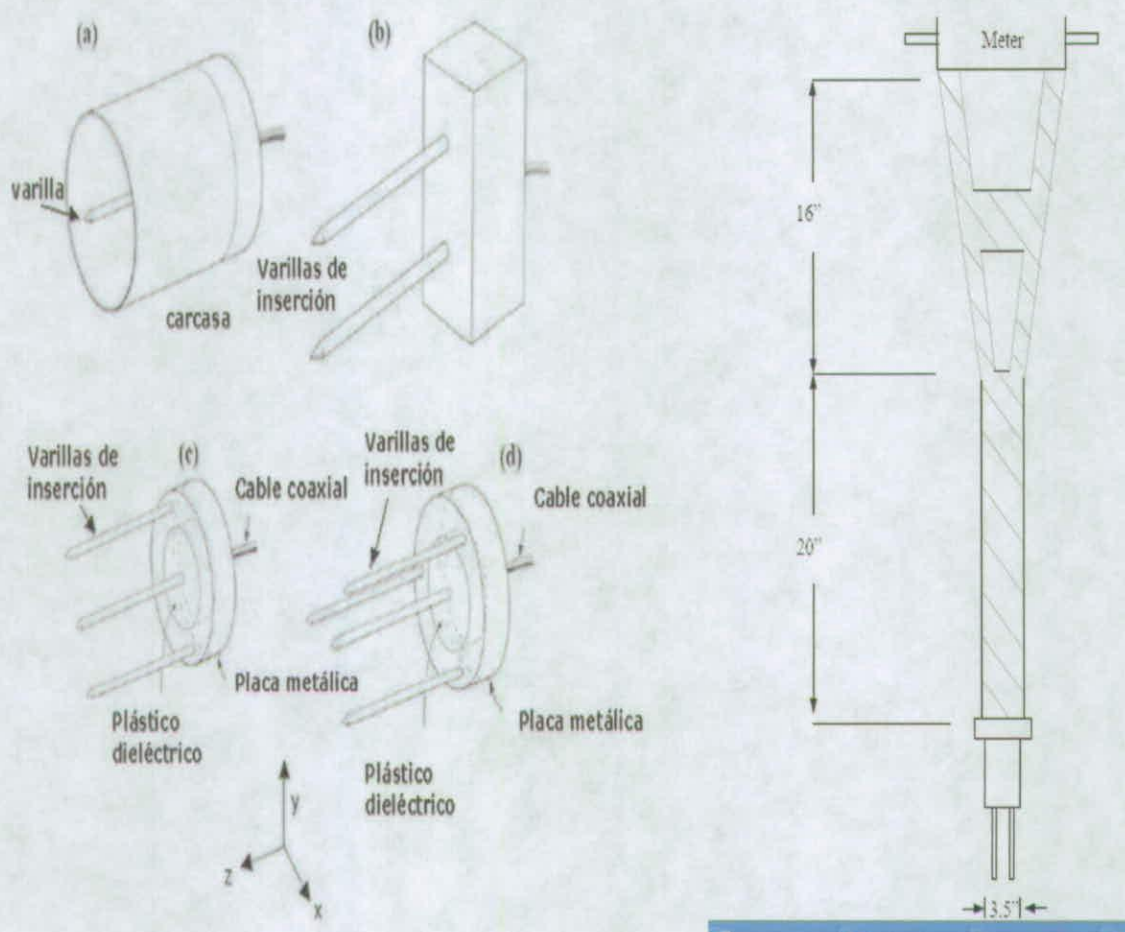
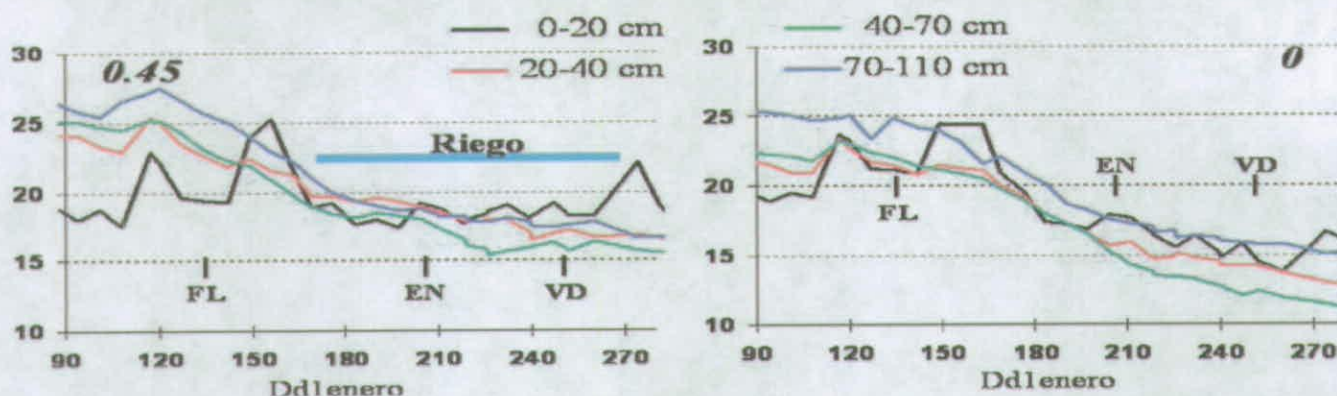


Figura 41: Evolución estacional del contenido de humedad del suelo (%v/v), medido con TDR, a distintas profundidades para los tratamientos de riego con $k_c = 0.45$ (izquierda) y secano $k_c = 0.0$



b. Sensores FDR (Reflectometría en el Dominio de la Frecuencia)

Son también conocidos como sensores de capacitancia ya que utilizan esta propiedad para medir el coeficiente dieléctrico (ϵ) de la matriz del suelo. Determinando la capacitancia se obtiene la constante dieléctrica y, en consecuencia, la estimación del contenido de agua del suelo (Dean et al, 1987). La mencionada empresa australiana también ha desarrollado una sonda móvil con un único sensor que actúa de idéntica forma (Diviner 2000), y que permite un mayor número de puntos medidos con un coste de inversión mucho más adsequible para el usuario.

El sistema FDR plantea una serie de inconvenientes. El más patente es el escaso volumen de suelo al que se refieren las determinaciones de la capacitancia, lo que obliga a una perfecta y costosa instalación del tubo de acceso a sonda, requiriendo además que en dicha fracción de suelo no haya materiales extraños como piedras o raíces, y que no exista separación entre el tubo y el suelo, ya que la interfase aire influye sobre la calidad de la medida. La existencia de grietas en el suelo también plantea problemas, principalmente en las medidas superficiales.

La zona de medida no es tan delimitada como en el caso de los sensores TDR, por lo que son algo menos precisos. La zona de influencia, sobre la que se realiza la medida (Figura 9), corresponde a unos 10 cm en altura (5 por encima del sensor y 5 por debajo) y aprox. 7 cm de radio, si bien es en los primeros 3 cm es donde se mide el 90% de la señal. Por ello, la instalación del tubo de acceso debe ser muy cuidadosa, a fin de que exista un completo contacto de la pared del tubo con el suelo, evitando que queden huecos que darían lecturas falsas, tanto si se llenan de aire o de agua, dadas las diferencias de coeficiente dieléctrico.

Tanto los sensores TDR como los FDR, requieren transformar la señal medida a valores de humedad volumétrica mediante un calibrado, el cual se realiza internamente en el procesador de datos. En la mayoría de suelos es suficiente con la calibración estándar (precisión del 5%), aunque dicha ecuación de calibración necesite ajustes específicos para suelos de mucha materia orgánica, muy arcillosos o salinos, pudiéndose conseguir entonces precisión en torno al 1-2 %. Son resistentes, estables y de respuesta rápida. Necesitan poco mantenimiento pero son de coste elevado. Tienen poca limitación en cuanto a la longitud del cable (400 m) y permiten instalar en una sola sonda varios sensores a diferentes profundidades.

Casi todos los instrumentos mencionados se desarrollaron para riego tradicional donde la humectación del terreno suele ser uniforme, lo que permite una más fácil interpretación de las tendencias. En riego localizado no se moja todo el suelo, solo los bulbos y el patrón de distribución de la humedad varia mucho según el tipo de suelo. Por ello, es bastante difícil determinar el volumen de suelo que realmente se moja, es decir el balance no es fácil. Además, dada la pequeña zona de influencia de todos estos sensores (a excepción de la sonda de neutrones), prácticamente miden la zona afectada por un solo gotero. Por ello, su instalación es muy crítica y son muy sensibles a posibles faltas de uniformidad del riego (goteros parcialmente obturados o con mayor caudal), así como a que el agua de riego les llegue adecuadamente. Esto último no es cosa fácil de conseguir en muchas de las instalaciones de riego en viña, donde las tuberías de riego suelen ir aéreas sujetas a un alambre de la espaldera y con frecuencia el agua escurre a lo largo de ellas, por lo que la zona mojada puede variar en el espacio y tiempo de forma importante, dando lugar a lecturas no representativas de las sondas.

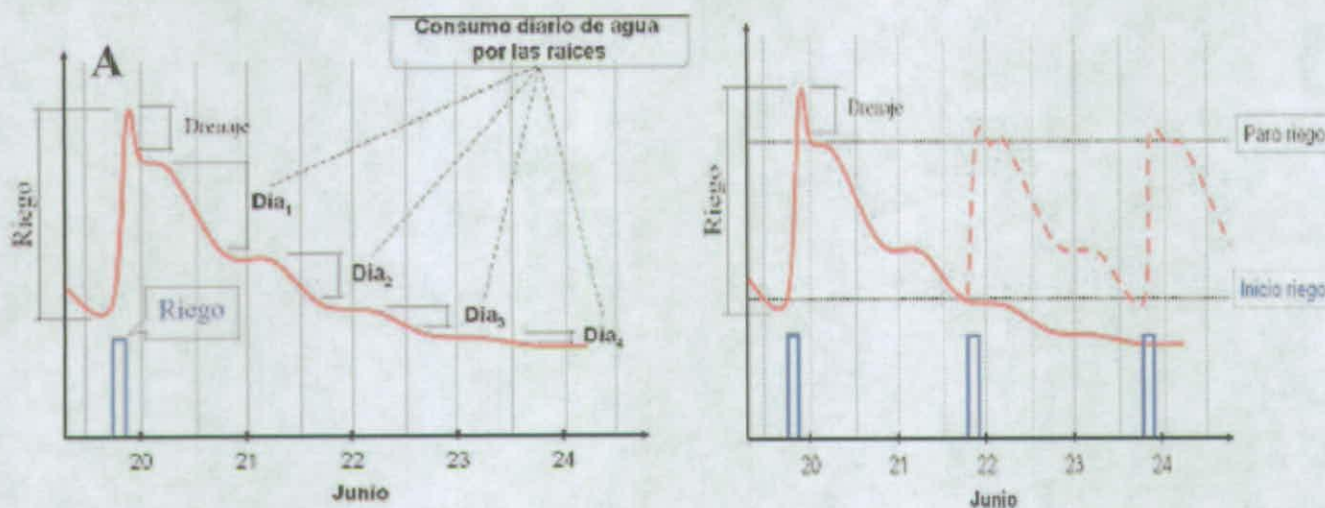
En la gestión del manejo del riego, la gran ventaja de los instrumentos multisensor es el proporcionar la posibilidad de un registro "casi continuo" de datos a distintas profundidades del suelo y en la mayoría de los casos, puede ser suficiente analizar la tendencia que sigue el contenido de agua, para lo cual no se necesita de una calibración específica.

Muchos de los equipos FDR comerciales llevan asociados programas gráficos para análisis de los datos mediante ordenador en los que la humedad se puede presentar sensor a sensor o de forma acumulada para distintos sensores, indicando así el agua almacenada en una cierta capa de suelo. Mediante estos gráficos se puede obtener una idea del consumo diario por parte de las raíces y los intervalos nocturnos, tramos horizontales, en los que apenas hay extracción de agua (Figura 42A,B). Como ya se comentó, para el manejo del riego por este

procedimiento es necesario definir un límite superior (paro riego) y un límite inferior (inicio riego) de contenido de agua para la profundidad de suelo correspondiente a la ubicación del sistema radicular activo, que en el caso de la vid puede llegar a 2 m, aún cuando en la mayoría de las situaciones en regadío una alta proporción de la extracción total de agua ocurre en los 50-100 cm.

Figura 42:

A) Representación de la humedad volumétrica del suelo mediante sensor FDR y B) decisión de riego en función del nivel de estrés considerado.



III.14 MAPAS DE RENDIMIENTO.

Los mapas de rendimiento utilizado en la agricultura de precisión, permite 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.

Mientras se piense normalmente en la producción en base a las hectáreas, usualmente se determina dividiendo la producción total de un campo (rendimiento, calibres, calidad etc.) por el área de ese campo. Si todas las porciones de un campo fueran iguales entonces este valor calculado representaría con precisión la producción de la unidad de área de todo el campo. Desafortunadamente, ese no es comúnmente el caso. La producción varía dentro de un campo para una variedad de razones como la variabilidad del suelo, agua y enfermedades. La mayoría de los productores saben que la variabilidad de la producción existe, pero no conocen la actual magnitud de la variabilidad de producción o el tamaño de las áreas que difieren en producción.

III.14.1 OBTENCIÓN DE MAPAS DE RENDIMIENTO “COSECHA MANUAL”

En esta etapa por medio de muestreo dirigido, a partir del plano de NDVI de la temporada se seleccionan árboles representativos a cada zona de vigor, donde se cosechan todos los frutos. Esto permite obtener una estimación del rendimiento por unidad de área. En este caso se realiza un muestreo dirigido, el cual está basado en la variabilidad del NDVI en los cuarteles. 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. Para la estimación de rendimiento por área de vigor usualmente se escoge un número mínimo de puntos de monitoreo (10 puntos/ha, considerando 2 plantas en cada punto).

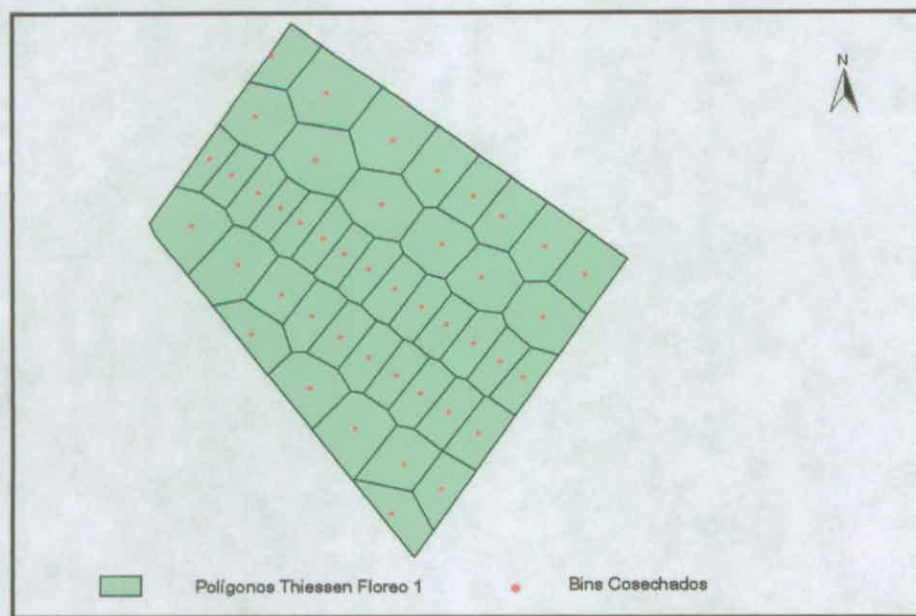


III.14.2 ELABORACIÓN DE UN MODELO DE COSECHA PARA LA ESTIMACIÓN DE RENDIMIENTO.

El desarrollo de los planos de rendimiento se realizan 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, como también es posible determinar el impacto económico del huerto.

La metodología de Polígonos de Thiessen, es un método de interpolación sencilla que construye polígonos mediante las bisectrices de las líneas que une puntos más próximos (Bosques, 2000), además permite calcular el número de árboles asociado a cada bins y de esta forma el rendimiento por árbol.

Figura 43: Polígonos de Thiessen



III.14.3 IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DIGITAL DE REGISTRO DE LOS BINS

La implementación de un sistema de registro digital durante la cosecha se ha visto favorecida en gran manera debido a la utilización del código de barras. Debido a que el código es seguro y fácil de leer además que los materiales en que se imprimen las etiquetas, cada vez son mas durables y pueden soportar condiciones climáticas extremas, es muy sencillo identificar casi cualquier objeto ó producto con un código.

El seguimiento de dichos bins se realiza utilizando palms (figura 2) y programa que se ha se esta desarrollando por la Empresa Ingenium.

Figura 44. Palm e identificación de puntos según Cuartel, Hilera y Árbol.



El uso de dichos instrumentos permite las siguientes actividades:

- Caracterización de los bins a través de códigos de barra los cuales llevan la información del número de hilera, árbol y cuartel. (Cosecha)
- Rendimiento y calidad de los puntos muestrales. (Cosecha)

III.15 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 utilizó el índice de Moran (Chou 1997). Se presenta autocorrelación o dependencia espacial cuando existe una relación funcional entre lo que ocurre en un punto determinado en el espacio y lo que ocurre en otro lugar. (Moreno *et al.*, 2002).

La autocorrelación espacial puede ser positiva o negativa, donde sus valores fluctúan entre -1 a 1. Si la presencia de un fenómeno determinado en una región lleva a que se extienda ese mismo fenómeno hacia el resto de las regiones que lo rodean, favoreciendo así la concentración del mismo, entonces se está en un caso de autocorrelación positiva en las regiones vecinas a ellas. Por el contrario, existirá autocorrelación negativa cuando la presencia de un fenómeno en una región impida o dificulte su aparición en lugares vecinos. (Moreno *et al.*, 2002). Sobre la base de los resultados anteriores y bajo el concepto de espacialidad de la información, se realizó una regresión espacial utilizando el modelo LAG para evaluar las relaciones entre rendimiento por árbol y su NDVI correspondiente. El modelo LAG. es una regresión de tipo lineal que considera la espacialidad de las variables. (Anselin, 2004). Para estos análisis se utilizó el software Geoda de la Universidad de Illinois

Por otra parte, se aplicó el método de la mínima diferencia significativa (LSD), a las variables de 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. El valor de la LSD se encuentra referido a la distribución de *t* por la siguiente relación:

$$(LSD)_\alpha = t_\alpha \sqrt{\frac{2s^2}{n}}$$

donde (LSD)_Q es la mínima diferencia significativa para un riesgo α determinado; t_α es el valor de la tabla para α y el número de grados de libertad asociado con la media de los cuadrados del error en la tabla resumen del ANOVA; s^2 es la media de los cuadrados del error residual en la tabla resumen del ANOVA; n es el número de observaciones implícito en cada media de los tratamientos. El término $\sqrt{s^2/n}$ es el error típico de la media.

III. 16 SOFTWARE DE GESTIÓN PREDIAL

Sobre uDig (sistema utilizado de diseño)

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. 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. El estar desarrollado en Java lo transforma en un software multiplataforma, pudiendo correr en sistemas operativos diversos como Windows, Linux, MacOS, etc. El 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, facilitando la masificación de estas tecnologías y poniendo al alcance de todos herramientas fundamentales para el desarrollo e implementación de metodologías de agricultura de precisión.

Este software esta siendo difundido, a través de un convenio via PDP, hacia las empresas Greenvic y Trinidad , como también agricultores asociados a ellas. La difusión apoyo técnico esta en manos de Manuel Palacios, encargado del

III.17 DESARROLLO PROTOTIPO DE EQUIPO DE MEDICIÓN DE VOLUMEN DE CANOPIA

Debido a la importancia de la medición de volumen de canopia por lo expuesto anteriormente, se esta llevando a cabo el desarrollo de un prototipo para llevar a cabo esta medición para lo cual se solicito el uso del item de imprevistos. Este equipo actualmente esta en construcción tanto en su fase de hardware como de software lo que se ha demorado un poco debido a que muchas de los elementos electronicos requerido han tenido que ser comprados en el extranjero y por otra parte, ha sido difícil la elección adecuada de estas ya que no se poseen los recursos como para cometer errores. El detalle del equipo se muestra a continuación:

1. Descripción del Diseño propuesto para la UEVC

1.1 Sensores

Existen sensores ultrasónicos dispuestos sobre una barra vertical que se desplaza por entre las hileras, midiendo cada uno la distancia horizontal que lo separa del punto más próximo de canopia.

Un sensor láser se utilizará para controlar la porción baja de la planta, con la función de identificar la distancia horizontal que lo separa del tronco. El láser se ubica a una distancia conocida de la barra con los sensores ultrasónicos (Figura 45).

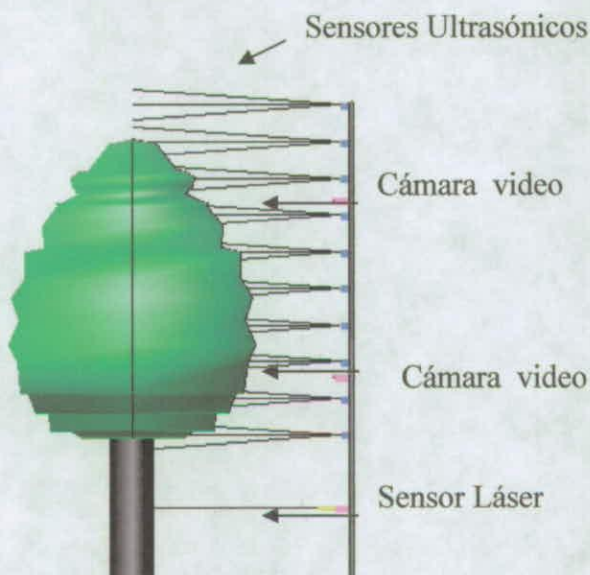


Figura 45. Barra con la disposición de los sensores ultrasónicos, láser y cámaras de video.

Mediante cámara de video se obtendrá la imagen de canopia captada en la misma dirección de control de los sensores. Dada las magnitudes presentes se hace necesario disponer dos cámaras de tal forma que la imagen completa de canopia, en la dirección vertical, se obtendrá por el complemento de ambas (Figura 35).

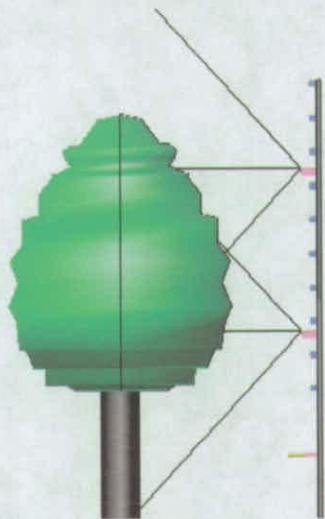


Figura 46. Disposición de las dos cámaras de video, se aprecia como las dos imágenes se traslapan un mínimo.

Un Encoder incremental se conectará a una de las ruedas de la moto de tal forma de sensar las revoluciones que esta realiza al avanzar.

Un GPS entregará información de la posición desde que se realiza la medición, justo enfrente del tronco de cada árbol, sobre cada hilera.

1.2 Principio de Funcionamiento

Mientras la moto circula a lo largo de una hilera, los sensores ultrasónicos se encuentran activos, y en el momento en que alguno capta la presencia de canopia se controla la variable que acumula la lectura del encoder. Luego a una cierta distancia dx , prefijada y calculada por medio de la lectura del encoder, se capturan las señales tanto de los sensores ultrasónicos y las imágenes con las cámaras. A cada sección en que se capturan las señales de los sensores y cámaras, se denominará "sección controlada".

El sensor láser se encuentra siempre activo, y en el momento de detectar la presencia del tronco captura su señal, y a la vez captura el valor del encoder que señala su posición, igualmente se captura la señal del GPS. También se capturan las fotografías y las lecturas de los sensores ultrasónicos.

La ubicación de la tercera sección controlada se proyectará según la posición relativa de la primera sección respecto al centro del árbol, y considerando simetría. Justo en el momento que los sensores ultrasónicos dejan de captar la presencia de canopia se captura la lectura del encoder.

Un microcontrolador se encarga de sincronizar el funcionamiento del módulo y recibir y acondicionar las señales de los sensores para posteriormente enviar la información a un notebook. En el caso de las cámaras el microcontrolador sólo indica el momento de la captura de la imagen, traspasándose esta información directamente de la cámara al notebook.

1.3 Adquisición de Datos

La información tomada en terreno por los sensores y acondicionada en el microcontrolador es finalmente almacenada en el notebook de la siguiente forma, según el dispositivo de captura:

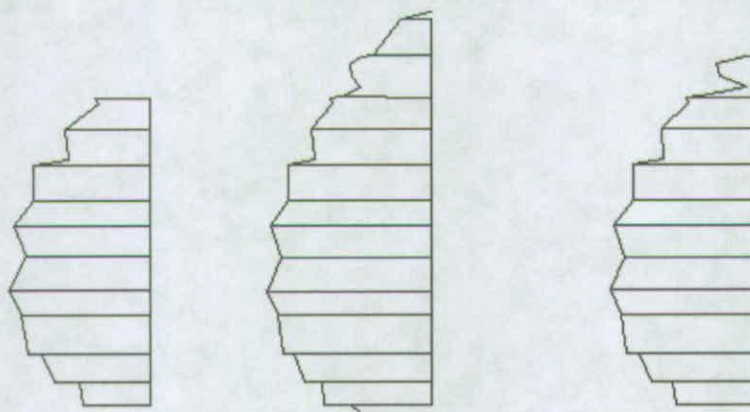
- a) Sensores Ultrasónicos: Se almacena una matriz en R^3 que contiene las lecturas de cada sensor, por cada sección de control por árbol.
- b) Sensor Láser: Se almacena un vector con información de la distancia al tronco, por árbol.
- c) Cámaras de video: Se almacena una matriz en R^3 , con las imágenes que en conjunto originan la vista completa de canopia, por cada sección controlada por árbol.
- d) Encoder Incremental: Se almacena un vector que entrega información de la disposición de los árboles sobre la hilera. Además existe una matriz en R^2 que entrega información respecto a la disposición de las secciones controladas, y el inicio y final de canopia, por cada árbol.
- e) GPS: Se almacena un vector con las coordenadas correspondientes al punto enfrente de cada árbol, que coincide con el momento en que se detecta un tronco.

1.4 Estimación del Volumen de Canopia

Un Software cargado al Notebook filtra y acondiciona las imágenes, y luego mediante un modelo estima el volumen de canopia para cada árbol al incorporar la información captada por los otros sensores. La forma en que se llega a estimar el volumen es la siguiente.

Al unir los puntos correspondientes a las distancias captadas por cada uno de los sensores ultrasónicos, respecto a un eje vertical, se obtendrá la forma o contorno de la canopia en la sección transversal controlada. La distancia detectada hasta el tronco por el láser, admite adicionar la profundidad de canopia a las lecturas de los sensores ultrasónicos, para cada sección. (Figura 47). La finalidad de la imagen es entregar información de la magnitud en dirección vertical o altura de canopia.

Figura 47. Vista Lateral de las tres secciones medidas sobre cada árbol.



Definitivamente se realiza una integración con las magnitudes obtenidas, con lo que se espera replicar virtualmente en forma y magnitud la canopia (Figura 48).

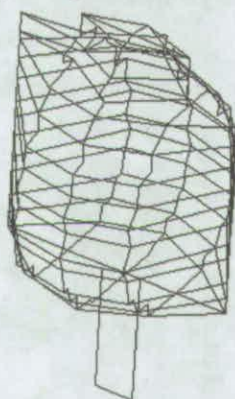


Figura 48. Modelación matemática de la canopia a partir de los datos obtenidos en terreno por el sistema.

Comentarios

Se debe notar que al trabajar sobre una hilera sólo se tiene acceso a las magnitudes que tiene el árbol por una cara de la canopia, debiendo analizar la cara o mitad restante a través de la otra hilera.

Sin embargo, se evaluará la posibilidad de considerar en los cálculos simetría en la canopia, dependiendo del error alcanzado, de esta forma se espera disminuir a la mitad el tiempo para el muestreo en terreno.

Sin embargo, la decisión tomada de rendimiento tiene que ser monitoreada desde un punto de vista de desarrollos de calidad ya que la temporalidad (factor climático) puede tener una gran influencia en el desarrollo de los frutales, de tal forma que para esto se ha desarrollado un equipo que mida firmeza de fruto no destructivo y a la vez sistemas NIR de monitoreo de variables de calidad.

IV ANÁLISIS DE BRECHA.

A continuación se presenta la tabla de actividades planificada y asociada a esta su nivel de cumplimiento.

Actividades Programadas	Fecha Original	Actividades ejecutadas	Fecha real
Captura e interpretación de imágenes aéreas multiespectrales, ajuste radiométrico en terreno, correcciones geométricas, extracción de polígonos desde las imágenes y correlación inicial con el rendimiento y calidad de las áreas monitoreadas.	Marzo 2007. a Febrero 2007	Se realizaron las capturas alcanzando el 100 % de la meta de este ítem, cumpliendo lo estipulado en el proyecto.	Febrero 2007
Evaluación de % exportación y rendimiento en puntos muestrales seleccionados desde la clasificación de la imagen multiespectral.	Feb. a Octubre. 2007	Se realizaron las capturas alcanzando el 100 % de la meta de este ítem, cumpliendo lo estipulado en el proyecto..	Enero a Octubre 2007
Determinación del Rendimiento total de las áreas de estudio mediante la localización y seguimiento de los bins ubicados en terreno.	Feb. a Octubre. 2007	Se realizaron las capturas alcanzando el 100 % de la meta de este ítem, cumpliendo lo estipulado en el proyecto.	Enero a Octubre 2007
Medición y registro de crecimiento y desarrollo de frutos de los árboles.	Sep a Feb 2007	Se realizaron las capturas y análisis alcanzando el 100 % de la meta, cumpliendo lo estipulado en el proyecto.	Octubre 2007
Cálculo de área, altura y volumen foliar de Dosel de cada árbol.	Marzo 2007	El equipo tipo para desarrollar la función esta actualmente en construcción y evaluación, por lo cual no se tiene resultados concretos.	Dic 2007
Análisis multivariado, regresiones espaciales, y de agregación estadístico en laboratorio.	Ene. – Dic. 2007	En base a la información generada de los ensayos, se alcanzo el 100 % de la meta, cumpliendo lo estipulado en el proyecto.	Oct-Dic 2007
Desarrollo del Software de gestión predial.	Abril a Diciembre 2007	El software ya esta terminado y se esta presentando a los Agricultores via charlas y por medio de convenios PDP. El programa y manual esta siendo entregado a los Agricultores.	Noviembre 2007

Realización de Capacitación.	Enero – Diciembre 2007	Se ha podido generar el interés por el sector privado por el uso de los desarrollos llevados a cabo por este proyecto, gestándose un PDP de Fruticultura de Precisión. El proyecto ha prestado su apoyo para el buen funcionamiento de esta iniciativa considerando esta como de alto impacto ya que a diferencia de guerrear seminarios va en el sentido de aplicaciones reales en empresarios frutícolas que se espera un mayor impacto y difusión. Además, se está gestando una nueva iniciativa de continuación de desarrollo de esta tecnología con las empresas.	Enero – Diciembre 2007
Análisis del equilibrio económico de la tecnología	Julio 2007	Se llevó a cabo análisis de evaluación económica de los huertos en estudio que permiten visualizar las problemáticas existentes, sobre el cual ha quedado claro que el principal problema es el exceso de descarga o raleo de frutos que se realiza sin mayor criterio el cual genera grandes mermas en las utilidades de los huertos.	Agosto 2007
Determinación del Rendimiento total de las áreas de estudio mediante la localización y seguimiento de los bins ubicados en terreno.	Feb. a Dic. 2006	Se desarrollo modelo de evaluación de rendimiento espacial mediante la localización de los bins en el huerto.	Mayo 2006

CAPÍTULO V

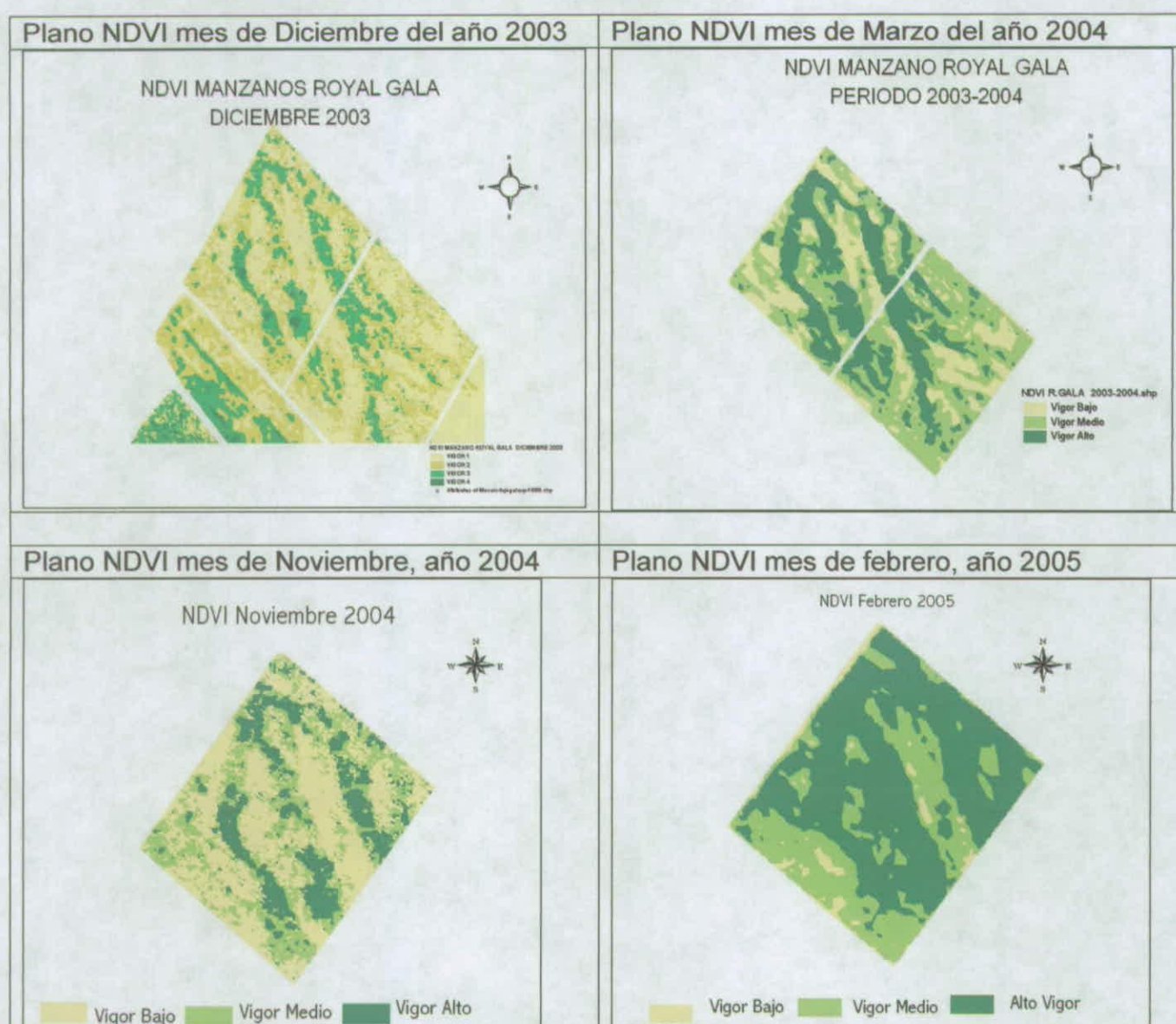
RESULTADOS

V.1 DETERMINACIÓN DE PLANOS NDVI.

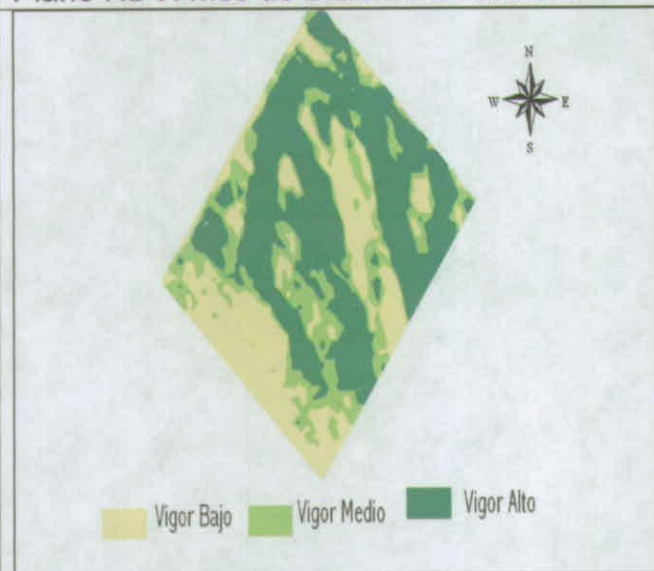
Se utilizaron imágenes aéreas multispectrales; que se capturaron en el los años y mes de: diciembre 2003, marzo 2004, noviembre del año 2004, febrero del 2005 y diciembre 2006. Con estas imágenes se obtuvo el NDVI correspondiente a cada una de ellas, clasificándolas en tres clases de vigor (alto, medio y bajo vigor),

Las imagen del año 2003 se utilizó para asignar el lugar del ensayo e identificar los puntos de monitoreo, y la correspondiente 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.

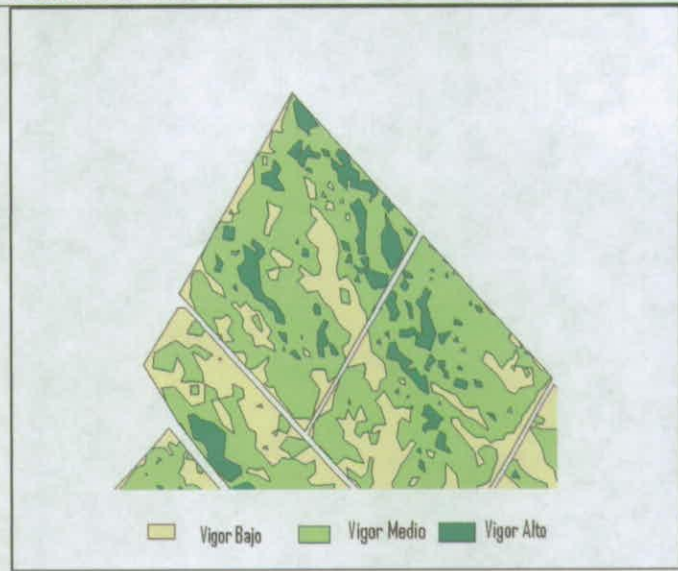
V.1.1 PLANOS DE VIGOR MANZANOS VAR. GALA.



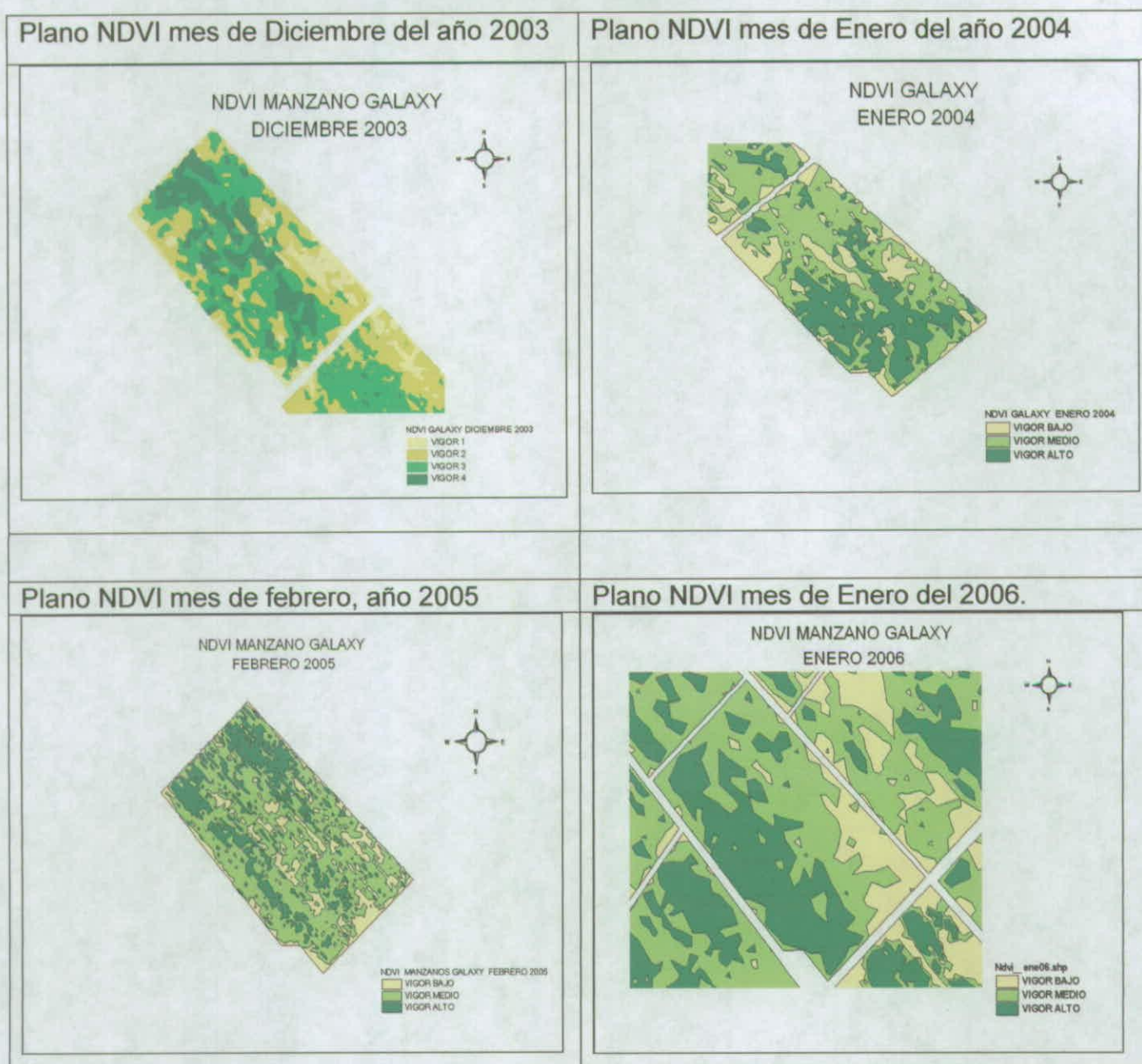
Plano NDVI mes de Diciembre del 2005.



Plano NDVI mes de Enero del 2006.

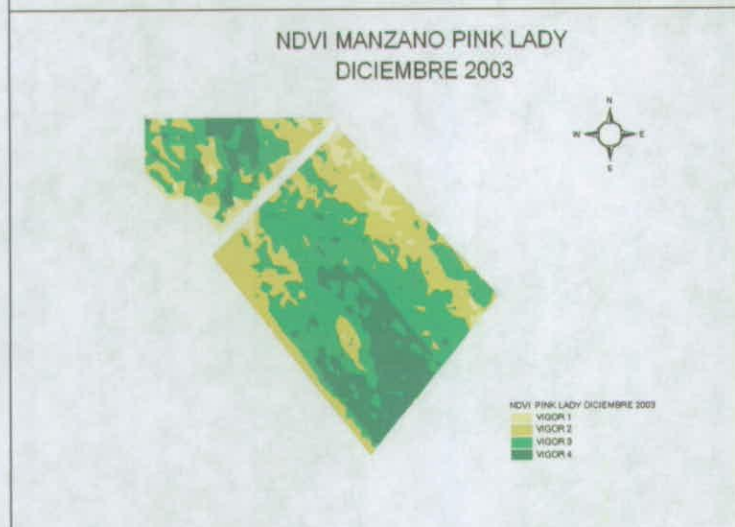


V.1.2 PLANOS DE VIGOR MANZANOS VAR. GALAXY



V.1.3 PLANOS DE VIGOR MANZANOS VAR. PINK LADY

Plano NDVI mes de Diciembre del año 2003



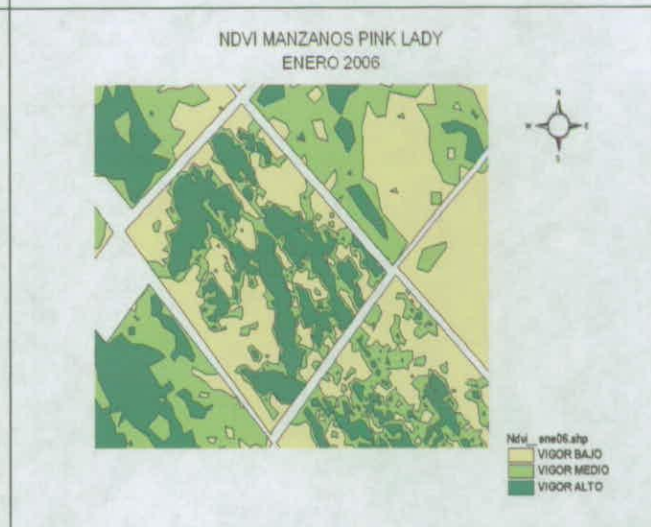
Plano NDVI mes de Enero del año 2004



Plano NDVI mes de febrero, año 2005



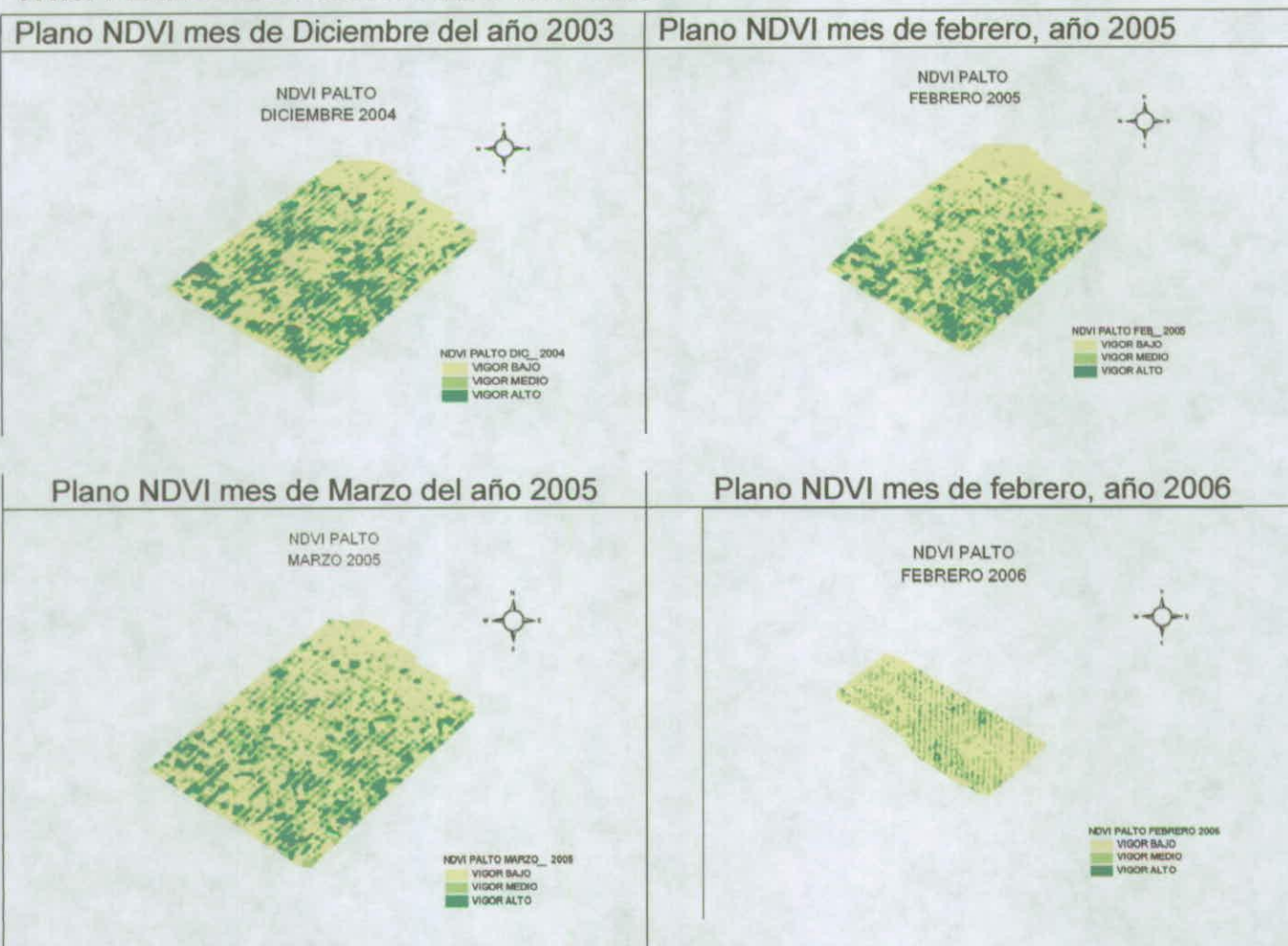
Plano NDVI mes de Enero del 2006.



V.1.4. PLANOS DE VIGOR NECTARINOS VAR. AUGUST RED



V.1.5. PLANOS DE VIGOR PALTO VAR. HASS



V.2 RELACIÓN NDVI/ CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELO (CE)

Utilizando los resultados obtenidos con la rastra eléctrica Veris (Figura 49) y los mapas de vigor de la temporada anterior, se seleccionaron los puntos de monitoreo de suelo para su caracterización física y química.

Por otra parte, se complementó dicha decisión, con 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 estableció los mejores sitios para el muestreo de tal forma de capturar la variabilidad que permita una información de base importante para los posteriores análisis de correlación de vigores y patrones hídricos en los cuarteles.

Figura 49. Planos Tipo de Conductividad Eléctrica de huertos de Duraznos (A) y Manzanos, Variedad Royal Gala(B).

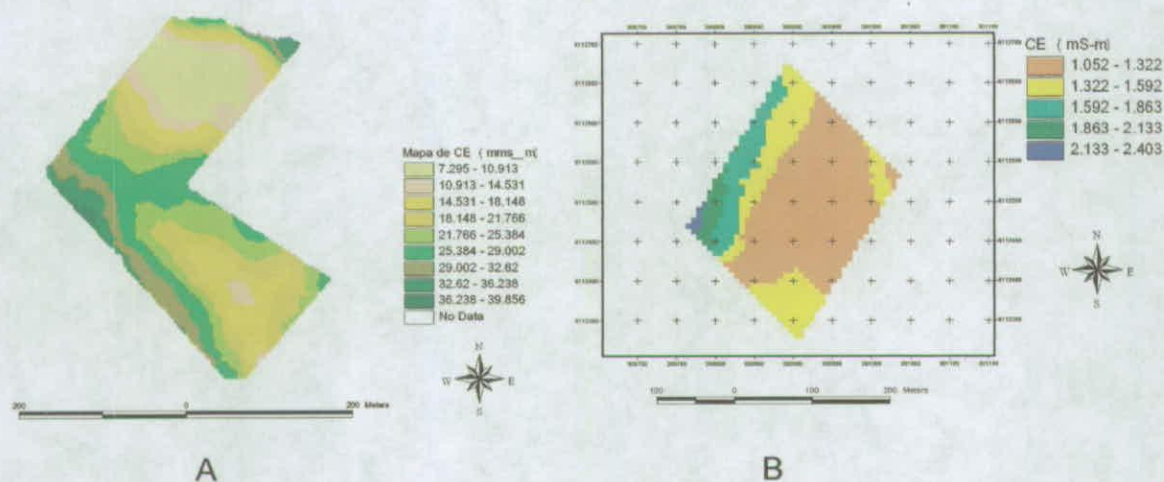


Figura 50. Ejemplo de Integración de planos de CE y de Vigor, para Huerto de Nectarinos (A) y de Manzanos (B).

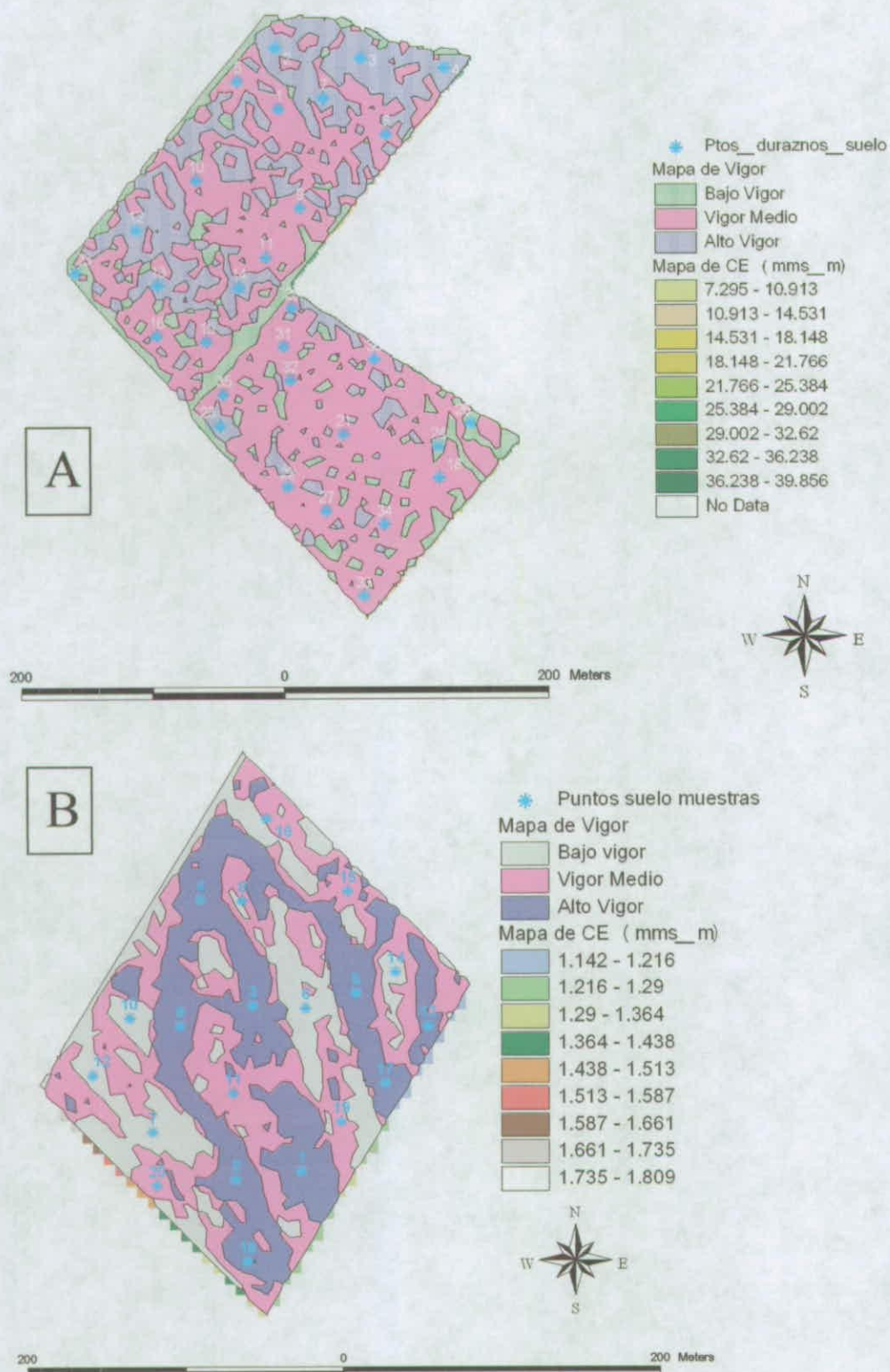


Figura 51. Fotos de toma de muestras y visualización de condiciones de terreno.



Así, se determino la construcción de calicatas y el uso del barreno (Figura 5) para obtener muestras que posteriormente analizadas en laboratorio permitan describir aspectos fisicos y de fertilidad.

V.3 RESULTADOS EVALUACIONES POR CULTIVO.

V.3.1 NECTARINOS VAR. AUGUST RED

Seguimiento de los puntos muestrales.

a. Características vegetativas.

Al observar la Figura 50, se observa un crecimiento tipo exponencial de los brotes en todas las zonas de vigor hasta aproximadamente el 24 de diciembre del año 2005, que luego se mantiene constante hasta final de la temporada. Esto indica que en este periodo la planta es donde crece vegetativamente, que luego realiza procesos de reservas y de llenado de frutos.

No se observa diferencias estadísticamente significativas en el crecimiento total de los brotes en cuarte oeste (Tabla 21), por lo que el crecimiento vegetativo de éste cuarte es relativamente homogéneo.

Figura 52: Crecimiento de los brotes (cm) en las distintas zonas de vigor, durante la temporada de monitoreo.

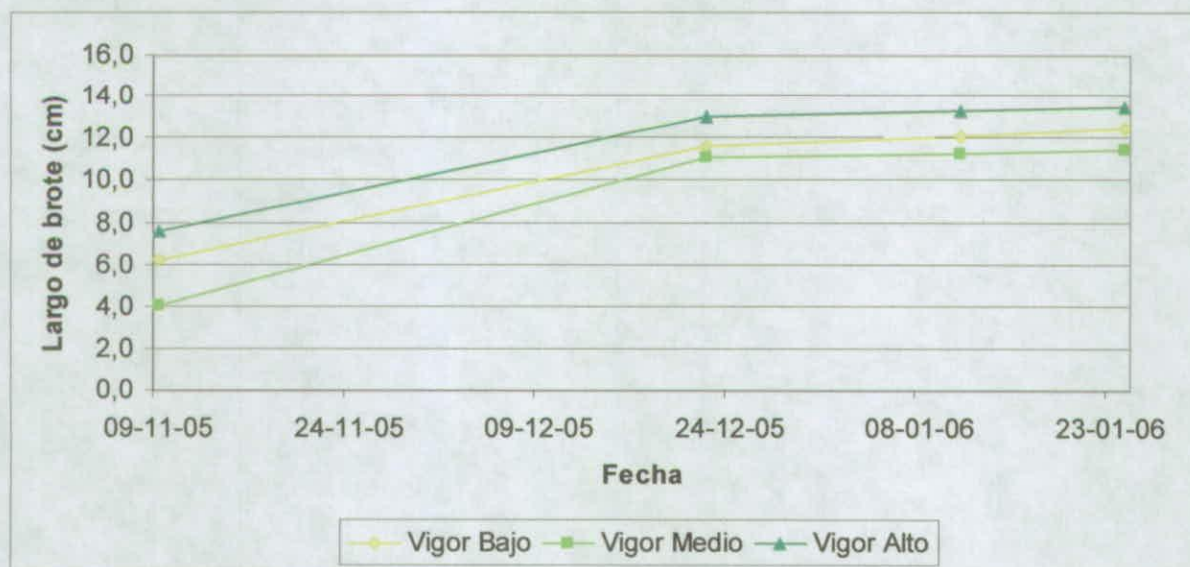


Tabla 21: Diferencias promedios de crecimiento de brotes (cm) del cuarte oeste, durante la temporada por zona de vigor.

Clases de Vigor	Largo promedio (cm)
Bajo	13,19 a
Medio	10,75 a
Alto	14,05 a

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

Esto puede deberse a que la humedad del suelo en la temporada se mantuvo relativamente homogéneo durante los periodos de crecimiento, por lo que en cierta forma este factor es predominante en el crecimiento vegetativo de los frutales.

El vigor bajo es el que presenta más humedad en comparación al vigor medio, esto se debe a que en ese sector se aplica más agua, ya que el suelo es poco profundo. Al observar los gráficos, los sectores analizados presentan una humedad constante durante toda la etapa de evaluación, lo que significa que el riego en esas fechas fue, constante, presentando una leve baja en el mes de noviembre el año 2005.

Figura 53: Monitoreo hídrico de suelo en vigor medio, cuartel de Nectarino Var. August Red.

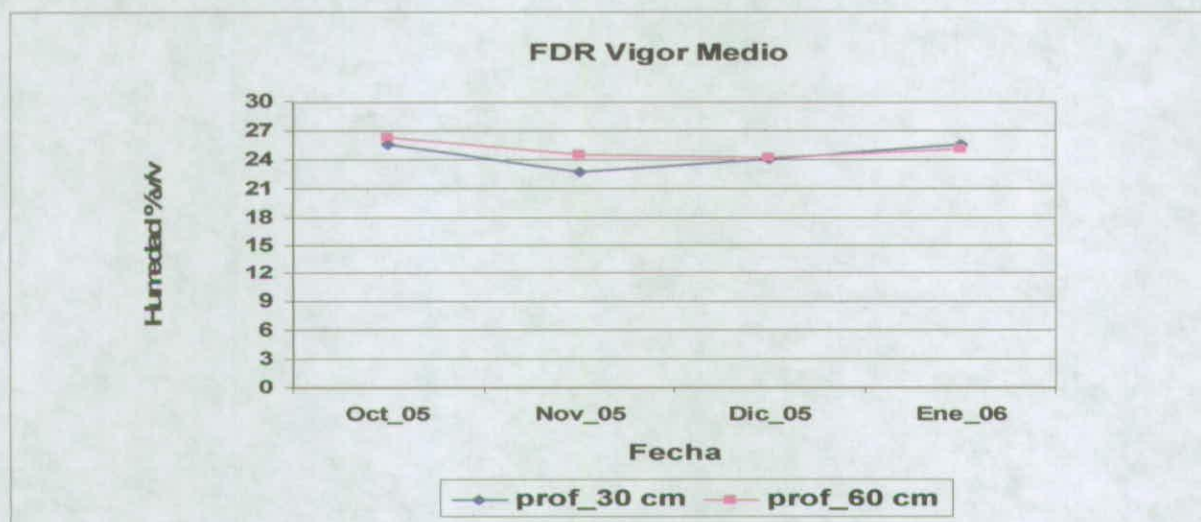
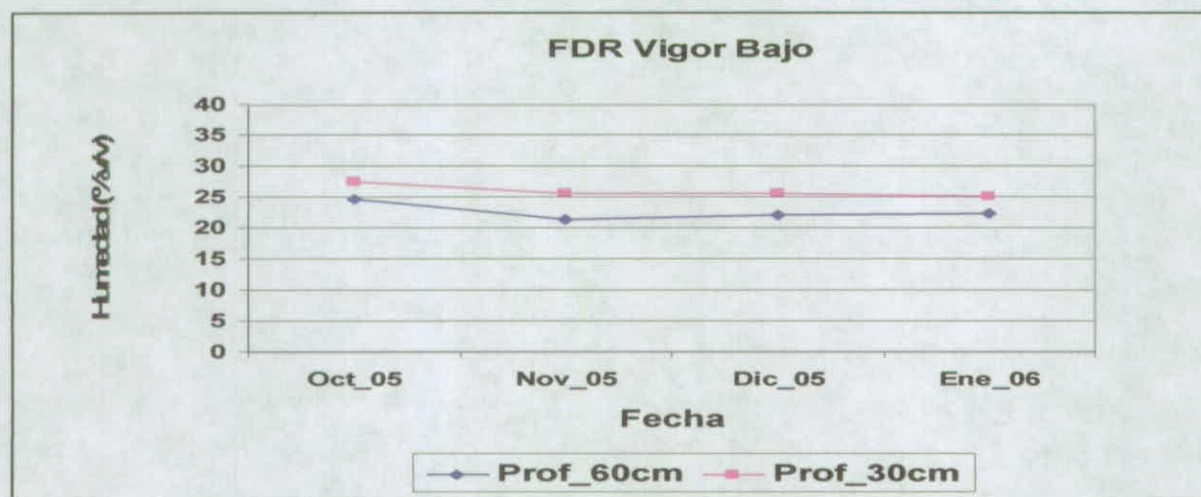


Figura54: Monitoreo hídrico de suelo en vigor alto, cuartel de Nectarino Var. August Red.



b. Características de fructificación.

En la figura 53 se observa que el crecimiento de los frutos durante la etapa de evaluación. Ambos cuarteles presentan dos tipos de periodo de crecimiento, el primero es un crecimiento lento y corresponde a la lignificación del endocarpio (hueso), hacia el final del endurecimiento del endocarpio (24 de diciembre) comienza rápidamente el crecimiento de las células de la pulpa hasta que el fruto madura. Además se puede señalar que al observar y comparar el comportamiento de las curvas entre los diámetro de frutos y largo de brotes éstos nos indican que el quiebre del crecimiento producido en la fecha 24 de diciembre explica que en el caso de los brotes, éstos se detienen en su crecimiento en favor al llenado de los frutos, por eso en esa fecha se produce el crecimiento exponencial de los frutos.

No se observa diferencias significativas en los diámetros totales de estos frutos analizados por zona de vigor, por lo que huerto presenta una cierta uniformidad en el tamaño de los frutos (Tabla 22).

Figura 55: Crecimiento de los frutos (mm), en las distintas zonas de vigor, durante la temporada de monitoreo.

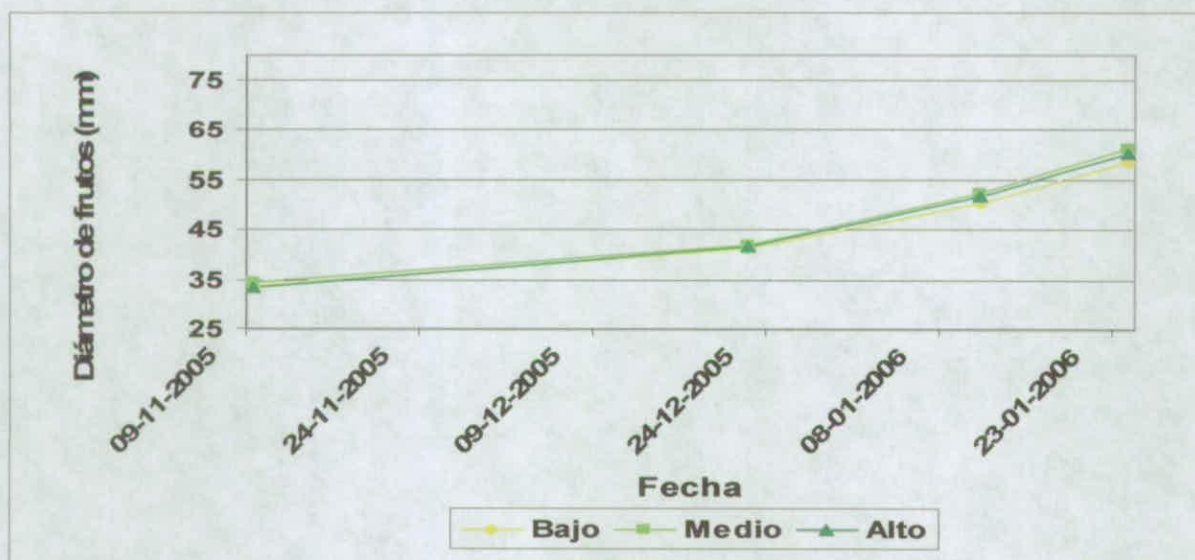


Tabla 22: Diferencias promedios de diámetros de frutos (mm), durante la temporada por zona de vigor.

Clases de Vigor	Diámetro promedio (mm)
Bajo	58,61 a
Medio	61,19a
Alto	60,46 a

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

c. Evaluación de calidad de frutos por zona de vigor.

Al analizar los parámetros de calidad de frutos por zona de vigor, éstos nos indica que no existe diferencias significativas entre ellos por lo que la calidad de éstos son similares en todo el cuartel (Tabla 23).

Tabla 23: Calidad de frutos por zona de vigor.

Vigor	Sólidos Solubles (°Brix)	Color cubrimiento (%)	Presión de Pulpa (Lb)
Alto	10,69 a*	2 a	1138 a
Medio	12,82 a	2 a	9,58 a
Bajo	12,31 a	2 a	10,23 a

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

d. Resultados Espaciales.

Los resultados obtenidos del análisis espacial de las variables analizadas se observan en la tabla 24, la cual nos indica 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.

Tabla 24. Resultados espaciales de los parámetros fonológicos y calidad de frutos con valores de NDVI.

NDVI / R ²	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1,0
Rdto Total (kg)										
Diámetro ecuatorial de frutos										
Largo de brotes										
Nº de Frutos										
Color de cubrimiento										
Diámetro ecuatorial en cosecha										
Presión (Lb)										
°Brix										
X										
Y										

V.3.2 MANZANO VARIEDAD GALAXY

Seguimiento de los puntos muestrales.

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 presento el mayor crecimiento vegetativo en comparación a las otras, no se encontró diferencias significativas entre las zonas de vigor bajo y medio (Figura 56). Esto puede atribuirse a la humedad del suelo presente en esas zonas de vigor, en el se observa la humedad de suelo en el cuartel durante la etapa de evaluación, encontrándose valores mayores en la zona de vigor alto. La humedad de las otras zonas de vigor presenta valores similares entre ellos, lo que se traduce en crecimientos vegetativos parecidos entre ellos.

Tabla 25: Diferencias promedios de crecimiento de brotes (cm) durante la temporada por zona de vigor.

Clases de Vigor	Largo promedio (mm)
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 ($P \leq 0,05$)

Figura 56. Crecimiento de los brotes (cm), en las distintas zonas de vigor, durante la temporada de monitoreo.

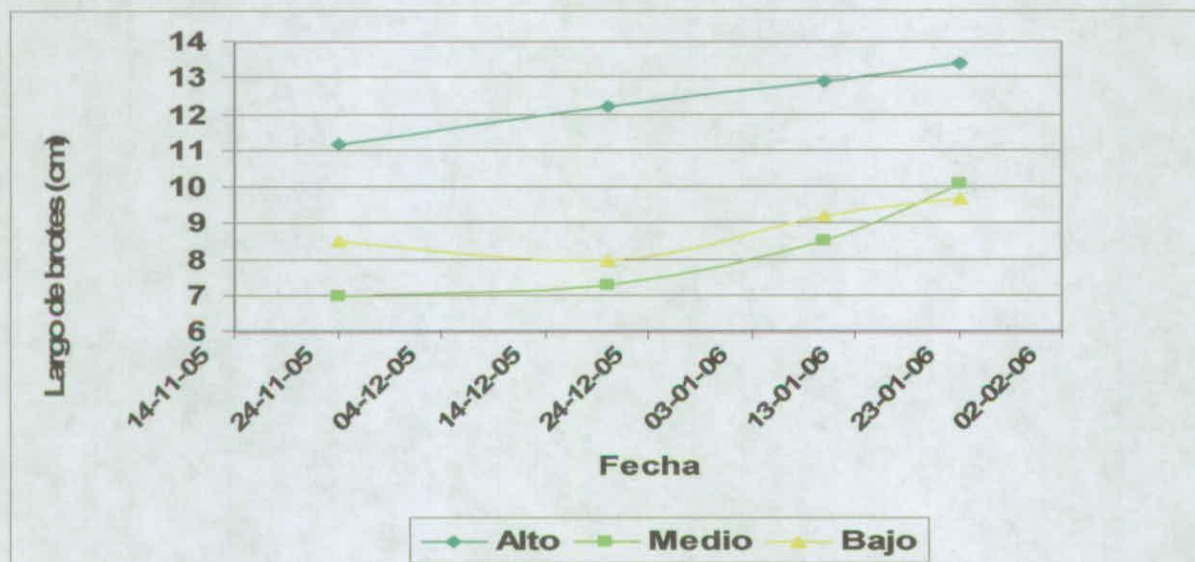
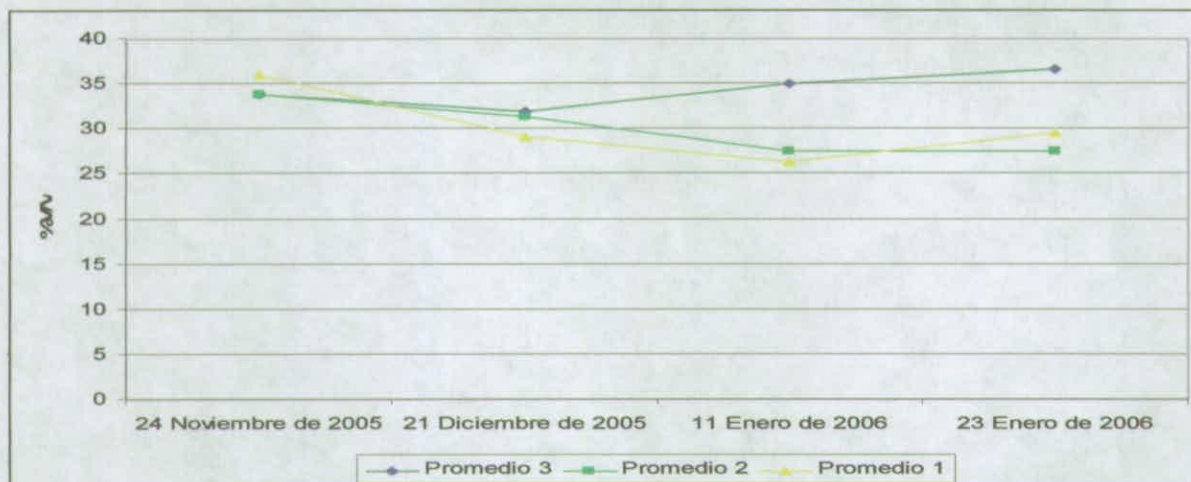


Figura 57: Monitoreo hídrico de suelo, cuartel de manzano Var. Galaxy.



b) Características de fructificación.

Los resultados obtenidos muestran 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 (Figura 58), no encontrándose diferencias significativas entre ellos (Tabla 26).

Figura 58: Crecimiento de los frutos (mm), en las distintas zonas de vigor durante la temporada de monitoreo.



Tabla 26: Diferencias promedios de crecimiento de frutos (mm) durante la temporada por zona de vigor.

Clases de Vigor	diámetro promedio (mm)
Bajo	65,44 a
Medio	64,95 a
Alto	64,52 a

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

c) Evaluación de calidad de frutos por zona de vigor.

Al analizar los parámetros de calidad de frutos por zona de vigor, éstos nos indica que no existe diferencias significativas entre ellos por lo que la calidad de éstos son similares en todo el cuartel (Tabla 27).

Tabla 27: Calidad de frutos por zona de vigor.

Vigor	Sólidos Solubles (°Brix)	Color cubrimiento (%)	Presión de Pulpa (Lb)
Alto	14,07 a*	3,50 a	11,99 a
Medio	13,28a	3,85 a	14,13 a
Bajo	13,38 a	3,70 a	11,99 a

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

d) Resultados Espaciales.

Los resultados obtenidos del análisis espacial de las variables analizadas se observan en la Tabla 28, el cual indica 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.

Tabla 28. Resultados espaciales de los parámetros fenológicos y calidad de frutos con valores de NDVI.

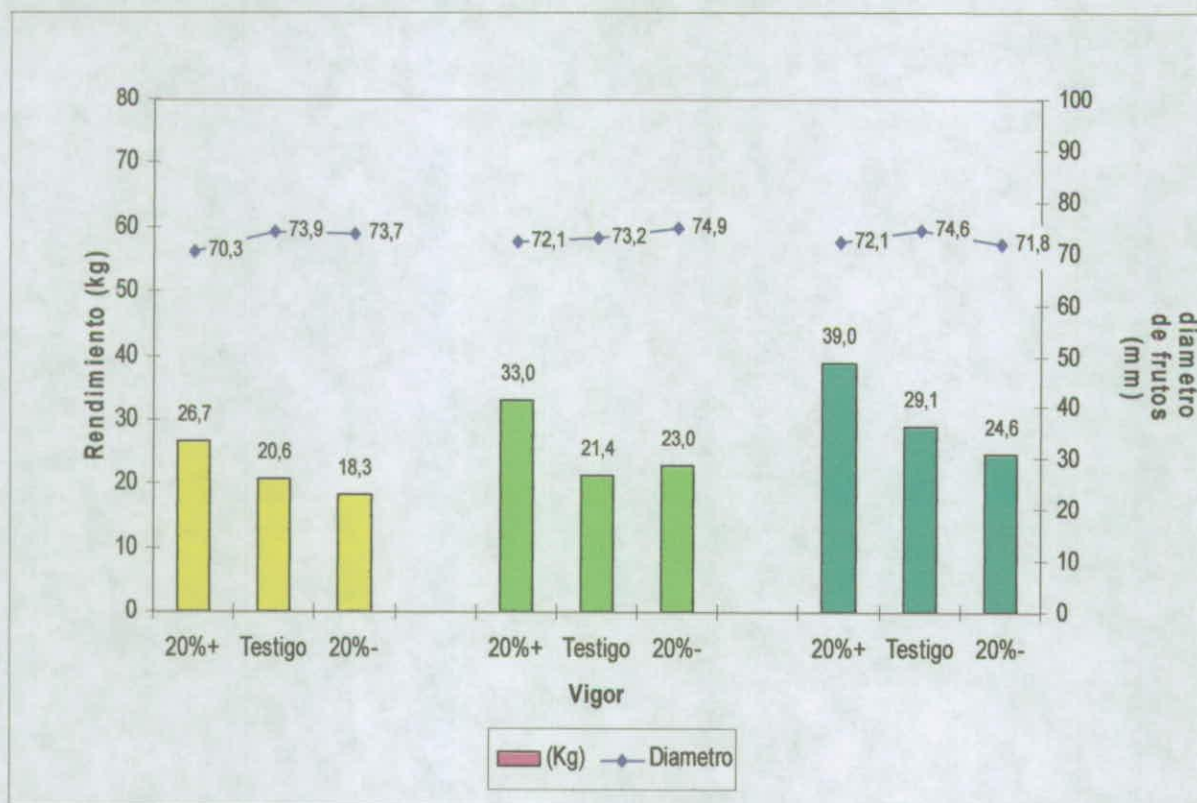
NDVI / R ²	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
Rdto Total (kg)										
Diámetro ecuatorial de frutos										
Largo de brotes										
Nº de Frutos										
Color de cubrimiento										
Diámetro ecuatorial en cosecha										
Presión (Lb)										
°Brix										
X										
Y										

e) Evaluación de raleo diferencial de frutos por punto muestral.

Al analizar la información obtenida de los rendimientos de los puntos de monitoreo, este nos indica que al aumentar en un 20% la carga frutal en comparación al testigo por zona de vigor el diámetro de los frutos se afecta negativamente en su tamaño final, pero no es significativa, ya que esta diferencia es alrededor de 1,3 mm entre rendimientos por zona de vigor (Figura 59).

la zona de vigor bajo presenta tamaños similares con el testigo y con el rendimiento menor, en cambio el rendimiento mayor presenta menor tamaño en comparación a los otros rendimientos. Los otros vigores presentan las mismas tendencias, es decir, a mayor vigor menor tamaño de los frutos, pero esta baja en el calibre no es significativo, esto indica que el huerto en los mayores vigores es capaz de soportar una carga mayor sin disminuir su calidad.

Figura 59: Relación rendimiento y calidad Rendimiento diferenciado



V.3.3 MANZANO VARIEDAD PINK LADY

Seguimiento de los puntos muestrales.

a. Características vegetativas.

El crecimiento de los brotes durante la temporada fue en forma sigmoidea, presentando leves quiebres en el crecimiento normal (Figura 58), esto puede deberse a que en esta etapa el brote detiene su crecimiento normal para aportar su energía hacia el crecimiento de los frutos. El mayor crecimiento correspondió a la zona de vigor alto, con leves diferencia con respecto a los otros. Según análisis de la varianza no se observó diferencias significativas entre las zonas de vigor bajo y medio, en cambio si se encontró diferencias con la zona de vigor alto (Tabla 29).

Figura 60: Crecimiento de los brotes (cm), en las distintas zonas de vigor, durante la temporada de monitoreo.

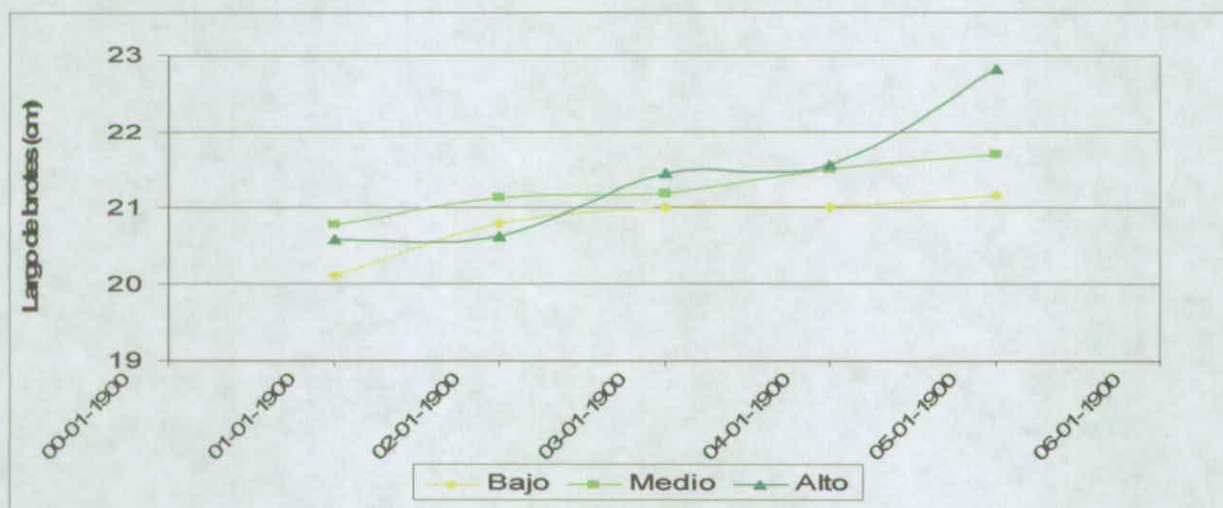


Tabla 29: Diferencias promedios de crecimiento de brotes (cm) durante la temporada por zona de vigor.

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 ($P \leq 0,05$)

b. Características de fructificación.

Los resultados obtenidos muestran 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 (Figura 61), no encontrándose diferencias significativas entre ellos (Tabla 30).

Figura 61: Crecimiento de los frutos (mm), en las distintas zonas de vigor durante la temporada de monitoreo.

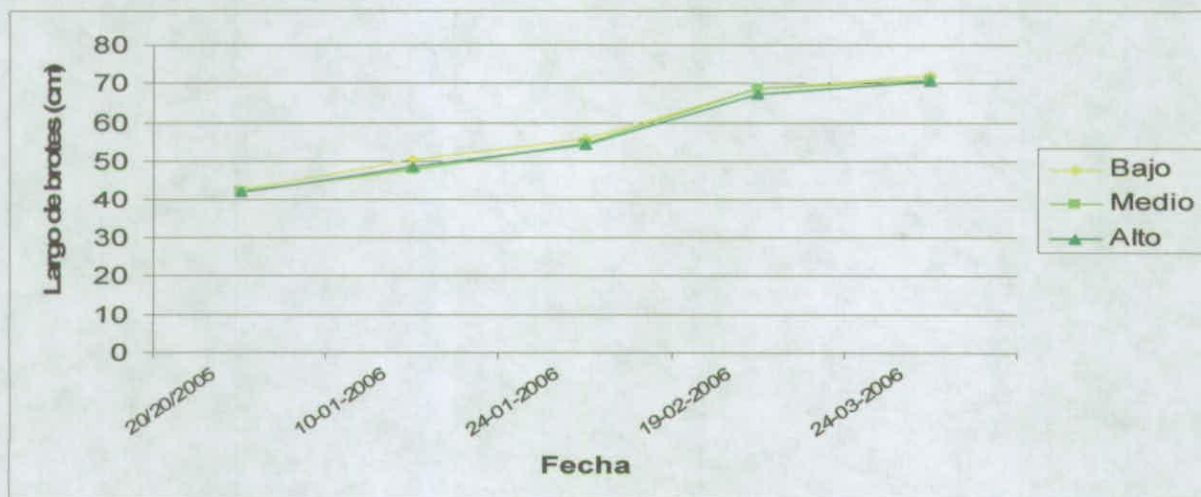


Tabla 30: Diferencias promedios de diámetros de frutos (mm) durante la temporada por zona de vigor.

Clases de Vigor	Largo promedio (mm)
Bajo	72,5 a
Medio	71,3 a
Alto	70,8 a

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

c. Evaluación de calidad de frutos por zona de vigor.

Al analizar los parámetros de calidad de frutos por zona de vigor, éstos nos indica que no existe diferencias significativas entre ellos por lo que la calidad de éstos son similares en todo el cuartel (Tabla 31).

Tabla 31: Calidad de frutos por zona de vigor.

Vigor	Sólidos Solubles (°Brix)	Color cubrimiento (%)	Presión de Pulpa (Lb)
Alto	14,0 a*	3 a	10,8 a
Medio	14,2 a	3 a	10,0 a
Bajo	13,3 a	3 a	12,1 a

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

d. Resultados Espaciales.

Los resultados obtenidos del análisis espacial de las variables analizadas se observan en la tabla 32, el cual indica 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.

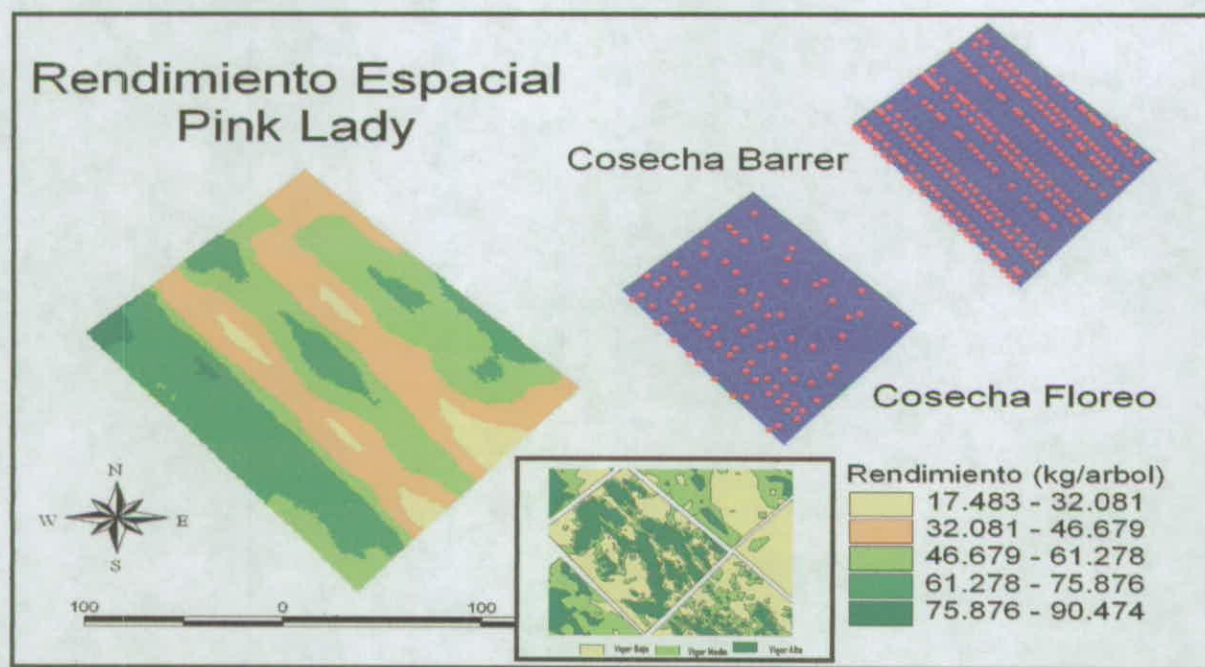
Tabla 32. Resultados espaciales de los parámetros fonológicos y calidad de frutos con valores de NDVI.

NDVI / R ²	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
Rdto Total (kg)										
Diámetro ecuatorial de frutos										
Largo de brotes										
Nº de Frutos										
Color de cubrimiento										
Diámetro ecuatorial a la cosecha										
Presión (Lb)										
°Brix										
X										
Y										

Al igual que el cuartel de la Royal gala, se logro obtener las mismas relaciones espaciales entre las áreas de incidencia de los bins asociado a las zonas de vigor, por lo que el éxito de esta metodología se repite durante esta temporada, no tan solo en estas especie sino que también en nectarinos, donde se explicará en ese capitulo más adelante.

La figura 62, muestra la relación que existe entre las área de incidencia de cada bins en el cuartel según zonas de vigor, formadas a raíz de la distancia que los separan uno de ellos.

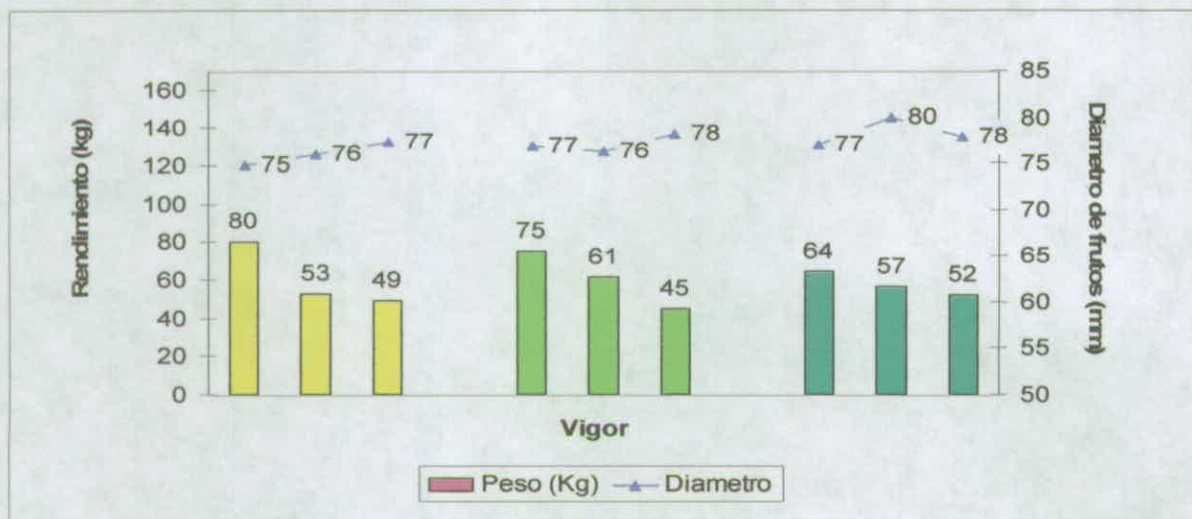
Figura 62. Rendimiento espacial var. *Pink Lady*.



e. Evaluación de raleo diferencial de frutos por punto muestral.

Al analizar la información obtenida de los rendimientos de los puntos de monitoreo, este nos indica que al aumentar en un 20% la carga frutal en comparación al testigo por zona de vigor el diámetro de los frutos se afecta negativamente en su tamaño final, pero no es significativa, ya que esta diferencia es alrededor de 1 mm entre rendimientos por zona de vigor (Figura 63).

Figura 63: Relación rendimiento y calidad Rendimiento diferenciado



Lo importante es señalar que al aumentar el rendimiento en las tres zonas de vigor en un 20% no afecta significativamente en los diámetros finales, lo que se traduciría en aumento de la rentabilidad del huerto. Estos ensayos de diferencias de cargar nos permite visualizar de mejor forma las potencialidades que tiene cada zona de vigor, par poder dejar mas frutos sin afectar la calidad final de éstos. Las diferencias de rendimiento por el aumento de carga por zona de vigor no influyen significativamente en la calidad final de éstos, que se traduciría finalmente en mayores ingresos.

La importancia que se genera este ensayo es generar nuevas metodologías capaces de pronosticar o predecir en cierta forma el rendimiento de la temporada del huerto. Estas metodologías deben considerar aspectos fisiológicos como medir la biomasa, conteo de yemas fértiles entre otras que sirven de apoyo en el pronóstico del rendimiento de la temporada. De tal forma que se están generando herramientas que permitan trabajar ambos puntos. Por una parte el rendimiento se evaluará brotes, fertilidad yemas y conteo frutas por zonas de vigor, y por otra parte, se esta desarrollando un sistema de evaluación de canopia, el que se detalla a continuación.

V.3.4 MANZANO VARIEDAD ROYAL GALA.

V.3.4.1 Seguimiento de los puntos muestrales.

a) **Características vegetativas.** En cuanto al crecimiento de los brotes durante la temporada, los resultados muestran una curva de tipo sigmoidea simple (Figura 62), no observando diferencias significativas de crecimiento vegetativo entre las zonas de vigor (Tabla 3), con í una alta relación entre el desarrollo de los brotes y la zona de vigor a la que pertenecen. Esta baja diferencia de crecimiento entre brotes por zona de Vigo, se pudo deber a que en esta temporada el manejo del huerto estuvo orientado a disminuir las áreas de vigor bajo de la temporada anterior, por lo que el riego y la fertilización fueron dirigidas a conseguir este objetivo influyendo significativamente en el crecimiento y desarrollo vegetativo de los árboles. Al comparar el crecimiento final de esta temporada (2005-2006) con la anterior (2004-2005), éstos tuvieron un crecimiento mayor (Tabla 18) en todas las zonas de vigor, lo que indica que el manejo señalado anteriormente tuvo buenos resultados.

Figura 64. Crecimiento de los brotes (cm), en las distintas zonas de vigor, durante la temporada 2005-2006 de monitoreo.

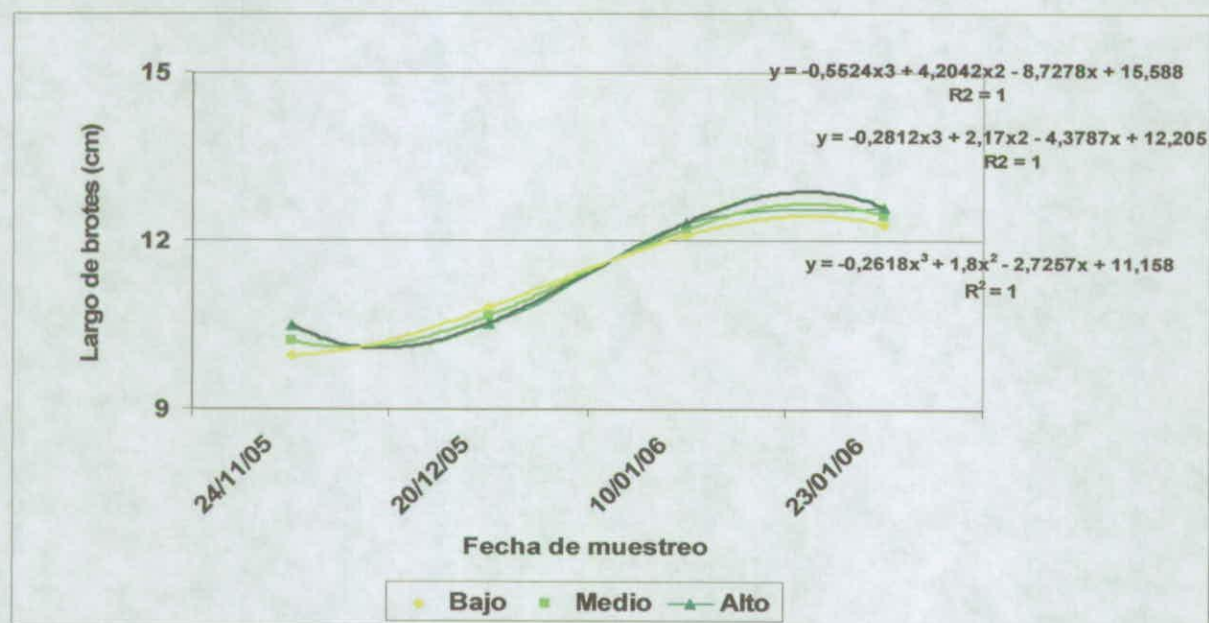


Tabla 33: Diferencias promedios de crecimiento de brotes (cm) durante la temporada por zona de vigor.

Clases de Vigor	Largo promedio (cm)
Bajo	12,3 a
Medio	12,4 a
Alto	12,6 a

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

Figura 65. Crecimiento de los brotes (cm), en las distintas zonas de vigor, durante la temporada 2004-2005 de monitoreo.



Tabla 34: Diferencias de crecimiento total de los brotes por temporada.

Clases de Vigor	Largo promedio (cm) (2004-2005)	Largo promedio (cm) (2005-2006)
Bajo	7,3	12,3 a
Medio	9,5	12,4 a
Alto	14,3	12,6 a

f) Características de fructificación.

Los resultados obtenidos muestran 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 (Figura 66).

Figura 66: Crecimiento de los frutos (mm), en las distintas zonas de vigor durante la temporada de monitoreo.



Las curvas de crecimiento siguen una forma de tipo sigmoidea, lo que coincide con otras investigaciones en las cuales se han descrito, para este tipo de análisis (Westwood, 1982). No se observan diferencias significativas de tamaño de frutos por zona de vigor, por lo que el diámetro de éstos es homogéneo en todo el cuartel (Tabla 4).

Tabla 35: Diferencias promedios de crecimiento de frutos (mm) durante la temporada por zona de vigor.

Clases de Vigor	diámetro promedio (mm)
Bajo	64,0 a
Medio	66,2 a
Alto	64,0 a

Al comparar el crecimiento de los frutos de esta temporada (2005-2006) con la temporada anterior (2004-2005), éstos tuvieron un tamaño similar (Tabla 5), relacionándose con el crecimiento vegetativo de cada temporada por zona de vigor.

Figura 67: Crecimiento de los frutos (mm), en las distintas zonas de vigor durante la temporada de monitoreo.

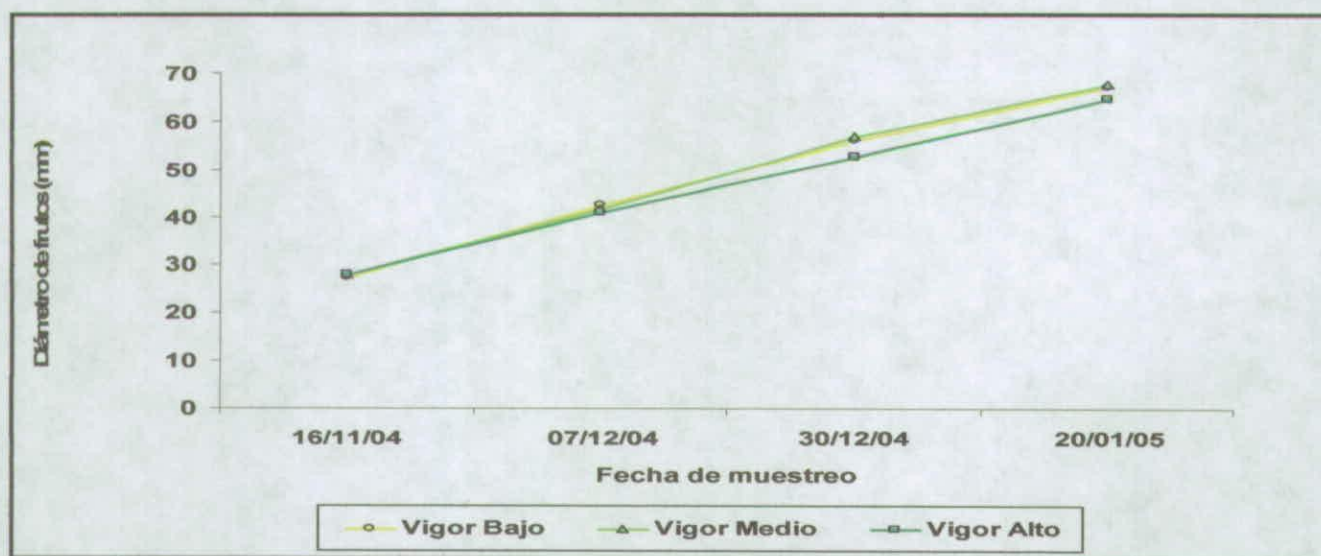


Tabla 36: Crecimiento total de los frutos por temporada.

Clases de Vigor	Diámetro promedio (mm) (2004-2005)	Diámetro promedio (mm) (2005-2006)
Bajo	65,9	64,0 a
Medio	68,3	66,2 a
Alto	64,5	64,0 a

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

g) Evaluación de calidad de frutos por zona de vigor.

Al analizar los parámetros de calidad de frutos por zona de vigor, éstos nos indica que no existe diferencias significativas entre ellos por lo que la calidad de éstos son similares en todo el cuartel (Tabla 6).

Tabla 37: Calidad de frutos por zona de vigor.

Vigor	Diámetros (mm)	Sólidos Solubles (°Brix)	Color cubrimiento (%)	Presión de Pulpa (Lb)
Alto	64..0 a	12,75 a	3,14 a	13,81 a
Medio	66.2 a	13,2 a	3,44 a	13,78 a
Bajo	64.0 a	12,78 a	3,01 a	13,98 a

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

Por otro lado hay que destacar que el manejo agronómico estuvo pensado en homogenizar el huerto por lo que los resultados obtenidos tanto vegetativos y de fructificación, como de calidad de frutos indican que los manejos tanto en fertilización y riego cumplieron sus objetivos, toda esta información se explicara en detalle más adelante.

h) Monitoreo hídrico del cuartel de manzano Var. Royal gala.

De las figuras 10, 11 y 12 se visualiza el estado hídrico del huero durante los meses de octubre del año 2005 hasta el 23 de enero del año 2006, según zonas de vigor.

Figura 68: FDR (Hilera 31 árbol 9), ubicado en la zona de vigor bajo

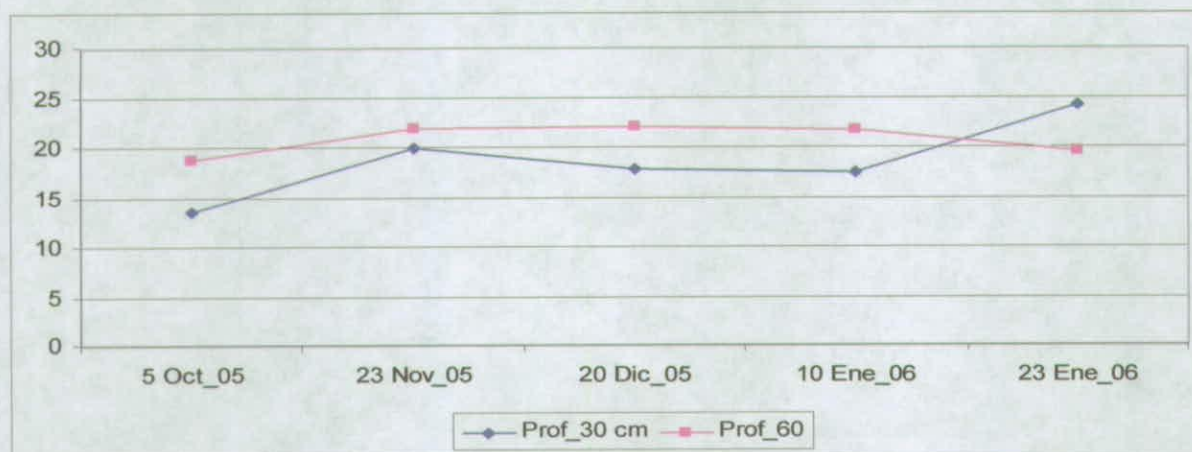


Figura 69. FDR (Hilera 12 árbol 70), ubicado en la zona de vigor alto.

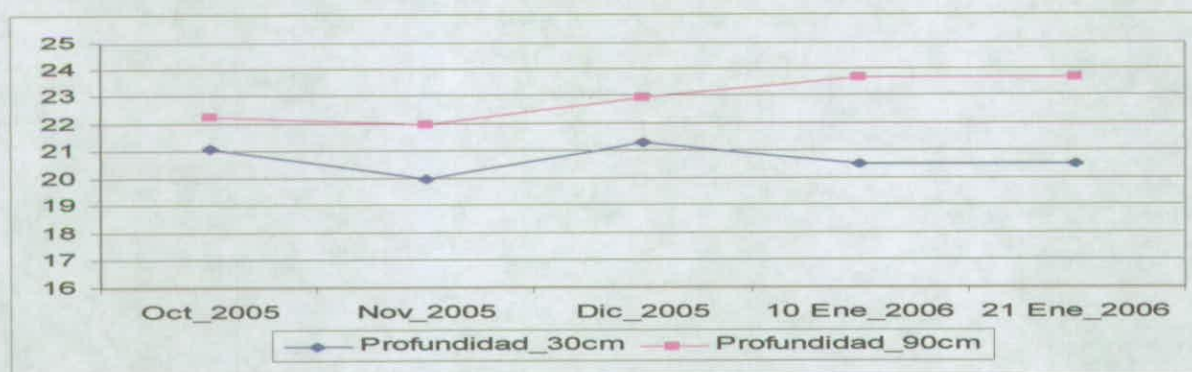


Figura 70. FDR (Hilera 19 árbol 13), ubicado en la zona de vigor medio.

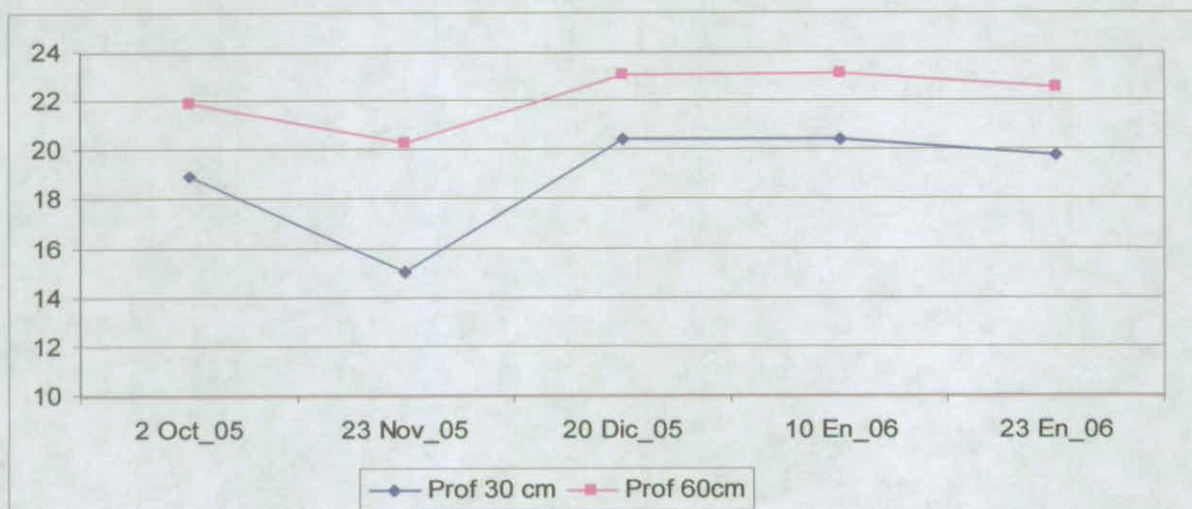


Figura 71, Representación grafica de las características de suelo



i) Resultados espaciales.

Los resultados obtenidos del análisis espacial de las variables analizadas se observan en la tabla 7, el cual indica una alta relación espacial entre los valores de NDVI con la mayoría de los parámetros analizados, a excepción de diámetro de frutos. 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.

Tabla 38. Resultados espaciales de los parámetros fonológicos y calidad de frutos con valores de NDVI.

NDVI / R ²	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
Rdto Total (kg)										
Diámetro ecuatorial de frutos										
Largo de brotes										
Nº de Frutos										
Color de cubrimiento										
Diámetro polar de frutos										
Presión (Lb)										
°Brix										
X										
Y										

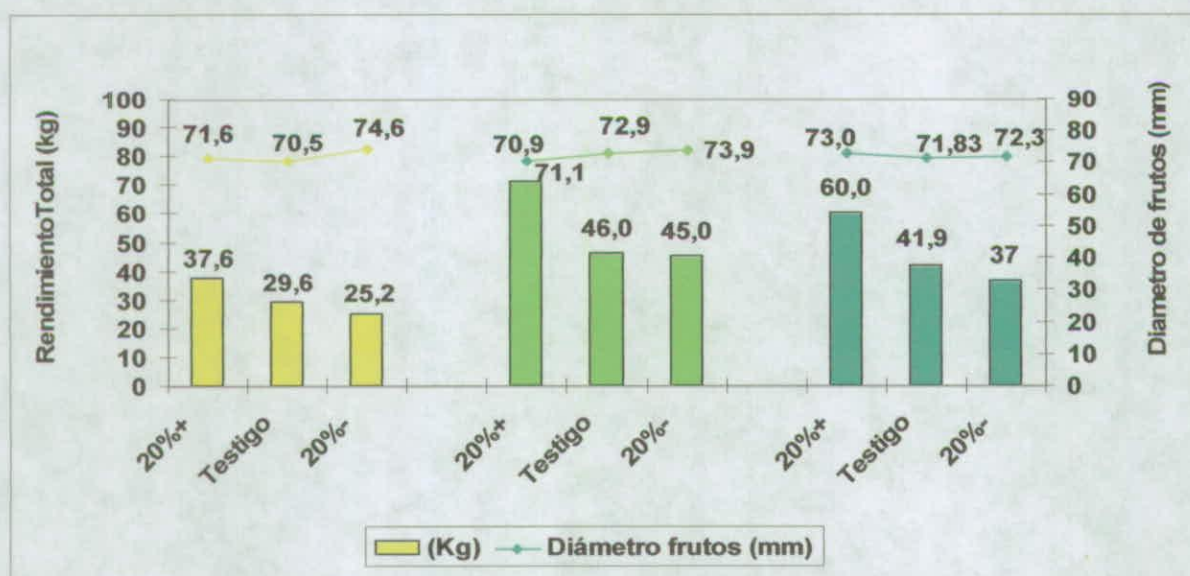
j) Rendimiento espacial de los puntos de monitoreo.

El análisis de regresión espacial obtenido de los puntos de monitoreo fue de 0,6 con $p \leq 0,5$, esto nos indica que existe una alta relación con el NDVI. Las otras temporadas evaluadas también se obtuvieron buenos resultados, por lo que esta herramienta utilizada es esencial para determinar rendimiento por zona de vigor.

k) Evaluación de raleo diferencial de frutos por punto muestral.

Al analizar la información obtenida de los rendimientos de los puntos de monitoreo, este nos indica que al aumentar en un 20% la carga frutal en comparación al testigo por zona de vigor el diámetro de los frutos se afecta negativamente en su tamaño final, pero no es significativa, ya que esta diferencia es alrededor de 2mm entre rendimientos por zona de vigor (Figura 14). En la zona de vigor bajo se observa que, los rendimientos obtenidos son menores en comparación a las otras zonas, pero los tamaños de éstos son homogéneos con las otras zonas de vigor. Las zonas de vigor alto y medio, no sufrieron variaciones importantes en tamaños de frutos al aumentar el rendimiento, esto indica que en esas zonas se pudo haber dejado más carga, en cambio la zona de vigor bajo el aumento no es tan significativo por lo que el manejo de este cuartel deberá potenciar las otras zonas de vigor.

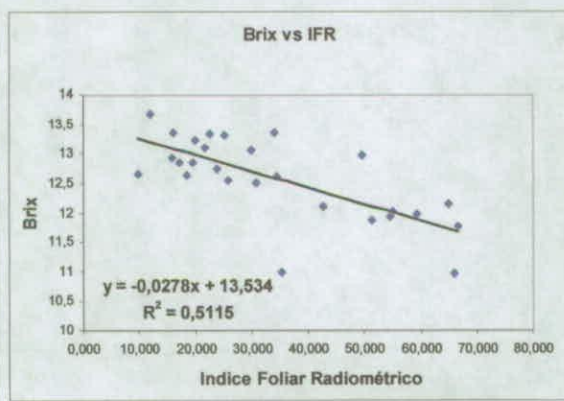
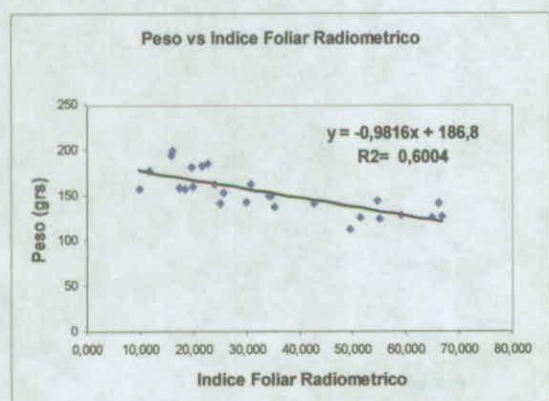
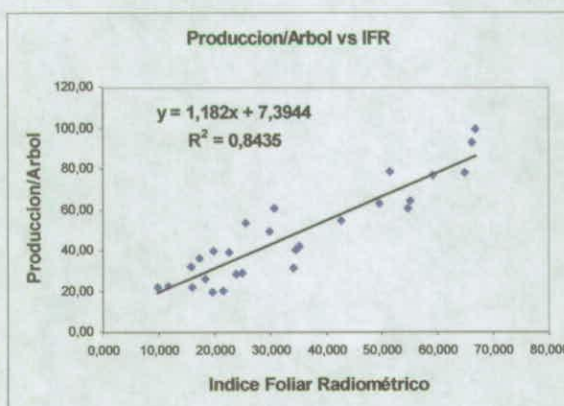
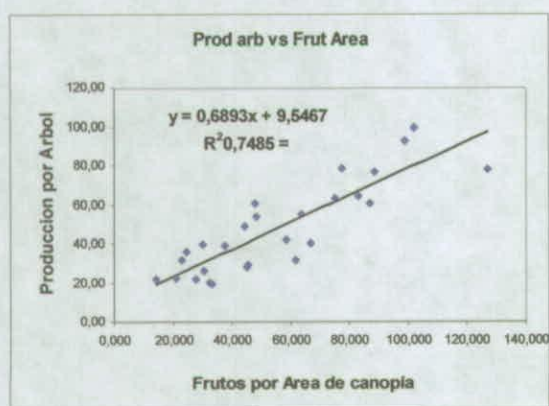
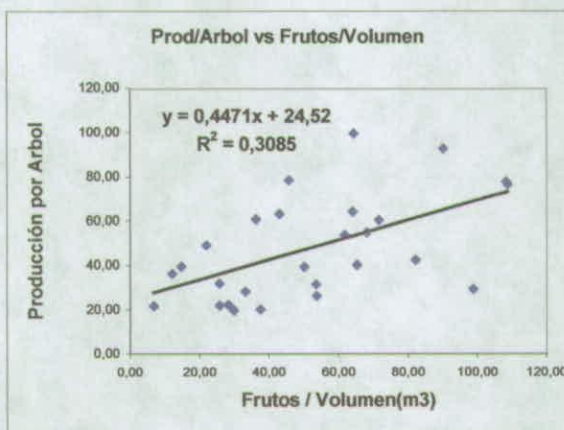
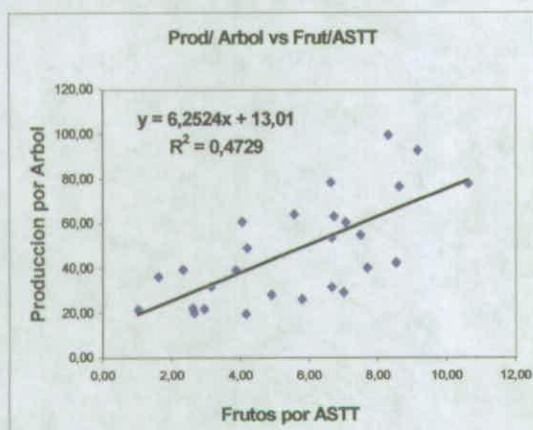
Figura 72: Relación rendimiento y calidad Rendimiento diferenciado



Lo importante es señalar que al aumentar el rendimiento en las tres zonas de vigor en un 20% no afecta significativamente en los diámetros finales, lo que se traduciría en aumento de la rentabilidad del huerto.

V.3.4.2 RESULTADOS ANÁLISIS FRUTOS/ÁREA DE COPA

El modelo de los Frutos/área de canopia normalizados por NDVI llamado en este trabajo Índice Foliar Radiométrico (IFR) explicó un 84, 60 y 51% de la varianza para producción (Kg / árbol), peso fruto (gr) y sólidos solubles (°Brix), respectivamente; produciendo un mejor ajuste que usar los frutos normalizados por Área de la sección transversal de tronco ($R^2 = 0.47, 0.49, \text{ y } 0.41$ respectivamente), los frutos normalizados por el volumen de canopia ($R^2 = 0.31, 0.32, \text{ y } 0.29$), respectivamente y frutos normalizados por Area de canopia ($R^2 = 0.75, 0.57, \text{ y } 0.54$, respectivamente).



CONCLUSIONES. Se visualiza que el uso del Índice Foliar Radiométrico 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.

V.3.4.3 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, 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. De esta manera los tratamientos de carga frutal afectaron parámetros de calidad que los panelistas fueron capaces de detectar sólo para VB. De esta forma existe una inconsistencia con los resultados obtenidos a cosecha, ya que en cosecha sólo para VM, SS y CC fue diferente significativamente ($P < 0,05$), lo que puede deberse a la variabilidad de criterios con lo cual los panelistas clasificaron la fruta Hoehn et al, (2003) o bien a la variabilidad que se produce fruta a fruta al realizar mediciones de calidad a cosecha con instrumentos destructivos, y luego dar a los panelistas otras manzanas que provenían del mismo tratamiento (Ventura et al 1998; Symoneaux et al 2005; De Baerdemaeker et al 2006; Duprat et al 1997).

Tabla 24. Efecto de la carga frutal sobre la aceptabilidad general percibida 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 ^(x)	6,0	7,0
Media	6,0 ab	6,0	5,5
Alta	4,0 b	5,5	6,0
Significancia	*	N.S.	N.S.

^(x) : Valores seguidos de la misma letra no difieren estadísticamente.

^(y) : N.S.; *, **; no significativo, significativo y altamente significativo.

^(z) : Ranking: (1) Baja Aceptabilidad – (9) Alta aceptabilidad

Tabla 25. 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	5,5 a ^(x)	5,0	6,0
Media	6,5 a	5,0	5,5
Alta	4,5 b	5,5	4,0
Significancia	*	N.S.	N.S.

Al igual que la explicación anterior solo para el nivel de carga frutal baja los consumidores apreciaron una diferencia sensorial significativa.

Tabla 26. Efecto de la carga frutal sobre el calibre 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	7,0 a ^(x)	6,0 a	5,5 a
Media	5,0 b	5,0 b	4,5 a
Alta	4,0 b	3,5 c	4,0 b
Significancia	*	**	**

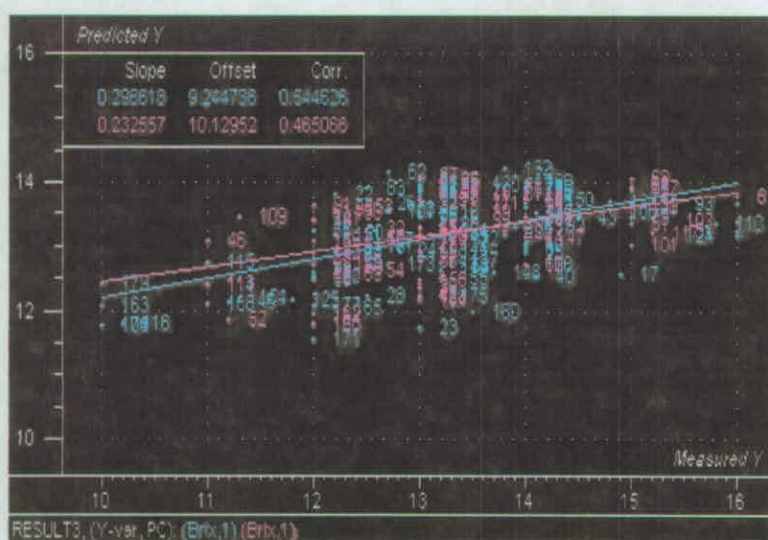
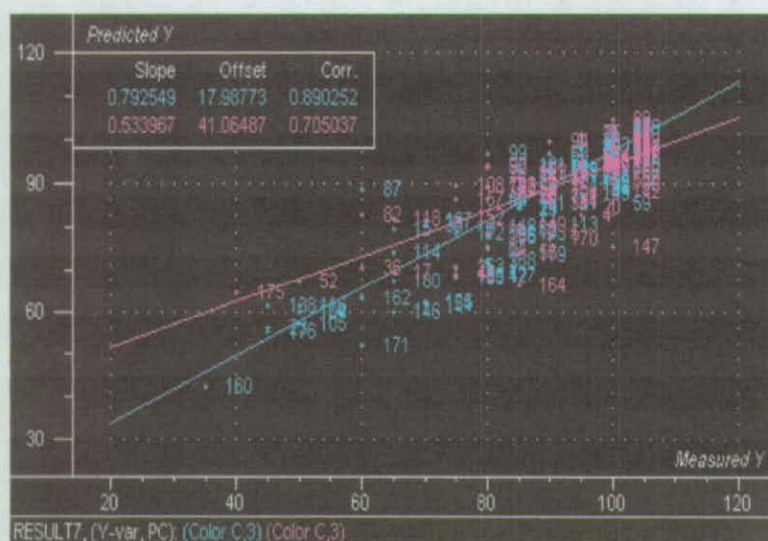
Para esta variable en todos los niveles de vigor se logró apreciar una diferencia significativa causada por los tratamientos de carga frutal realizados

Tabla 27. Efecto de la carga frutal sobre el Color 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	7,0 a ^(x)	7,0 a	5,5
Media	7,0 a	4,5 b	4,5
Alta	4,0 b	4,5 b	4,0
Significancia	*	**	N.S.

V.3.4.4 RESULTADOS: PREDICCIÓN DE CALIDAD DE FRUTA CON TECNOLOGÍAS NO DESTRUCTIVA: NIRS

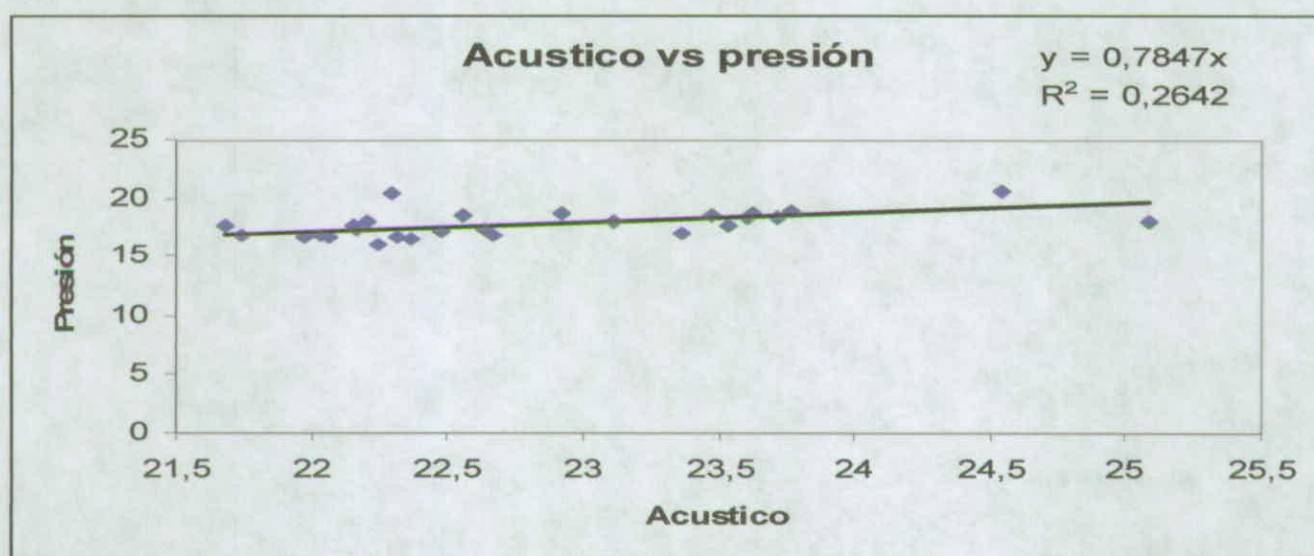
Los resultados muestran el alto coeficiente de determinación $r^2 = 0.89$, (en verde) para la explicación de la variación del color en manzana provocada por los distintos tratamientos de carga frutal lo cual implica que la recta explica un 89% de la variación de los datos. Este alto coeficiente de determinación queda demostrado en el alto coeficiente de determinación para el modelo predictivo (en fucsia; $r^2 = 0.70$). A pesar del alto coeficiente de determinación obtenido para color, el modelo para predecir los grados Brix no es tan alto (0,56) junto al modelo de predicción (0,46).



V.3.4.5 RESULTADOS: PREDICCIÓN DE CALIDAD DE FRUTA CON TECNOLOGÍAS NO DESTRUCTIVAS: ACÚSTICO

Se obtuvo un aceptable coeficiente de regresión $r = 0,51$, lo cual indica la moderada relación entre la medición acústica y el presionometro, es decir existe una relación ni débil ni fuerte en el aumento de la presión y la respuesta acústica. Sin embargo el bajo coeficiente de determinación obtenido al relacionarlo con el presionometro hace suponer la necesidad de calibrar este equipo con algún instrumento más preciso como el Instron, ya que en las mediciones del presionometro a pesar de las 2 mediciones que se hacen a lados opuestos de la fruta, el valor medido puede no representar la variabilidad interna de la fruta presente en la manzana.

Figura 70: Relación acústico/Presión.

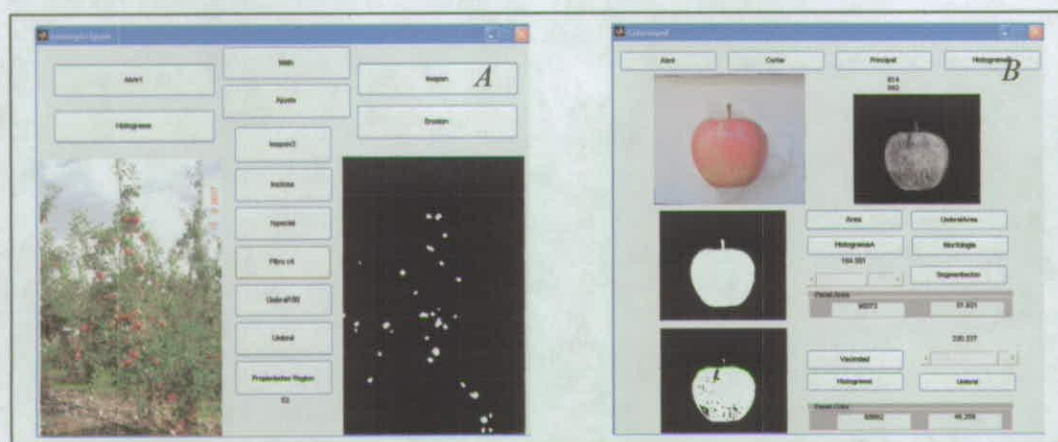


V.3.4.6 APLICACIÓN Y DESARROLLO DE TECNOLOGÍAS DE PRECISIÓN PARA EL DIAGNÓSTICO DE LA CARGA FRUTAL EN MANZANO (*MALUS DOMESTICA*, BORKH) 'ROYAL GALA'

Se definieron tres sitios específicos de vigor: alto (VA), medio (VM) y bajo (VB) en un cuartel de manzanos cv "Royal Gala", utilizando imágenes multiespectrales. En cada sitio se establecieron tres niveles de carga frutal: baja (1-4 frutos cm^{-2} de área sección transversal de tronco, ASTT), media (4-7 frutos cm^{-2} ASTT) y alta (7-10 frutos cm^{-2} ASTT). Para cada sitio de vigor y carga frutal se cuantificaron parámetros de calidad de fruta como peso (PF, gr.), sólidos solubles (SS, °Brix), color de cubrimiento (CC, %). Adicionalmente se programó una interfaz grafica de usuario (IGU) para cuantificar digitalmente parámetros como la cantidad de frutos digital en el árbol (NFD), CC digital (CCD) y Area Digital (AD). Los resultados y el diseño experimental se almacenaron en un sistema de información geográfica. 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 normalizados por cm^{-2} ASTT y m^3 de canopia, con un bajo coeficiente de determinación (r^2) de 0,48 y 0,31, respectivamente. El uso de imágenes multiespectrales, IGU y SIG podrían ser utilizadas como herramientas para definir criterios más precisos en el manejo y regulación de la carga frutal en manzano.

Figura 71 : Programa digital para conteo de frutos.

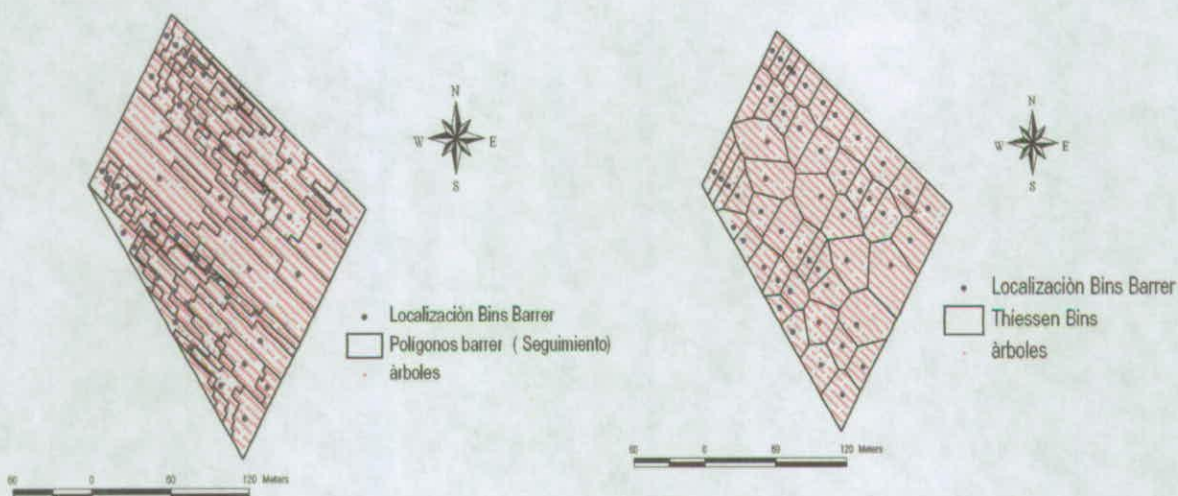


(A) Interfaz Gráfica de Usuario para el conteo digital de frutos, (B) Interfaz Gráfica de Usuario para la determinación del Área y CC en Manzanas cv Royal Gala.

V.4 EVALUACIÓN DE PLANOS DE COSECHA.

Tal como se explico en materiales y métodos, el desarrollo de los planos de rendimiento se desarrolló sobre la base del registro de posicionamiento y llenado de los bins. Para cada cosecha (Floreos 1, 2, 3 y Barrer), se defino el área de incidencia de cada bins, según la metodología de los polígonos de thiessen (Figura 47) a para asignar el rendimiento obtenido del bins ponderado según los árboles que estén asociado a su polígono de incidencia, pudiendo así, obtener el rendimiento total de cada árbol.

Figura 72. Sectorización de áreas de incidencia de cada bins sobre la base de su definición real en terreno y mediante uso de polígonos de thiessen (Cosecha Barrer, *August Red*)



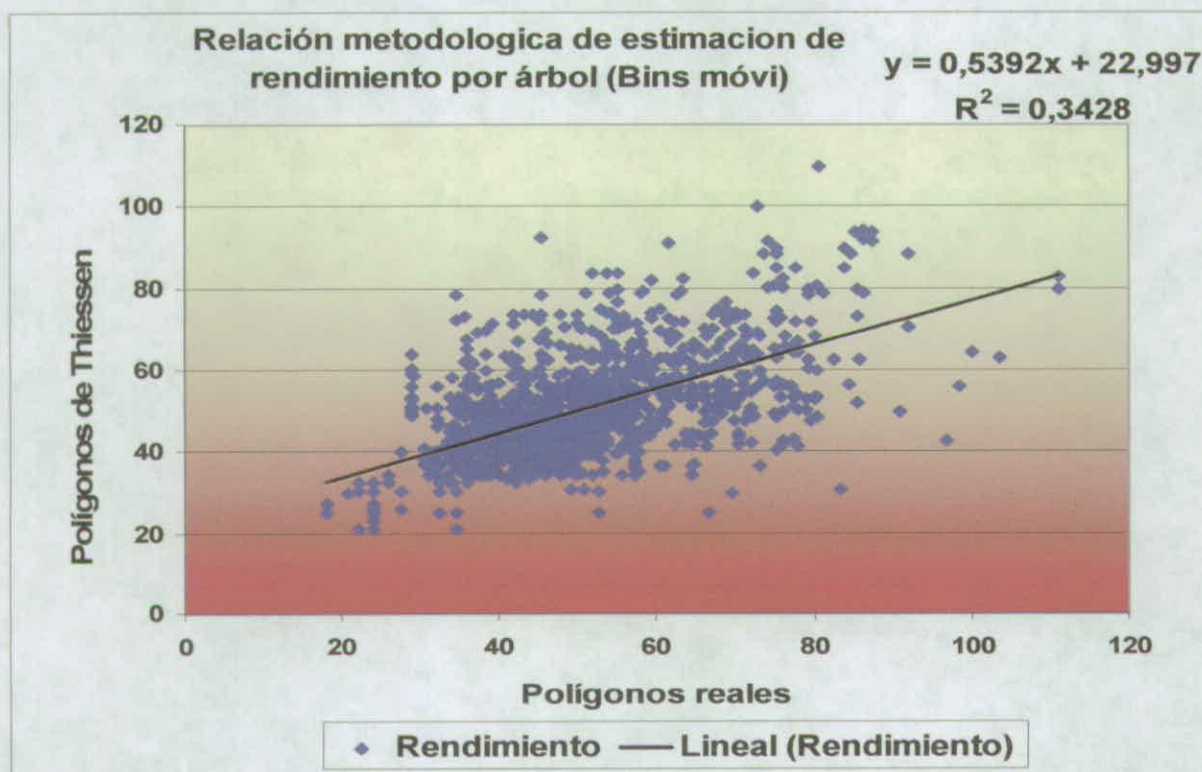
Obtenidos los rendimientos totales del cuartel por ambas formas, se procedió a evaluar la consistencia de la información obtenida por ambas vías mediante una regresión espacial, obteniéndose muy buenos resultados ($R^2=0.979$, Tabla 19) entre ambas metodologías y con diferencias de rendimientos totales de tan solo 2.5 %, pudiéndose decir que ambas metodologías pueden ser utilizadas bajo la condición de bins móviles.

Tabla 28 Resultados de la regresión espacial entre Polígonos de Thiessen y Polígonos manuales.

Variable	Coefficient	Std.Error	z-value	Probability
CONSTANT	25.0791	4.028176	6.22592	
POLY_T	0.08161456	0.009122067	8.946937	
LAMBDA	0.9856306	0.002303098	427.9586	

Al realizar una regresión simple entre los rendimientos obtenidos de ambas metodologías en siete clases de vigor, se obtiene una baja relación entre ellos (figura 48), esto es debido a que esta metodología no considera la especialidad de las variables.

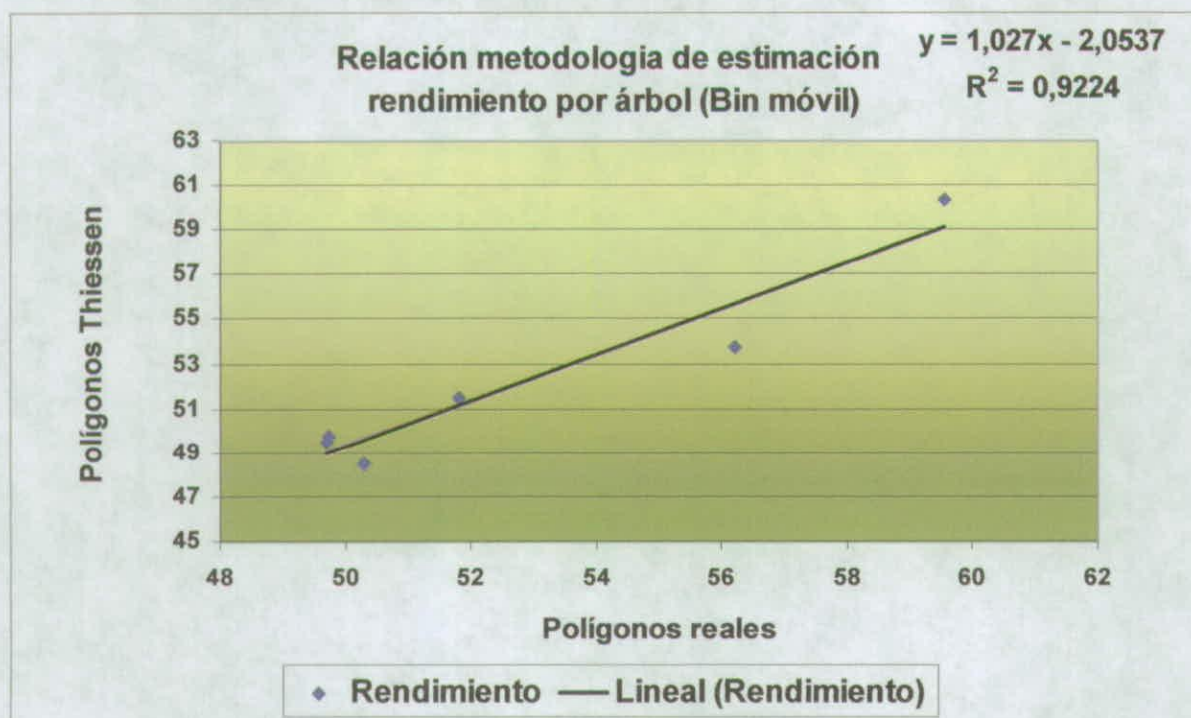
Figura 73: Relación de estimación de rendimiento por árbol



Debido a esto se decidió utilizar los valores medios de cada una de las variables por clase de vigor, obteniendo valores cercanos a los de análisis espacial (Figura 49). Esto conlleva a fomentar la necesidad de utilizar modelos espaciales que consideren la vecindad de cada elemento ya que la manifestación del rendimiento 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 bajos de r^2 inferiores a 0.3, que refleja un mal ajuste entre las variables y produciría importantes errores de interpretación en los resultados.

Figura 74. Relación entre metodologías de thiessen y Manual en calculo de rendimiento por árbol (valores promedio de 6 zonas de vigor)



Al comprobar que los polígonos de Thiessen es una herramienta que permite ser utilizada para determinar el área de influencia de los bins y así permitir rendimiento espacial del huerto, se relaciono con los valores de NDVI.

El análisis de regresión espacial obtenido entre la metodología de polígonos de thiessen en las 7 categorías de vigor fue de 0,92 con $p \leq 0,05$ (Tabla 29), esto indica una alta relación entre ellos, permitiendo así validar el uso de esta metodología para ser utilizada en determinar el rendimiento espacial de huerto.

La relación existente entre las áreas de los polígono de Thiessen formadas con las clases de vigor fue de 0,96 con $p \leq 0,5$. Esta fuerte relación nos indica que esta metodología puede ser utilizada para evaluar rendimiento espacial, tal como se comprobó en los manzanos.

Tabla 29 Resultados de la regresión espacial entre Polígonos de Thiessen y valores de NDVI por árbol.

Variable	Coefficient	Std.Error	z-value
W_RDTO_TOTAL	0.9641937	0.003730218	258.4819
CONSTANT	0.6178266	0.08725605	7.080616
NDVI	0.07709104	0.1636888	0.4709609

En la figura se puede distinguir que los polígonos de mayor área están ubicados en las zonas de menor vigor, con una menor 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.

Lo antes expuesto es de real importancia ya que el seguir los cosechadores en cosecha hace impracticable el sistema e imposible la obtención de los planos de cosecha de alta importancia para el sistema de precisión.

V.5 Evaluación Paltos Variedad Hass

V.5.1 Seguimiento de los puntos muestrales.

a. Características vegetativas.

El crecimiento de los brotes durante todas las temporadas de evaluación, fue en forma exponencial en las tres zonas de vigor, donde la zona de vigor alto presento el mayor crecimiento vegetativo en comparación a las otras, no se encontró diferencia significativas entre las zonas de vigor bajo y medio (Figura 75). Esto puede atribuirse a la humedad del suelo presente en esas zonas de vigor, como también a las características estructurales presentes en la zona de vigor. Tabla 30. El largo de brote coincide con otras investigaciones, donde hincan que en el grafico 75 se observa la humedad de suelo en el cuartel durante la etapa de evaluación en las zonas de vigor alto y medio, encontrándose valores mayores en la zona de vigor bajo. Otras investigaciones indican que sobre 30-40% de humedad de suelo en los 40 primeros cmts de profundidad, la planta sufre de problemas radiculares (asfixia radicular) por exceso de agua, ya que en esa profundidad se concentra el 60% de las raíces (figura 57), por tanto esta baja en vigor en este caso se adjudicaría al exceso de humedad presente en ese sector.

Figura 75: Crecimiento de los brotes (cm) en las distintas zonas de vigor, durante la temporada de monitoreo.



Tabla 30: Diferencias promedios de largo de brotes (cm), 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 ($P \leq 0,05$)

Tabla 31: Textura de suelo por zona de vigor.

Vigor	Profundidad	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Textura
Alto	30 - 60	30.0	42.0	28.0	Franco Arcilloso
Alto	30 - 60	32.0	50.0	18.0	Franco Limoso
Medio	30 - 60	28.0	46.4	25.6	Franco
Medio	30 - 60	30.0	44.0	26.0	Franco
Bajo	30 - 60	66.4	27.3	6.4	Franco Arenoso
Bajo	30 - 60	26.4	62.9	10.7	Franco Limoso

b. Características de fructificación.

En las figuras 76 Se observa el crecimiento de los frutos durante el periodo de evaluación en el cuartel.

Los frutos analizados presentan dos tipos de periodo de crecimiento, el primero es un crecimiento lento y corresponde a la lignificación del endocarpio (hueso), hacia el final del endurecimiento del endocarpio (28 de febrero) comienza rápidamente el crecimiento de las células de la pulpa hasta que el fruto madura, que es concluyente con investigaciones realizadas por Gamalier, 2005; quien indica que la fase de crecimiento rápido de la fruta es el segundo periodo crítico para el riego.

Durante este tiempo, el manejo adecuado del riego reduce la caída de fruta e incrementa el tamaño final del fruto (Bower, 1985a; Whiley et al., 1988b; Olstenholme et al., 1990). El tamaño de la fruta se puede ver afectado con el manejo del riego.

Cualquier estrés, por exceso o déficit hídrico, puede afectar el tamaño de la fruta, principalmente los ocurridos en los. Toda esta evaluación se respalda técnicamente por primeros 120 días después de plena flor, donde se define el número de células del fruto (figuras 77 y 78). Lahav y Kalmar (1983) recomendaron que el intervalo entre riegos se acorte en verano, cuando el crecimiento de la fruta es rápido, para asegurar el máximo tamaño de fruta, considerando que el crecimiento de la fruta en otoño es más lento y no hay ventaja en acortar los intervalos de riego.

En resumen, el período más crítico para el desarrollo del palto es la primavera. El exceso de agua durante este período, en suelos de baja aireación, afecta el desarrollo radicular, lo cual produce muerte de raíces (asfixia), afecta la cuaja, reduce el tamaño de los frutos y aumenta los frutos con desórdenes internos, como el pardeamiento de pulpa y el bronceado vascular.

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

Figura 76: Crecimiento de los frutos (mm) en las distintas zonas de vigor, durante la temporada de monitoreo.

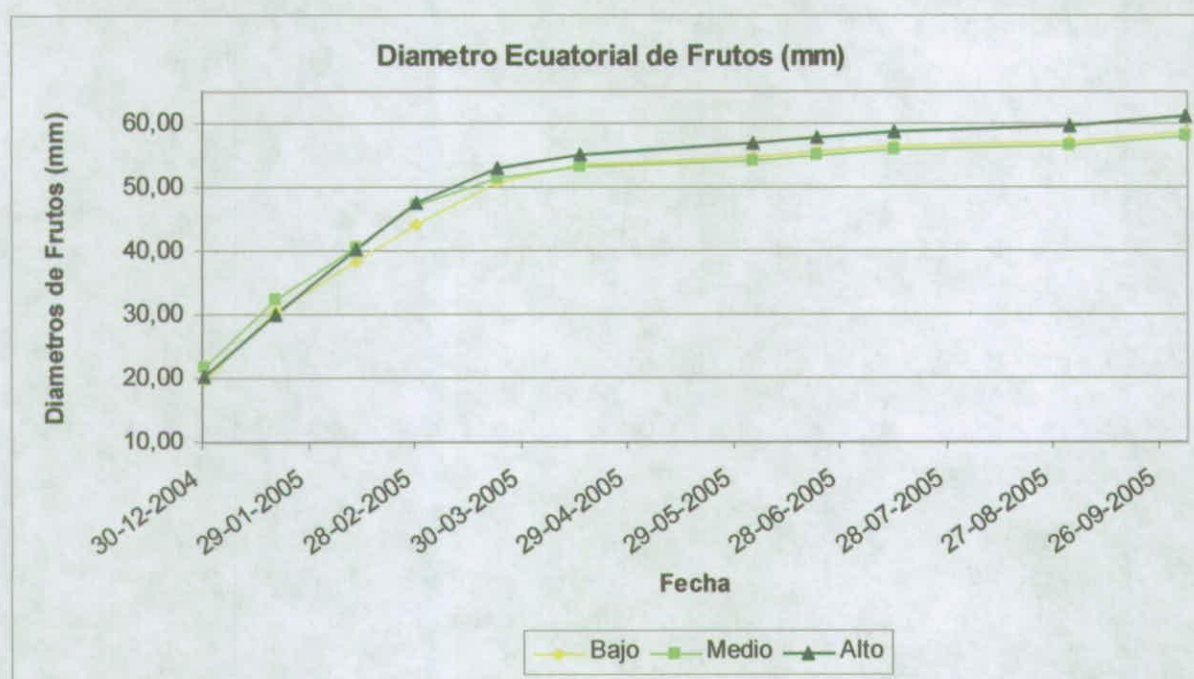


Tabla 32: Diferencias promedios de diámetro de frutos (mm), por zona de vigor.

Clases de Vigor	Diámetro promedio (mm)
Bajo	58,55 a
Medio	57,97 a
Alto	61,05 a

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

Figura 77. Desarrollo del diámetro ecuatorial de frutos.

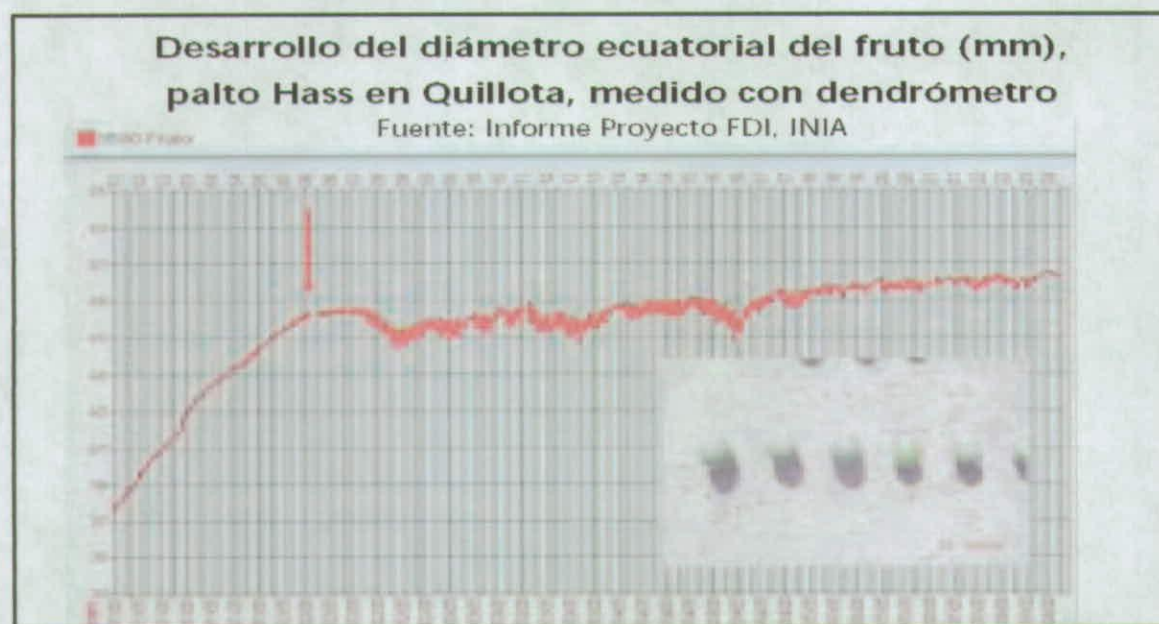
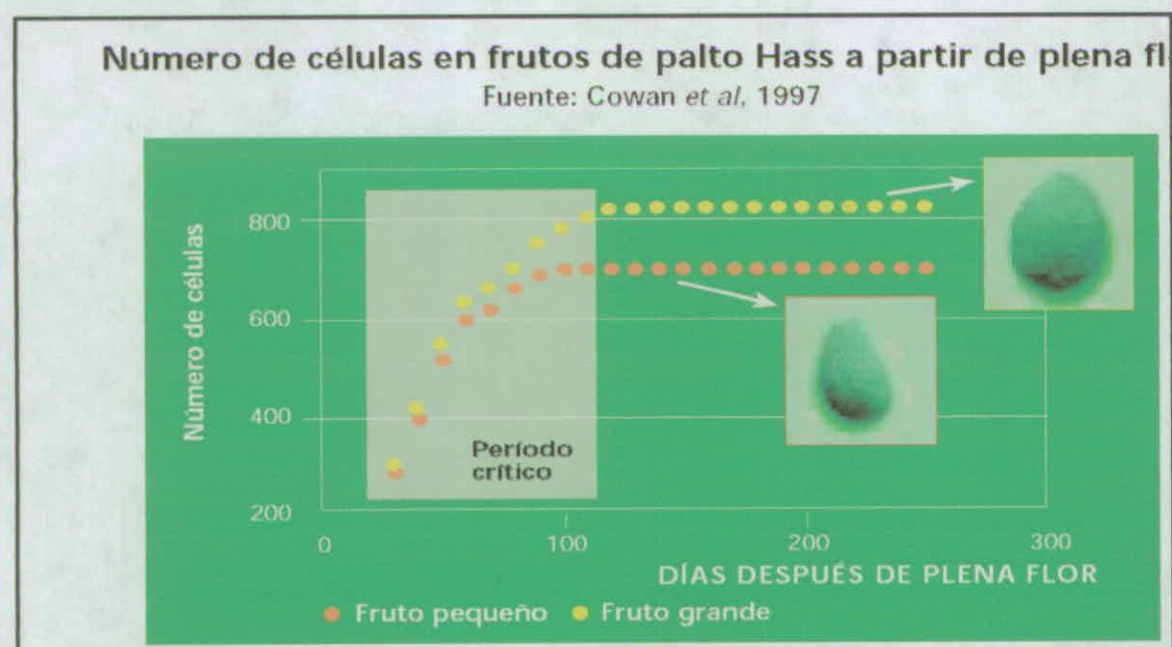


Figura 78. Desarrollo celular de palto.



C. ESTUDIO DE HÍDRICO EN PALTOS

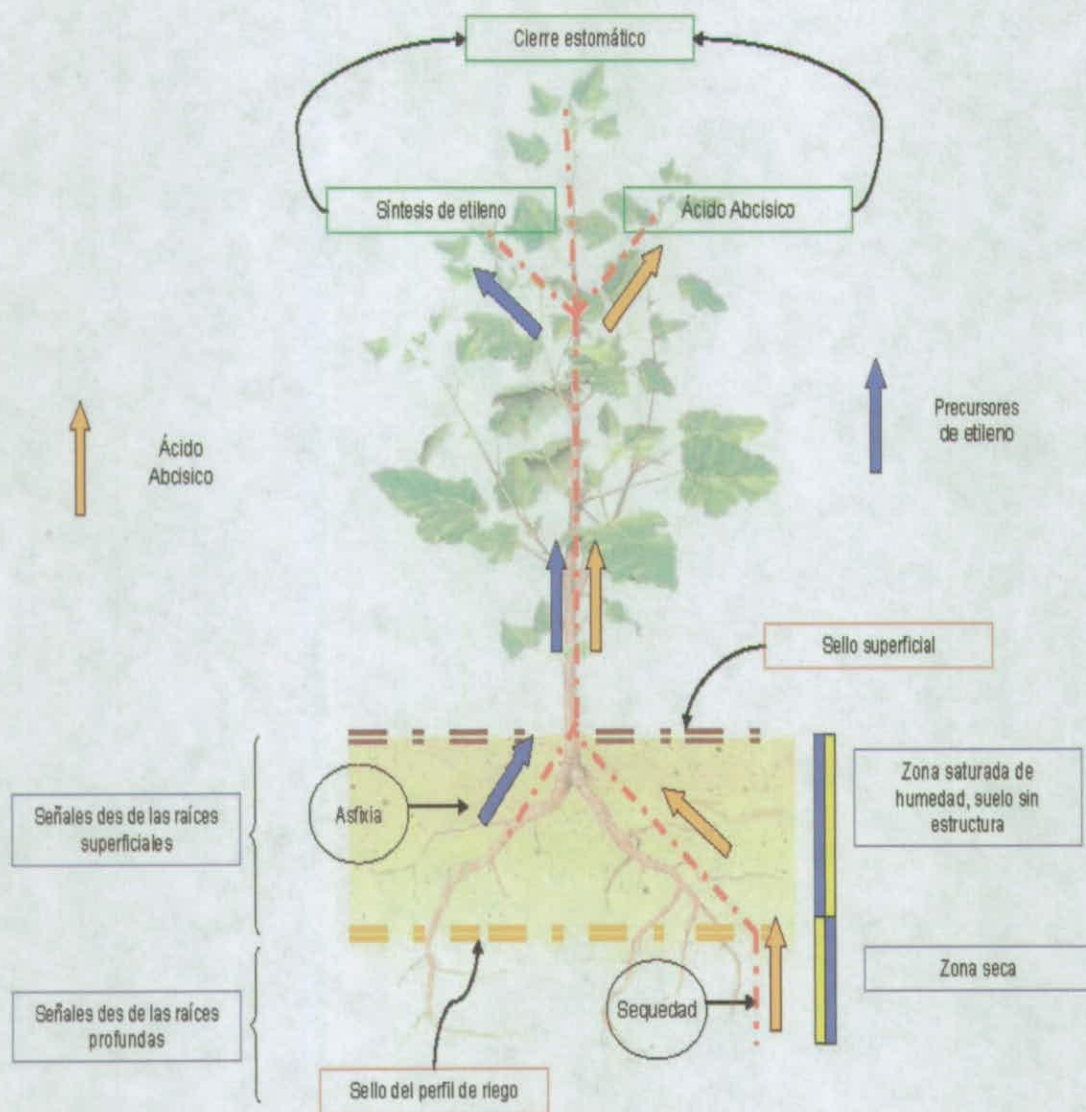
En el último informe se dio a conocer que el principal factor de la baja de vigor, es la condición hídrica que es sometida el huerto, por lo que un mal uso de este recurso puede causar asfixia radicular o una sequedad de ellas. Debido a esto se decidió realizar un ensayo de diferencias de carga de agua y aplicación de productos químicos al suelo que permiten disgregar las partículas del suelo, así poder mejorar la infiltración del agua en el suelo y aireación de las raíces evitando asfixia radicular, ya que ello trae consigo enfermedades radiculares.

Los suelos en que esta plantado el cultivar son de tipo aluviales profundos, correspondientes a terrazas aluviales antiguas del Río Cachapoal. Las texturas superficiales son de tipo franco limosa a franco arenosa muy fina, y el drenaje de la Serie Peumo varía 13 de bueno a moderado y en algunos sectores drenaje imperfecto asociado a texturas más pesadas. (C. Bonomelli, comunicación personal).

En general en la VI región se aprecian menos problemas asociados a decaimiento por asfixia, aunque en cerros con texturas franco arcillosos es más probable encontrar estas condiciones. Los suelos de las laderas plantadas poseen texturas más bien franco arcillosa, y los sistemas de plantación son directamente en suelo, camellones y terrazas.

El caso de esta zona en particular, es interesante debido a que en algunos sectores, tales como la serie San Vicente Tagua Tagua y Pichidegua, se presentan algunas diferencias en el pH de suelo con respecto a otras zonas de cultivo de palto, existiendo pH entre 6,2 y 6,8 (C. Bonomelli, comunicación personal). Esta característica podría significar que en este caso, no sólo se observe un problema de decaimiento por asfixia en huertos, sino que eventualmente también por el ataque del hongo *Phytophthora cinamommi*, el cual pese a ser un habitante endémico de los suelos de la zona central, presenta un mejor desarrollo con pH de suelo ácido y sub ácido. La presencia de *Phytophthora cinamommi* combinado con un problema de saturación continua del suelo podría provocar que los problemas de decaimiento se presente en forma más rápida, ya que el decaimiento observado en paltos, debido a asfixia radical, se ve aumentado en intensidad y magnitud cuando hablamos de pudrición radical debido a este patógeno.

Figura 79: Efecto de la asfixia radicular.

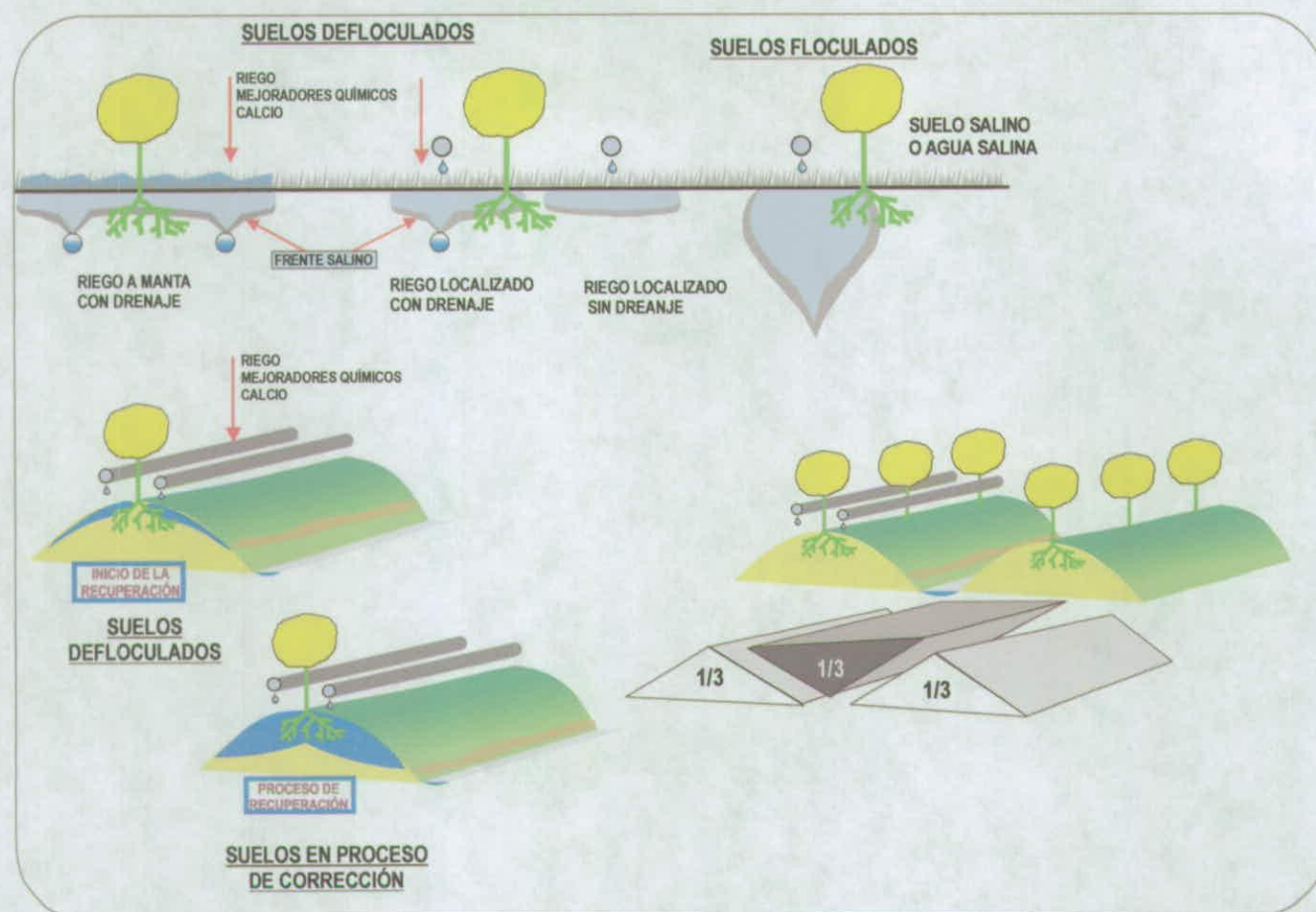


La hipoxia o asfixia radical se presenta cuando existe inundación de la zona de raíces, desplazando el aire del espacio poroso del suelo. El oxígeno remanente es disuelto en agua o atrapado en cavidades del suelo, y es utilizado en la respiración de raíces y microorganismos. Cuando no existe un buen drenaje del agua acumulada en el suelo, el oxígeno se agota rápidamente debido a que este elemento difunde 10.000 veces más lentamente en agua que en el aire. Cabe destacar que el transporte de O₂ en el suelo hacia las raíces es 300.000 veces mayor en un sistema poroso aireado comparado con un sistema saturado (Kramer, 1995).

Algunos de los factores que favorecen la hipoxia radical son

- Texturas con alto porcentaje de arcillas o limo.
- Falta de estructura en suelo (suelos sódicos, o mala genética de suelo).
- Horizontes compactados, roca u horizonte Gley que impiden la percolación profunda de las aguas.
- Alta densidad aparente del suelo (reflejo de problemas de compactación).
- Presencia de napas colgantes por abrupto cambio de textura en perfil del suelo.
- Riego excesivo.

Figura 80: Efecto de la acción del surfactante en el suelo



Asfixia radical en palto (*Persea americana* Mill.)

El cultivar Hass es la variedad más plantada de palto en nuestro país, y la mayoría de las plantaciones se encuentran sobre patrón Mexícola de semilla. Hace más de quince años las plantaciones de palto Hass se han establecido en laderas de cerro, con el fin de mejorar las condiciones climáticas y también por el valor de la tierra, significativamente menor que en el plano. Además de lo anterior, las zonas tradicionalmente aptas para el cultivo del palto presentan cada vez menos superficie disponible para el establecimiento de huertos frutales. Debido a este cambio en las condiciones de establecimiento, y a las características limitantes de los suelos en pendiente, como por ejemplo una baja profundidad efectiva, características de textura franco arcillosas a arcillosas, errores en el diseño de riego y falta de control para el manejo de riego, se han presentado problemas asociados a excesos de humedad en la zona de las raíces, lo que provoca un decaimiento de sectores de la plantación, donde los árboles manifiestan síntomas de asfixia o hipoxia radical.

Aunque el potencial productivo de la variedad Hass alcanza las 30 ton/ha, es común observar sectores deprimidos asociados a una situación de asfixia radical, lo que podría explicar en parte que el rendimiento promedio de palto Hass bordeee tan sólo las 9 ton/ha.

Cabe destacar que el palto es considerado una especie altamente sensible al estrés hídrico, provocado por déficit o por exceso de agua. Los sectores deprimidos generalmente se ubican en las zonas terminales de las hileras de plantación en terrenos con pendiente, lo que coincide con una mayor descarga de emisores. Esta situación, junto con suelos de texturas finas, baja profundidad efectiva y baja infiltración, incrementa el problema, presentándose incluso en otros sectores de las plantaciones.

Algunos problemas generados por la asfixia radical en palto son crecimiento tardío de brotes de primavera, pérdida de hasta un 40% de frutos por árbol a la cosecha, disminución de la acumulación de biomasa, pérdida de follaje e incluso muerte del árbol (Foto n° 8).

Cuando el problema se presenta durante estados críticos del desarrollo de la fruta en palto, es posible que se generen desórdenes reproductivos como aborto de órganos (flores, frutos recién cuajados, frutos en desarrollo), anillado de pedúnculo, elongación de fruto y reducción de la vida de postcosecha. (Whiley and Schaffer, 1994, Whiley *et al.*, 1996, Zamet, 1997, Schaffer, 1998, Hofman *et al.* 2002).

Cabe destacar que en presencia de *Phytophthora cinamommi* los problemas anteriormente nombrados se ven aumentados en precocidad y severidad. (Ploetz y Schaffer, 1987, 1992, Schaffer y Ploetz, 1989).

Figura 81: Algunos problemas asociados a estrés por asfixia en palto cv. Hass.



Enfrentar el problema del estrés por asfixia radical en palto no es un tema fácil e implica muchas veces tomar decisiones como por ejemplo rebajar huertos completos, hacer cambios en el sistema de riego y principalmente en el manejo de éste. Es importante tomar en cuenta los factores que provocan el desarrollo de este problema, con el fin de tomar una decisión correcta.

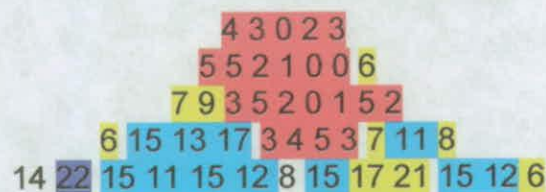
MANEJO DEL SUELO EN SUELOS CON PROBLEMAS DE AIREACIÓN.

En los últimos años se ha generado una conciencia de que existen muy pocos suelos con condiciones físicas adecuados al crecimiento del palto, de allí que se halla generalizado la técnica de plantación en camellones. El camellón permite independizarse de algunas propiedades negativas del suelo original, a la vez que otorga mayor seguridad para el drenaje del agua. Sin embargo, es frecuente observar problemas de "decaimiento", a veces con resultado de muerte de los árboles, aún en camellones. El decaimiento consiste en que árboles hasta ese momento creciendo y produciendo en forma normal comienzan a mostrar síntomas leves de amarillamiento del follaje, hojas abarquilladas, caída anormal de hojas y fruto, y crecimiento de brotes muy disminuido o nulo. En grados más avanzados aparecen síntomas necróticos en los márgenes y ápices foliares. El resultado es una pérdida paulatina del vigor y productividad de los árboles.

Las diferencias, claramente visibles en la parte aérea, también aparecen claramente al efectuar comparaciones de las características del perfil y la concentración de raíces asociados a árboles afectados y aparentemente sanos.

Figura 82: Densidad de raíces de paltos "decaídos" y sanos.

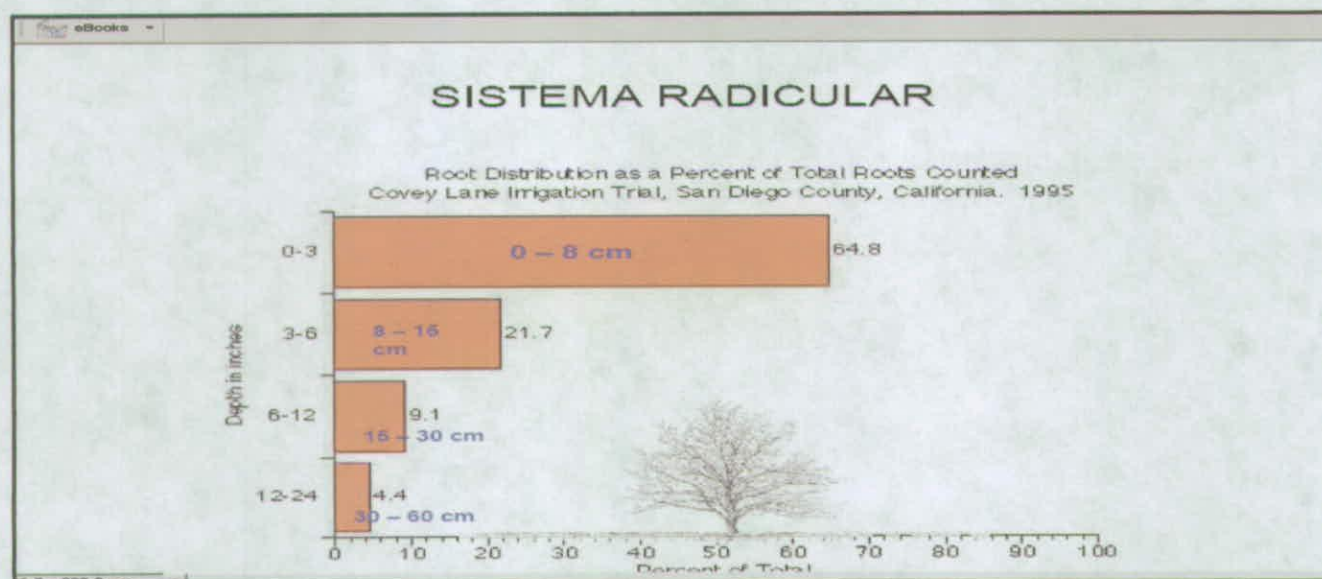
Paltos "decaídos"



Paltos normales.

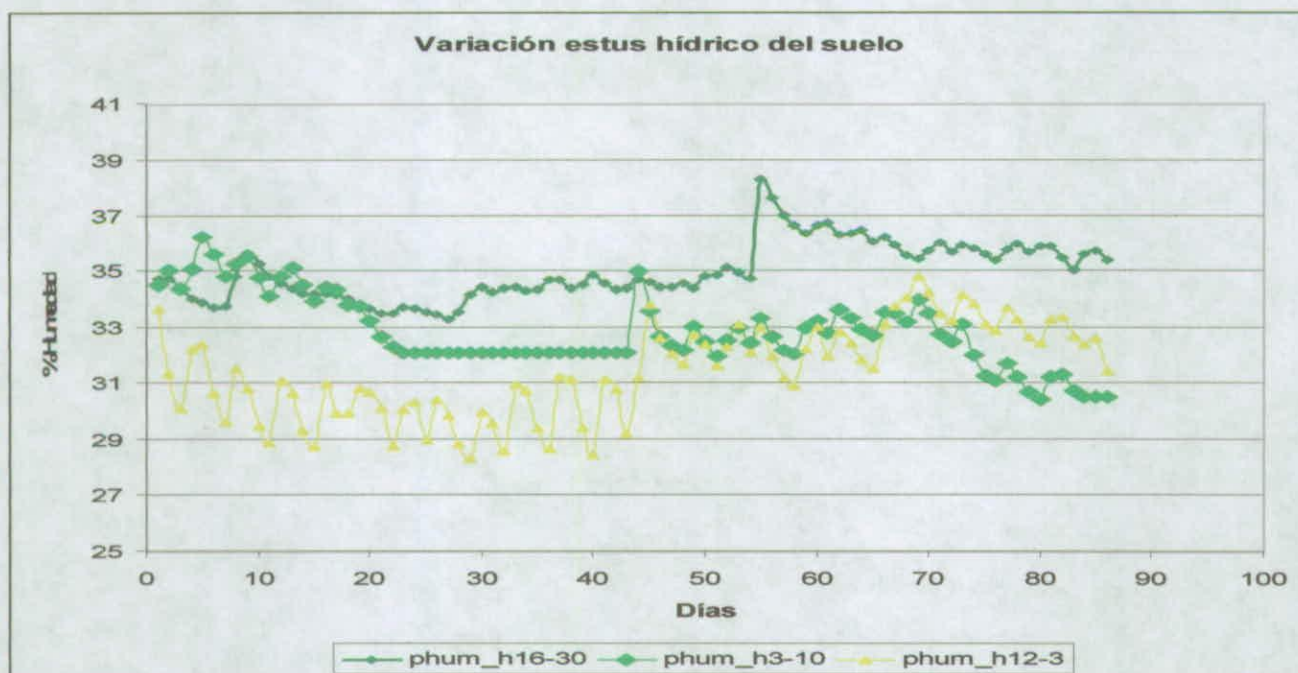


Figura 83. Distribución de absorción de agua de un sistema radicular de palto.



En el primer caso (paltos decaídos) la escasez de raíces aparece asociada a la textura del suelo hasta los 60-80 cm ; franco arcillosa a arcillosa. La estructura de la misma se presenta masiva que rompe a bloques angulares. Estas características producen problemas al crecimiento radicular del palto ya que condicionan baja macroporosidad (valor determinado por método del cilindro=13,2%) a la vez que el manejo del riego conduce a excesos de agua y asfixia radicular. De hecho pudieron observarse gran cantidad de raíces muertas. En profundidad las propiedades cambian; la textura cambia a franca (con abundante gravilla granítica) y la estructura es de bloques subangulares, mejorando el enraizamiento, con una macroporosidad de 26%. Sin embargo, esta mejoría de condiciones en el subsuelo profundo no es suficiente para sustentar el árbol. En contraste paltos sanos creciendo en un sector adyacente indican un camellón totalmente diferente, con adecuado enraizamiento en todo el perfil, texturas moderadamente gruesas; franco arenosas a francas con abundante gravilla granítica. Los valores de macroporosidad indicaron niveles superiores al 25% en todo el perfil. El análisis de varios casos puntuales como el indicado nos da la certeza de que siempre que existen problemas de decaimiento existe un problema de raíces asociado a las propiedades físicas del suelo y/o a condiciones de riego que conducen a asfixia radicular.

Lo realizado en las distintas temporadas en el monitoreo hídrico de suelo, De la Figura 12, se puede apreciar que existe una tendencia clara entre las diferentes zonas de vigor y su condición hídrica temporal. La zona de alto vigor posee consistentemente mayor humedad que las de medio y bajo. Por otra parte, la de vigor medio inicio la temporada con mayor humedad y siguió así hasta mediados de temporada (la zona plana del grafico, es por falta de información pero la tendencia es a se mayor que el vigor bajo), posteriormente se equiparan las lecturas hasta el final, solo con pequeñas diferencias hacia el final. Se asignan estas diferencias a cambios texturales del suelo ya que este huerto posee riego por microaspersión siendo este parejo en el área. Esta puede se una gran explicación a las diferencias en desarrollo vegetativo y reproductivo que se verán mas adelante.



Debido a lo anterior el ensayo de la aplicaron del producto Alcaplan y Salwax-Cal de la empresa ALIAGRO; cuya función es de floculación del suelo para evitar problemas de compactación y así evitar problemas fungosos, se aplico durante los meses de Enero 2007- Septiembre 2007, el cual se aplicaron dosis de 250 grs por planta de Alcaplan y 10 cc de Salwax-Cal. Por otra parte se analizo diferencias de carga de agua, aumentando el caudal del aspersor de 35 lts/hra a 45 lts/hora. El objetivo de este ensayo es encontrar si a través del producto aplicado al suelo encontrar repuesta de las plantas tanto en rendimiento y calidad de frutos, en el caso del riego compararlo con el testigo y la aplicación de los productos, ya que se puede ser un problema de baja de carga de agua en las zonas de menor vigor por la estructura de estos.

Metodología de Evaluación:

Tabla 33: Ensayo Surfactante y Riego diferenciado.

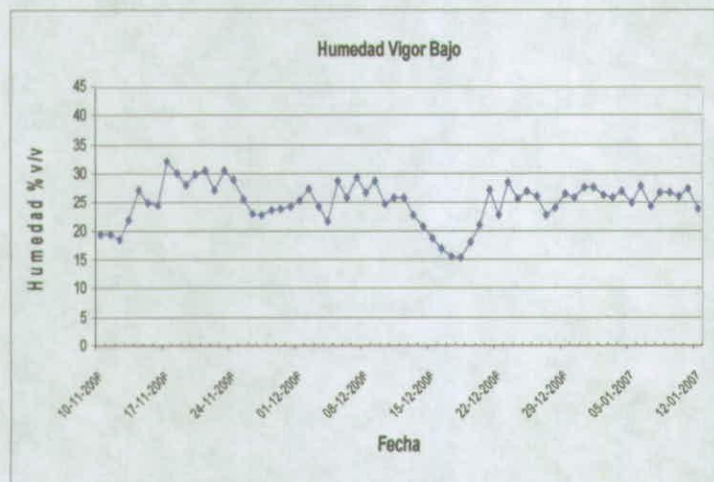
	Testigo	Aspersor de Riego 45 lts/hra	Alcaolan 250Grs/ planta + Salwax-Cal 10 (cc/planta)
Nº Plantas Vigor Bajo	4	4	4
Nº Plantas Vigor medio	4	4	4
Nº Plantas Vigor Alto	4	4	4

V.1 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN PALTOS HASS TEMPORADA 2006-2007

a) Análisis de humedad de suelo.

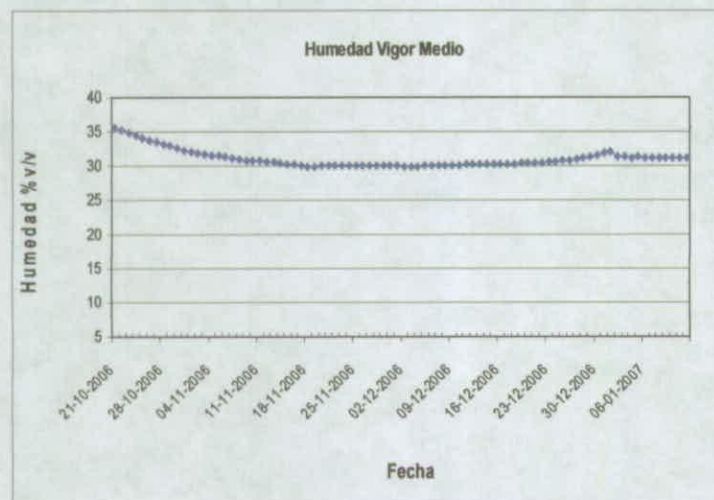
En este capítulo se muestra el movimiento del agua de riego en todo el perfil del suelo (30cm) en las distintas zonas de vigor.

1. Figura 84: Humedad de suelo Paltos Hass, Vigor Bajo.



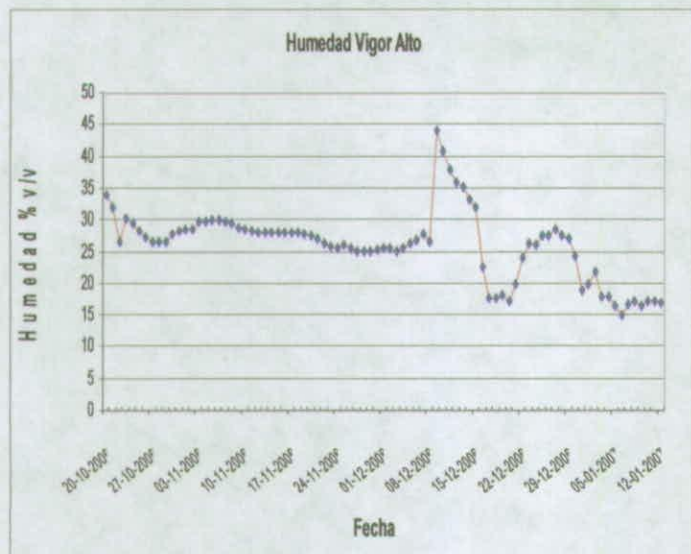
El movimiento del agua en este vigor es en general regular, aunque se denota los bruscos descensos de humedad en el perfil, esto es debido a que es un suelo tipo franco arenos y franco limoso.

2. Figura 85: Humedad de suelo Paltos Hass, Vigor Medio.



En este vigor la humedad de suelo es mas constante, por lo que la retención del agua es mayor en toda su perfil.

3. Figura 86: Humedad de suelo Paltos Hass, Vigor Alto.



En las graficas se pueden observar que Bajo y Medio, mantienen una humedad medianamente constante, en cambio la zona de vigor alto presenta fluctuaciones de humedad muy notorias, esto es debido a que presenta compactaciones en su superficie, por lo que la humedad no es capaz de infiltrar en todo el perfil del suelo. Todo esto es corroborado por análisis en calicatas.

Figura 86: Perfil de suelo Vigor alto.



Las primeras estratas del suelo se mantienen húmedas (20cm), en cambio hacia el interior esta relativamente compacta, esto hace que la humedad no penetre en el camellon y escurra hacia el camino. Las otras zonas de vigor no presentan este tipo de situaciones.

b) Resultados del ensayo de mejoramiento de la estructura de suelo.

Como se señalo en la metodología, la aplicación del producto: Alcaplan + Salwax-Cal mas el cambio de carga de 35 lts/hr a 45 lts/hr. Se señalan a continuación:

Tabla 34: Grado de compactación de suelo en la superficie (mm)

VIGOR	ALCAPLAN + SALWAX-CAL	CARGA AGUA 45LtsS/Hr	TESTIGO
ALTO	13 a*	14 a	14 a
MEDIO	14 a	16 a	17 b
BAJO	11 a	14 a	12 a

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

Estadísticamente no existen diferencias significativas entre el testigo y los demás ensayos, pero existe una cierta tendencia a disminuir la compactación del suelo.

Tabla 35: Grado de compactación de suelo a 1 mt de profundidad.

VIGOR	ALCAPLAN + SALWAX-CAL	CARGA AGUA 45LtsS/Hr	TESTIGO
ALTO	22 a*	23 a	23 a
MEDIO	21 a	25 b	27 b
BAJO	21 a	20 a	24 a

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

Estadísticamente no existen diferencias significativas entre el testigo y los demás ensayos, pero existe una cierta tendencia a disminuir la compactación del suelo.

Tabla 36: Tolerancia de compactación:

Nivel	Penetrómetro (mm)
Muy suelto	≤ 10 mm
Suelto	11 – 18 mm
Medio	19 - 24
Compacto	25 – 28 mm
Muy Compacto	≥ 29 mm

Según la tabla de de tolerancias, indica que la superficie del suelo en todas las zonas de vigor, están dentro de la categoría de nivel suelto, lo que en cierta forma nos indica que la infiltración del agua de riego es buena. En cambio al analizar el grado de compactación en profundidad, éste nos indica que los niveles están dentro del Medio y Compacto sin la aplicación del surfactante. Todo esto nos indica que el producto aplicado tuvo una gran impacto en mejorar la estructura, y por ende el movimiento y filtración del agua en el perfil del suelo.

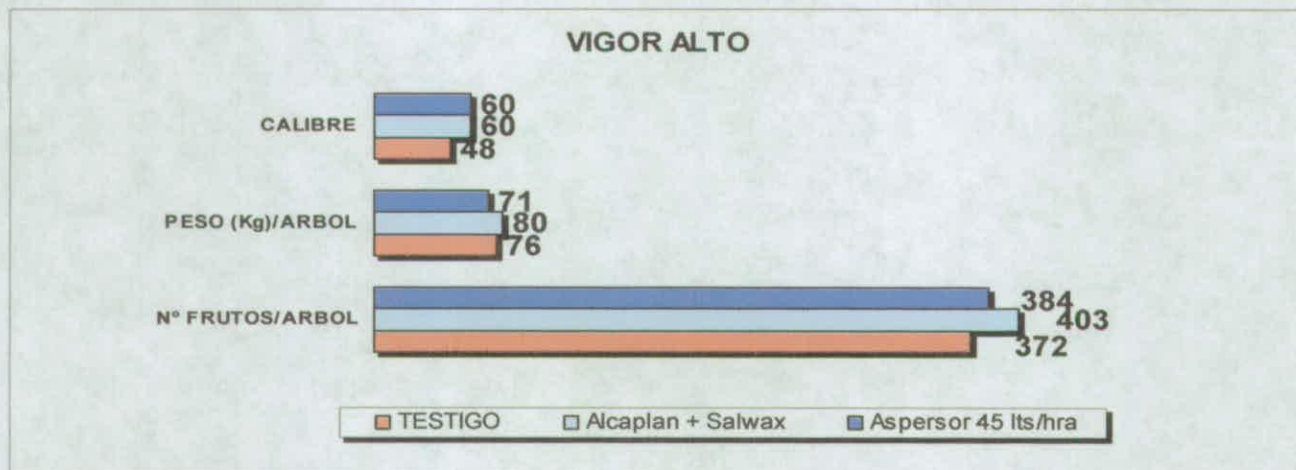
c) Resultados de Rendimiento y Calidad de frutos por zona de vigor.

Durante esta temporada, se consideraron en total 36 plantas para su análisis, la metodología se explico anteriormente, en la cual su objetivo es ver el efecto del Surfactante y la diferencia de carga de agua de agua en el suelo, como a su vez en el rendimiento y calidad de frutos.

• Relación Calidad y Rendimiento de Frutos: Zona de Vigor Alto

Los resultados de la evaluación, nos indica que para el objetivo planteado para este ensayo, se cumple, aunque no se encontraron diferencias estadísticas importantes. Pero como se dijo anteriormente, hubo un efecto en la mejora de las condiciones del suelo, esto permitió a que la planta no entrara en estrés justo en los periodos de cuaja y etapa de raleaos naturales que tiene el cultivar, por lo cual el rendimiento y calidad de frutos aumento.

Desde el punto de vista del número de frutos la aplicación del Surfactante permitió aumentarlo significativamente en comparación al testigo y carga de agua. En el capitulo anterior se mencionó la zona de vigor presentaba problemas de compactación y esto provocaba escurrimiento superficial del agua de riego, pues la aplicación de este producto no solo permitió mejorar la condición de suelo, sino que también permitir a las raíces de las plantas mejorar aireación y evitar a su vez anegamiento de agua y falta de oxigeno.



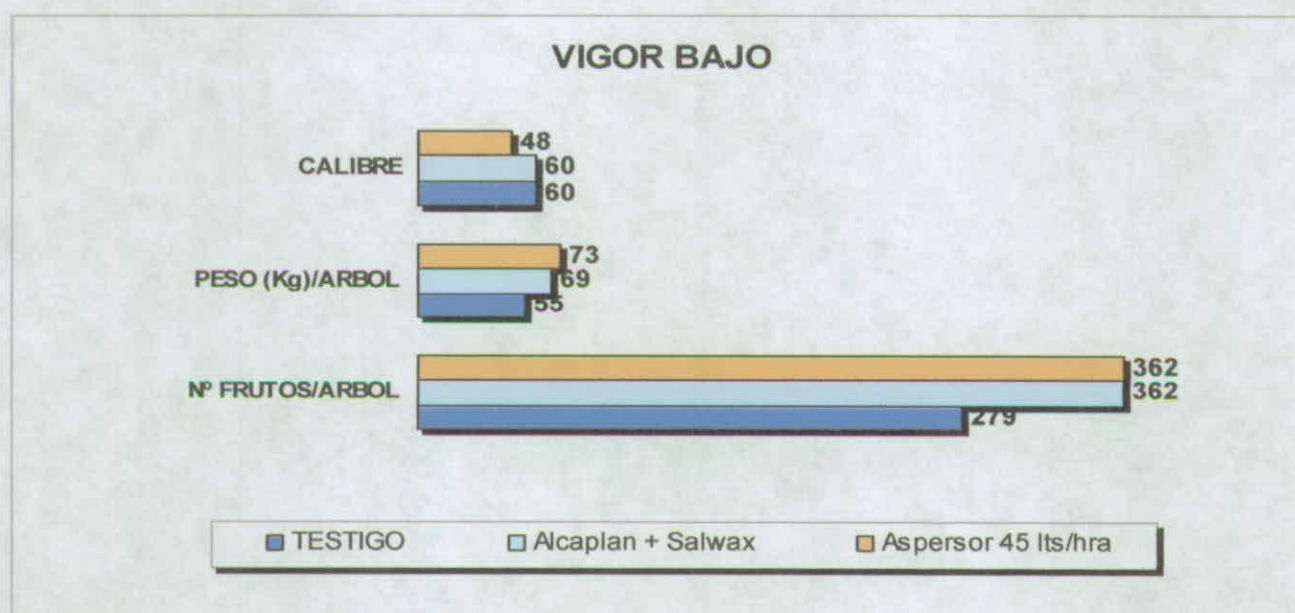
	N° FRUTOS/ARBOL	PESO (Kg)/ARBOL	CALIBRE
TESTIGO	372 a	76 a	48 a
Alcaplan + Salwax	403 b	80 a	60 b
Aspersor 45 lts/hra	384 a	71 a	60 b

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

- **Relación Calidad y Rendimiento de Frutos: Zona de Vigor Bajo.**

En el informe anterior se informo que el vigor bajo presentaba un suelo tipo aluvial con textura franco arenoso, por lo que el bajo vigor se debía a esta condición. Esta condición provoca una retención de humedad mas baja a otro tipo de suelo. Debido a ello el ensayo realizado tubo pensado en aumentar el vigor, así su rendimiento.

En el capitulo de mejoramiento de la estructura se compararon la aplicación del Surfactante mas la diferencia de carga de agua con el testigo. La aplicación de Surfactante tuvo un buen efecto de mejorar la condición de suelo, sumado a lo anterior el aumento de la carga de agua en este vigor tubo un efecto positivo en el rendimiento y calidad de frutos.



	N° FRUTOS/ARBOL	PESO (Kg)/ARBOL	CALIBRE
TESTIGO	279 a	55 a	60 a
Alcaplan + Salwax	362 b	69 a	60 a
Aspersor 45 lts/hra	362 b	73 a	48 b

Visto el análisis estadístico, este nos indica que al aumentar la carga de agua bajo esta condición, es favorable para obtener buenos rendimientos y calidad de fruto. El riego en todos los casos evaluados permite aumentar, rendimiento sin disminuir la calidad de frutos.

V.4. DESARROLLO PROTOTIPO DE EQUIPO DE MEDICIÓN DE VOLUMEN DE CANOPIA

Todo el hardware de este módulo, como los diversos sensores y cámara digital, trabajará sobre una estructura mecatrónica adosada al chasis de una moto todoterreno de cuatro ruedas. La moto circulará por entre las hileras capturando automáticamente la información y almacenándola a un PC. Para lograr aquello se deberá diseñar e implementar un software, que cargado en el PC dirija tanto la etapa de adquisición de datos en terreno como la siguiente etapa de procesamiento de los datos para generar los resultados. En este módulo los resultados deberán informar acerca del volumen de canopia y la contabilización de frutos por planta.

La Figura 88 muestra el hardware que integra este modulo. La totalidad del hardware presente tiene participación indispensable dentro del algoritmo para estimación de volumen de canopia. Por el contrario, en el caso de la contabilización de drupas sólo basta la imagen capturada con la cámara para a través de un complejo algoritmo de procesamiento de imágenes realizar el conteo de drupas.

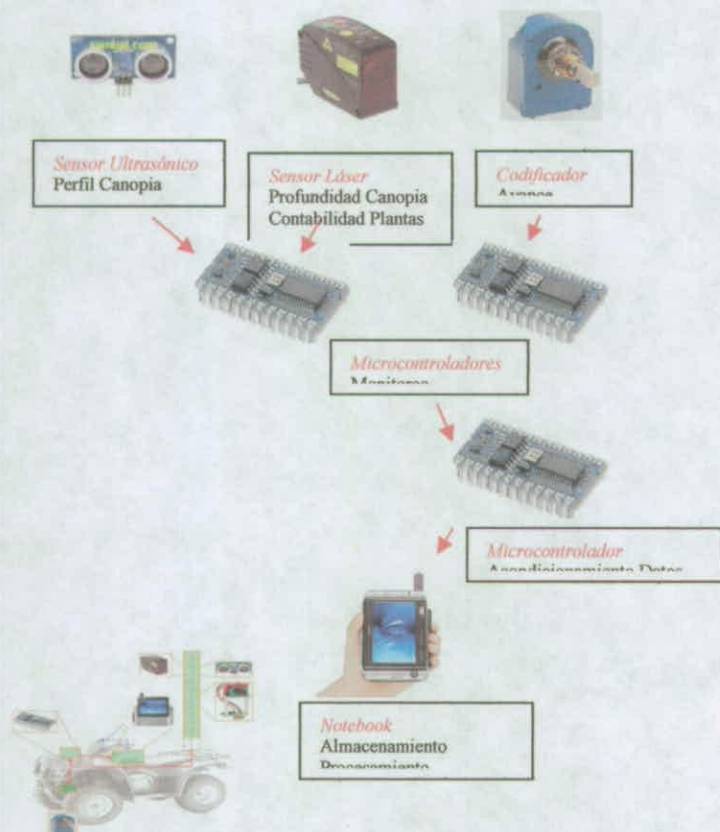


Figura 88. Representación del Hardware que integra el módulo para estimación de Volumen de Canopia y Rendimiento Productivo.



V.6 Evaluación Económica de la Investigación en Manzanos del Programa de Agricultura de Precisión Progap del INIA

I.- Introducción

El presente estudio, contiene la Evaluación Económica de la Investigación en Manzanos del Programa de Agricultura de Precisión – PROGAP del INIA.

El documento está estructurado en nueve secciones, la primera es la introducción, en la segunda se describe el ensayo, en la tercera se describe la metodología empleada en la realización de este estudio, en la cuarta se muestra la situación productiva base Sin utilizar Agricultura de Precisión (AP), en la quinta sección se presenta la situación productiva utilizando Agricultura de Precisión (AP), en la sexta sección se realiza una comparación de los indicadores productivos Sin AP vs. Con AP, en la séptima sección se presentan los costos utilizados en ambos casos, en la octava sección se presenta la evaluación económica en si, y finalmente en la ultima sección se presentan las conclusiones.

Cabe destacar que este estudio se centra en la situación económico - productiva del huerto, sin considerar los costos del posterior proceso de packing y exportación.

II.- Descripción del Ensayo

Este estudio se basó en la investigación realizada en el marco del Proyecto "FIA Frutales", el cual se desarrolló en el Fundo San Manuel, propiedad de la Sociedad Agrícola San Manuel Ltda., ubicado en el camino a los Niches Km. 15, Provincia de Curicó, VII Región de Chile, Coordenadas S35° 1,5' W70° 57,2. Se trabajó con los datos del cuartel 4 Norte, con una superficie de 10,43 Ha.

La especie a analizar es El Manzano, de especie Royal Gala, cultivada en un patrón MM106, conducidos en solaxe, con distancia de plantación 4,5 x 2,3 mts. La cantidad de Plantas por Ha es de 969 unidades. La plantación fue realizada en al año 1997.

El objetivo de la Plantación es eminentemente exportador.

III.- Metodología Empleada

La Metodología empleada en la realización de este estudio, consiste en una comparación de la situación económico - productiva en el huerto Sin Aplicación de Agricultura de Precisión versus la situación Con la Aplicación de Agricultura de Precisión.

Para ello se tomaron los resultados obtenidos de terreno, donde se informa de los indicadores de cosecha para tres tipos de vigores (alto, medio y bajo), definidos a través de técnicas de Agricultura de Precisión. Dentro de estos indicadores de cosecha, se informa del número de frutos según calibres; A través de tablas de correlación entre calibre y peso por fruto, se obtuvo el peso en Kg. para cada tipo de vigor. Con esos datos se obtuvo el rendimiento por árbol, el cual es extrapolado a rendimiento por hectárea, en función del número de plantas por Ha.

Para el análisis económico en sí, se obtuvieron los costos de producción en huerto, tomando la situación Sin AP, como base del estudio. Luego se presentan los costos incrementales y los ahorros que implica la implementación de la AP en el huerto. Para la obtención de los indicadores económicos, se consideran los costos (Directos e Indirectos), la Producción, el Precio Promedio (en base a Color Extra Fancy A - 40 a 60 %), los Ingresos y el Margen.

IV.- Situación Productiva Base, Sin AP

En esta sección se presentan los indicadores productivos de la situación base, ello es Sin la Aplicación de Agricultura de Precisión.

En el Cuadro N° 1 sobre la situación Sin AP, se presenta el N° de Frutos y el Peso (Kgs.) obtenido en el ensayo según tipo de vigor, ordenados por rangos de calibres. En el Cuadro N° 2 se presentan los rendimientos obtenidos según el tipo de vigor.

Cuadro N° 1: Ensayo - Situación Sin AP.

Calibre		N° de Frutos			Total	%	Peso Obtenido Kgs	% en Peso
C. Menor	C. Mayor	Vigor Bajo	Vigor Medio	Vigor Alto				
64	80	16	10	1	27	0,97	7,54	1,71
88	110	153	196	54	403	14,44	80,99	18,32
113	135	343	555	420	1318	47,22	217,29	49,14
138	163	125	229	499	853	30,56	116,52	26,35
175	198	22	16	100	138	4,94	15,16	3,43
FR	FR	7	3	42	52	1,86	4,67	1,06
Total		666	1009	1116	2791	100,00	442,17	100,00

Cuadro N° 2: Rendimientos Sin AP.

Tipo de Vigor	Rendimiento (Kgs.)	
	Por Árbol	Por Ha.
Bajo	18,81	18.225,60
Medio	27,88	27.018,00
Alto	27,00	26.166,55
Medio Sin AP	24,56	23.803,43

V.- Situación Productiva, Con AP

En esta sección se presentan los indicadores productivos de la situación con aplicación de las recomendaciones de la investigación, ello es Con la Aplicación de Agricultura de Precisión.

En el Cuadro N° 3 sobre la situación Con AP, se presenta el N° de Frutos y el Peso (Kgs.) obtenido en el ensayo según tipo de vigor, ordenados por rangos de calibres. En el Cuadro N° 4 se presentan los rendimientos obtenidos según el tipo de vigor.

Cuadro N° 3: Ensayo - Situación Con AP.

Calibre		N° de Frutos			Total	%	Peso Obtenido	% en Peso
C. Menor	C. Mayor	Vigor Bajo	Vigor Medio	Vigor Alto			Kgs	
64	80	0	0	1	1	0,02	0,27	0,04
88	110	42	42	78	162	2,81	32,35	4,17
113	135	358	590	502	1450	25,12	235,13	30,28
138	163	491	1126	1025	2642	45,76	357,39	46,02
175	198	139	381	395	915	15,85	99,59	12,82
FR	FR	72	178	353	603	10,45	51,90	6,68
Total		1102	2317	2354	5773	100	776,63	100,00

Cuadro N° 4: Rendimientos Con AP.

Tipo de Vigor	Rendimiento (Kgs.)	
	Por Árbol	Por Ha.
Bajo	25,77	24.966,53
Medio	52,12	50.506,86
Alto	51,55	49.952,35
Medio Sin AP	43,15	41.808,58

VI.- Comparación de Indicadores Productivos

En esta sección se presentan una comparación de los indicadores productivos entre la situación Sin la Aplicación de AP versus la situación Con la Aplicación de AP. Primero se presenta la comparación de los indicadores promedio, posteriormente se presenta la situación comparativa según tipo de vigor.

VI.1.- Comparación de Indicadores Medios.

Como se aprecia en el Cuadro N° 5, la diferencia en el N° de Frutos obtenidos Con la AP, es de un **106,84 % mayor** que la situación Sin AP.

Cuadro N° 5: Comparación del N° de Frutos.

Calibre		N° de Frutos		Diferencia en Frutos	
C. Menor	C. Mayor	Sin AP	Con AP	en N°	en %
64	80	27	1	-26	-96,30
88	110	403	162	-241	-59,80
113	135	1.318	1.450	132	10,02
138	163	853	2.642	1.789	209,73
175	198	138	915	777	563,04
FR	FR	52	603	551	1059,62
Total		2.791	5.773	2.982	106,84

Como se Aprecia en el Cuadro N° 6, la diferencia en Peso (Kgs) obtenido Con AP, es de un **75,64% mayor** que la situación Sin AP.

Cuadro N° 6: Comparación del Peso.

Calibre		Peso Kg.		Diferencia de Peso	
C. Menor	C. Mayor	Sin AP	Con AP	en Kg	en %
64	80	7,54	0,27	-7,27	-96,38
88	110	80,99	32,35	-48,64	-60,05
113	135	217,29	235,13	17,84	8,21
138	163	116,52	357,39	240,87	206,72
175	198	15,16	99,59	84,43	556,94
FR	FR	4,67	51,90	47,23	1.011,35
Total		442,17	776,63	334,46	75,64

En el Cuadro N° 7, se presenta la variación del porcentaje en peso, en cada rango de calibres.

Cuadro N° 7: Variación de Calibres.

Calibre		Distribución del % en Peso	
C. Menor	C. Mayor	Sin AP	Con AP
64	80	1,71	0,04
88	110	18,32	4,17
113	135	49,14	30,28
138	163	26,35	46,02
175	198	3,43	12,82
FR	FR	1,06	6,68

VI.2.- Comparación de Indicadores por Vigor:

Cuadro N° 8: Comparación de Rendimientos por Árbol.

Rendimiento por Árbol:		Sin AP	Con AP	Diferencia (Kg/Árbol)	%
Rendimiento Medio		24,56	43,15	18,58	75,64
Vigor	Bajo	18,81	25,77	6,96	36,99
Vigor	Medio	27,88	52,12	24,24	86,94
Vigor	Alto	27,00	51,55	24,55	90,90

Cuadro N° 9: Comparación de Rendimientos por Ha.

Rendimiento por Ha		Sin AP	Con AP	Diferencia (Kg/Ha)	%
Rendimiento Medio		23.803,43	41.808,58	18.005,15	75,64
Vigor	Bajo	18.225,60	24.966,53	6.740,93	36,99
Vigor	Medio	27.018,14	50.506,86	23.488,72	86,94
Vigor	Alto	26.166,55	49.952,35	23.785,80	90,90

Cuadro N° 10: Comparación de N° de Frutos.

		Vigor Bajo				Vigor Medio				Vigor Alto			
Calibre		N° de Frutos		Diferencia		N° de Frutos		Diferencia		N° de Frutos		Diferencia	
C. Menor	C. Mayor	Sin AP	Con AP	en N°	en %	Sin AP	Con AP	en N°	en %	Sin AP	Con AP	en N°	en %
64	80	16	0	-16	-100,00	10	0	-10	-100,00	1	1	0	0,00
88	110	153	42	-111	-72,55	196	42	-154	-78,57	54	78	24	44,44
113	135	343	358	15	4,37	555	590	35	6,31	420	502	82	19,52
138	163	125	491	366	292,80	229	1.126	897	391,70	499	1.025	526	105,41
175	198	22	139	117	531,82	16	381	365	2281,25	100	395	295	295,00
FR	FR	7	72	65	928,57	3	178	175	5833,33	42	353	311	740,48
Total		666	1.102	436	65,47	1.009	2.317	1.308	129,63	1.116	2.354	1.238	110,93

Cuadro N° 11: Comparación en Peso.

		Vigor Bajo				Vigor Medio				Vigor Alto			
Calibre		Peso Kg.		Diferencia		Peso Kg.		Diferencia		Peso Kg.		Diferencia	
C. Menor	C. Mayor	Sin AP	Con AP	en Kg	en %	Sin AP	Con AP	en Kg	en %	Sin AP	Con AP	en Kg	en %
64	80	4,47	0,00	-4,47	-100,00	2,80	0,00	-2,80	-100,00	0,27	0,27	0,00	0,00
88	110	30,81	8,33	-22,48	-72,96	39,34	8,31	-31,03	-78,88	10,83	15,71	4,88	45,03
113	135	57,23	58,06	0,83	1,45	91,60	95,60	4,00	4,37	68,45	81,46	13,01	19,00
138	163	17,24	66,87	49,63	287,97	31,55	151,70	120,15	380,78	67,73	138,83	71,09	104,96
175	198	2,45	15,11	12,66	516,55	1,73	41,73	40,00	2.310,77	10,98	42,75	31,77	289,41
FR	FR	0,65	6,23	5,58	857,69	0,27	15,40	15,13	5.601,85	3,75	30,28	26,53	707,47
Total		112,85	154,59	41,74	36,99	167,30	312,74	145,44	86,94	162,02	309,30	147,28	90,90

VII.- Costos

VII.1.- Costos Situación Base:

En esta sección se presentan los Costos Productivos de la situación base, ello es Sin la Aplicación de Agricultura de Precisión. Se consideraron los costos reales para el Fundo San Manuel, en su Cuartel 4 Norte, el cual consiste de 10,43 Has. Para los costos indirectos, se estimo en un 30% de los costos directos, ello validado de otras empresas productivas del mismo rubro.

Cuadro N° 12: Costos de Producción Situación Base (Sin AP).

Nº	ITEM	COSTO
1	INSUMOS	5.233.109
2	PODA Y RELACIONADOS	1.290.384
3	RALEO Y RELACIONADOS	2.344.420
4	COSECHA Y RELACIONADOS	6.025.250
5	APLICACIONES	280.000
6	RIEGO	929.760
7	Otras Labores	76.400
	TOTAL	16.179.323
	Costos de Producción por Ha.	1.555.704
	Costos Indirectos (30%)	466.711
	Costos Totales por Ha.	2.022.415

VII.2.- Costos de Implementación de la AP:

En esta sección se presentan los Costos Directos que se debe asumir para la implementación de la Agricultura de Presición. El cuadro 13 presenta los costos incrementales para un huerto de 10 Has. En el Cuadro 14, se presentan los ahorros que se producen por la implementación de la AP.

Cuadro N° 13: Aumento de Costos por la Implementación de la AP.

Ítem	Detalle	Costo por Temporada
1	Compra de Bomba Scholander (\$600.000 Depreciada en 5 años)	120.000
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	Mano de Obra en Cosecha (75,76 % más en Kgs.)	1.954.040
	Total Costos Incrementales	3.637.500
	Total Costos Incrementales por ha.	363.750

Cuadro N° 14: Ahorro de Costos por la Implementación de la AP.

Ítem	Detalle	Ahorro por Temporada
1	40% menos de riego, en la temporada	
1.1.-	Electricidad (422 hrs. menos a \$485 la hr.)	204.670
1.2.-	HH Riego (150 hrs. menos a \$1.120 la hr.)	168.000
2	20% menos de Mano de Obra en Raleo	431.684
Total Ahorros		804.354
Total Ahorros por ha.		80.435

Finalmente las diferencias al implementar la AP son las siguientes:

Diferencia de Costos Incrementales – Ahorros = 2.833.146

Diferencia por Ha. = 283.315

VIII.- Evaluación Económica

En esta sección se presenta la Evaluación Económica comparativa de la implementación de la AP. Los cuadros 15, 16 y 17 presentan la evaluación económica según tipo de vigor, tomando un caso hipotético de una hectárea completa por tipo de vigor. El Cuadro 18 presenta la situación promedio, que se presentó en el cuartel estudiado. Finalmente, en el Cuadro 19 se realiza una comparación de los diferentes tipos de vigor y el promedio, tanto en la situación sin AP versus la situación con aplicación de la AP.

Cuadro N° 15: Evaluación Económica – Vigor Bajo

Situación Sin AP			Situación Con AP			Diferencia		
						en \$/Ha	en %	
Costos Directos	1.555.704	\$/ha	Costos Directos	1.839.019	\$/ha	Costos Directos	283.315	18,2
Costos Indirectos	466.711	\$/ha	Costos Indirectos	466.711	\$/ha	Costos Indirectos	0	0,0
Costos Totales	2.022.415	\$/ha	Costos Totales	2.305.730	\$/ha	Costos Totales	283.315	14,0
Producción	18.226	Kg/ha	Producción	24.967	Kg/ha	Producción	6.741	37,0
Precio Promedio	125	\$/kg	Precio Promedio	88	\$/kg	Precio Promedio	-37	-29,6
Ingresos	2.278.729	\$/Ha	Ingresos	2.197.490	\$/Ha	Ingresos	-81.239	-3,6
Margen Neto	256.313	\$/Ha	Margen Neto	-108.240	\$/Ha	Margen	-364.553	-142,2

Cuadro N° 16: Evaluación Económica – Vigor Medio

Situación Sin AP			Situación Con AP			Diferencia		
						en \$/Ha	en %	
Costos Directos	1.555.704	\$/ha	Costos Directos	1.839.019	\$/ha	Costos Directos	283.315	18,2
Costos Indirectos	466.711	\$/ha	Costos Indirectos	466.711	\$/ha	Costos Indirectos	0	0,0
Costos Totales	2.022.415	\$/ha	Costos Totales	2.305.730	\$/ha	Costos Totales	283.315	14,0
Producción	27.018	Kg/ha	Producción	50.507	Kg/ha	Producción	23.489	86,9
Precio Promedio	119	\$/kg	Precio Promedio	81	\$/kg	Precio Promedio	-38	-32,1
Ingresos	3.222.165	\$/Ha	Ingresos	4.092.201	\$/Ha	Ingresos	870.036	27,0
Margen Neto	1.199.749	\$/Ha	Margen Neto	1.786.471	\$/Ha	Margen	586.721	48,9

Cuadro N° 17: Evaluación Económica – Vigor Alto.

Situación Sin AP			Situación Con AP			Diferencia		
						en \$/Ha	en %	
Costos Directos	1.555.704	\$/ha	Costos Directos	1.839.019	\$/ha	Costos Directos	283.315	18,2
Costos Indirectos	466.711	\$/ha	Costos Indirectos	466.711	\$/ha	Costos Indirectos	0	0,0
Costos Totales	2.022.415	\$/ha	Costos Totales	2.305.730	\$/ha	Costos Totales	283.315	14,0
Producción	26.167	Kg/ha	Producción	49.952	Kg/ha	Producción	23.786	90,9
Precio Promedio	93	\$/kg	Precio Promedio	79	\$/kg	Precio Promedio	-14	-15,4
Ingresos	2.435.945	\$/Ha	Ingresos	3.934.408	\$/Ha	Ingresos	1.498.463	61,5
Margen Neto	413.530	\$/Ha	Margen Neto	1.628.678	\$/Ha	Margen	1.215.148	293,8

Cuadro N° 18: Evaluación Económica – Situación Promedio.

Situación Sin AP			Situación Con AP			Diferencia		
						en \$/Ha	en %	
Costos Directos	1.555.704	\$/ha	Costos Directos	1.839.019	\$/ha	Costos Directos	283.315	18,2
Costos Indirectos	466.711	\$/ha	Costos Indirectos	466.711	\$/ha	Costos Indirectos	0	0,0
Costos Totales	2.022.415	\$/ha	Costos Totales	2.305.730	\$/ha	Costos Totales	283.315	14,0
Producción	23.803	Kg/ha	Producción	41.809	Kg/ha	Producción	18.005	75,6
Precio Promedio	111	\$/kg	Precio Promedio	82	\$/kg	Precio Promedio	-30	-26,7
Ingresos	2.645.613	\$/Ha	Ingresos	3.408.033	\$/Ha	Ingresos	762.420	28,8
Margen Neto	623.198	\$/Ha	Margen Neto	1.102.303	\$/Ha	Margen	479.106	76,9

Cuadro N° 19: Comparación Económica Global.

Tipo de Vigor	Producción (Kg/Ha)		Precio (\$/Kg)		Ingresos (\$/Ha)		Margen Neto (\$/Ha)	
	Sin AP	Con AP	Sin AP	Con AP	Sin AP	Con AP	Sin AP	Con AP
Vigor Bajo	18.226	24.967	125	88	2.278.729	2.197.490	256.313	-108.240
Vigor Medio	27.018	50.507	119	81	3.222.165	4.092.201	1.199.749	1.786.471
Vigor Alto	26.167	49.952	93	79	2.435.945	3.934.408	413.530	1.628.678
Situación Promedio	23.803	41.809	111	82	2.645.613	3.408.033	623.198	1.102.303

IX.- Conclusiones

Del estudio económico realizado, se puede concluir que al aplicar Agricultura de Precisión, existen diferencias significativas en el aumento de ingresos y su correspondientes margen de utilidad, a saber: Los ingresos pasan de \$ 2,6 MM a \$ 3,4 MM por Ha, lo que implica que los márgenes pasan de \$0,62 MM a \$ 1,1 MM.

Por lo tanto se puede concluir que el aplicar agricultura de precisión, al caso de las manzanas, se logran aumentos de rentabilidad de \$479.106 por Ha, lo que significa un 76,9% más de rentabilidad.

Es importante destacar que si bien, al aplicar AP, existe una disminución del precio promedio, ello es absorbido por el importante aumento de la producción. Implicando en las cifras globales el aumento de rentabilidad por hectárea mencionado anteriormente.

Respecto a la evaluación económica por tipo de vigor, se tiene que la mejor situación en cuanto a producción se da en el caso del Vigor Medio. En cuanto al aumento de margen de utilidad, se aprecia un muy importante aumento en el caso del Vigor Alto, aumentando en un 293,8%.

VI. COMPARACIÓN CON LO PREVISTO

A continuación, se presenta un análisis comparativo entre las metas obtenidas por actividad hasta la fecha y aquellas consignadas para iguales períodos en el Formulario de propuesta original del proyecto.

Análisis de metas alcanzadas en este proyecto.

Resultado	Indicador	Meta Final	Meta	Plazo	Logro al
			Parcial	Parcial	30/11/04
Integrar las bases de datos tabulares históricas a un Sistema de Información Geográfica (SIG).	Recuperación y normalización de la data histórica de los huertos a un formato referenciado a coordenadas.	Desarrollo del SIG del área de estudio	Captura información terreno	Dic 2003.	100 %
			Integración Información en Laboratorio	Feb 2004.	100 %
Determinar el momento más adecuado en la cual se debiera adquirir las imágenes multispectrales, con el fin de diferenciar calidades y rendimientos, en huertos de manzanos y duraznos.	Una imagen que permita diferenciar áreas de diferentes calidades y rendimiento.	Sectorizar fruta por grado de madures para cosecha	Delimitación de variabilidad veg.	Jun 2004.	100 %
			Fecha e Índice óptimo que manifieste la variabilidad de % Exportable.	May.2006.	100 %
			Validación de fecha e índice adecuado.	May.2006.	100 %
			Cosecha diferencial del huerto.	May 2007.	100 %
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 durazno, para agrupar los sectores de igual condición.	Derivar información a través de un índice que explique la variabilidad de clorofila, IAF, estatus hídrico de planta y suelo, que permitan generar un manejo variable de estas con el fin de mejorar al menos un 5 % el rendimiento exportable del área.	Inferir de los índices la variabilidad espacial de clorofila, IAF, estatus hídrico.	Obtener la: Variabilidad Suelos.	Jun. 2004.	100 %
			Explicar la: Variabilidad Clorofila.	May. 2005	100 %
			Explicar la: Variabilidad IAF (se requiere el desarrollo de equipo propuesto)	May. 2006.	100 %
			Explicar el efecto del riego en la variabilidad del huerto.	May.2006.	100 %
			Uso de los parámetros determinados para un manejo variable, que permitan mejorar al menos un 5 % el rendimiento exportable del área.	Jun. 2006.	100 %

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	Relación VF y Carga de frutos y hojas.	Aplicar un manejo diferenciado de las labores de raleos de fruto, poda, fertilización, riego.	Cálculo de alturas de árboles, volumen foliar.	Nov.2005.	100 %
			Ajuste de VF con carga de fruta exportable.	May..2007.	100 %
			Inferir el manejo del árbol por sectores homogéneo.	May. 2007.	100%
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	Reducción las dosis de agroquímicos, en función del volumen foliar.	Igual existencia de plaga que los lugares de aplicación de agroquímico tradicional.	Mapas de volumen foliar.	Nov.2007.	100%
			Calibración adecuada de la dosis / VF.	Nov-2007.	0%
			Aplicación variable de agroquímicos	Nov-2007.	0 %
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	Función útil del software, que permita manejar y actualizar la información de campo ágilmente.	Uso del software por los empresarios agrícolas.	Discusión diseño.	Abr. 2004	100 %
			Diseño aplicación	Sep.2004- Nov.2007	100 %
			Capacitación en el software (aplicaciones con prototipo)	Jun.2007	100 %
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	Material impreso acorde a los resultados obtenidos y mostrar los resultados de campo.	Hacer efectiva la transferencia de conocimiento para el manejo diferencial del huerto.	Seminario	Oct. 2005	100 %
			Día de campo.	Ago. 2006 Ago. 2007	100% 0%
			Paper t tesis 3	Jul. 2006. Jul. 2007.	100%
			Página web	Jul. 2004. Jul. 2006. Jul. 2007.	100 % a continuar implementando.
			Curso de capacitación se desarrollo.	Nov.2007	100%
Determinar los efectos técnico-económicos positivos y negativos obtenidos por la aplicación de la tecnología a nivel predial.	Estudio de factibilidad económica.	Determinar la rentabilidad del uso de la tecnología.	Evaluación económica del uso de imágenes multispectrales	Jun 2006.	100 %
			Evaluación económica de manejo diferencial por áreas homogéneas.	Jun.2007	100 %

VII. RESUMEN DE LOS RESULTADOS ANTERIORES

Los resultados obtenidos a través de esta investigación, deja en claro que 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.

Bajo los resultados obtenidos en el huerto de manzanos, queda claro que a nivel de huertos no existe un claro criterio y herramienta. Sin embargo la última etapa de la investigación se validó la teoría del raleo diferenciado para poner en manifiesto que aumentar en un 30% la carga frutal no se ve afectada la calidad final de los frutos, por lo que el beneficio económico que aporta es importante. Por otro lado las evaluaciones de rendimiento y calidad por área de copa permiten demostrar la importancia que tiene en ello como herramienta en ser utilizada para realizar podas, raleos de frutos, aplicación de pesticidas entre otras relacionada con el manejo agronómico. Durante esta investigación se 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.

Las condiciones de manejo hídrico al cual son sometidos los huertos de paltos, dejan en manifiesto un deficitario control en la evaluación y ejecución de la cantidad de agua a aplicar. Se señala en esta investigación que si se consideran las propiedades físicas de suelo por zonas de vigor, éstas serían ideales para sectorizar el riego por cuartel, así los árboles no se verían afectados por exceso ni déficit hídrico, con ello responderían de mejor forma, ya sea en vigor como en rendimiento y calidad de frutos; Además permitiría el ahorro de energía que involucra la aplicación de agua de riego. Por otro lado la aplicación de Surfactante, como éstos permiten mejorar la estructura del suelo, conlleva a la aireación del suelo, evitando asfixia radicular, permitiendo el crecimiento normal de las raíces.

A través de este proyecto, ha generado el espacio para el desarrollo de una línea base de investigación bastante sólida que ha permitido la generación de un PDP con la empresa Greenvic y Trinidad en este tema y una posibilidad concreta de seguir en el escalamiento tecnológico con el sector privado, factor que es uno de los principios rectores de los proyectos FIA. Además, se debe ir generando nuevas alternativas de desarrollo complementarias a ser incorporadas en esta línea de investigación, que aporten en mejorar las decisiones productivas que permitan ser una guía de evaluación de las decisiones

tomadas. Así, se han tomado todas las decisiones necesarias para validar lo ya investigado hasta la fecha en conjunto con el sector privado para tener continuación del desarrollo de la fruticultura de precisión.

VIII. PROBLEMAS ENFRENTADOS

El mayor problema enfrentado esta en la parte del desarrollo de volumen de canopia debido a la complejidad de este punto. Sin embargo, el personal del proyecto ha tomado las providencias para llevar a cabo este punto mediante el desarrollo de un equipo que permita la evaluación de este punto y que está presenta en este informe. Se evalúa la continuación del desarrollo óptimo de este punto en la continuación de la línea de investigación asociada a este punto en un nuevo proyecto que se está realizando y se informa todas las líneas a trabajar en este en el presente informe.

VI.1 Actividades no realizadas.

En general se realizaron todas las actividades planificadas.

IX -DESAFÍOS A FUTURO

En función de los resultados de las investigaciones desarrolladas en el proyecto INIA-FIA y las tendencias del mercado del vino a futuro, surgen distintas líneas en cuanto a desarrollo en la FP en nuestro país.

i.- Manejo de las relaciones hídricas en los frutales,

Se ha demostrado que lo cual está en concordancia con la gran influencia que ha mostrado estatus hídrico (EH) en los frutales sobre la variabilidad de la producción y calidad de la fruta. En este sentido, la evolución de las determinaciones del EH en los frutales ha pasado desde las determinaciones basadas en suelo y micrometeorológicas hasta aquellas basadas en micrometeorología y plantas como la determinación del potencial hídrico xilemático, dada su significancia fisiológica directa con el EH y su consistencia. Sin embargo, este tipo de determinaciones, aunque se desarrolle bajo un esquema regulado de muestreo (en base a zonas de equilibrio o NDVI), es muy exigente en mano de obra y tiempo, por lo que es requerida una metodología basada igualmente en un aspecto fisiológico de planta que varíe directamente con el EH, y, la que cual se pueda desarrollar en el mínimo tiempo, con una representatividad del viñedo tal que se pueda hacer los manejos de riego en forma oportuna y con mejor costo por reducción en la Mano de Obra requerida pero, en la actualidad sigue siendo el sistema mejor a ser utilizado e implementado por los frutales.

Para mejorar la eficiencia del uso de este sistema se debe considerar que los frutales son regados homogéneamente por lo tanto el monitoreo se debe focalizar en el área más importante en superficie del cuartel de tal forma que se potencie la mayor cantidad de plantas con un manejo adecuado del riego.

Por otra parte, se ha encontrado la determinación de índices de estrés hídrico, basado en la determinación de la temperatura de superficie del viñedo como una alternativa plausible para estos fines sin embargo, este punto está en estudio y se verán sus resultados potenciales en los próximos años.

IX.1 Relaciones hídricas: Aplicación termometría infrarroja

En este método se trabaja en base a la determinación de los denominados "Índices de estrés hídrico de cultivo", (Jackson et al., 1981; Jones; 2002), determinados según la siguiente relación:

$$CWSI = (dT - dTI) / (dT_u - dTI)$$

Donde:

- dT: es la diferencia entre el valor térmico de la canopia y la del aire,
- dT_u: diferencia entre límite superior térmico de una hoja (hoja no transpirando) y la temperatura del aire
- dT_l: diferencia entre límite inferior térmico de una hoja (hoja bien hidratada) y la temperatura del aire

Se ha evaluado el CWSI con respecto a la transpiración en los viñedos, encontrando evidencia de una buena relación entre estas variables estudiadas.

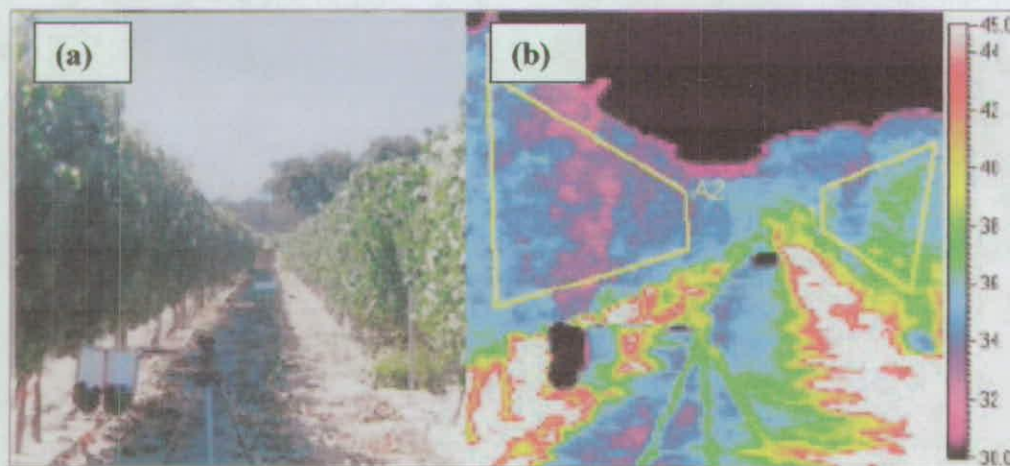


Fig. Determinación de temperatura en un viñedo en espaldera (a) haciendo uso de una cámara termal, con lo que se obtiene una imagen en falso color que representa en escala cromática las distintas temperaturas en la canopia (Jones et al., 2002)

IX.2.- Manejo de agroquímicos en los frutales en base a dosis diferenciales. Lo anterior se fundamenta en la necesidad de cumplir con las exigencias del mercado en cuanto a reducir las cargas de pesticidas (aplicadas al follaje y herbicidas) en los frutales, para lo cual se debe usar información pertinente del vigor vegetativo (por lo cual es altamente complementaria a los trabajos ya desarrollado en VP y mostrados en el presente manual), 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.

Aplicación diferencial de agroquímicos

Aplicación diferencial de pesticidas usando modelos de IAF.



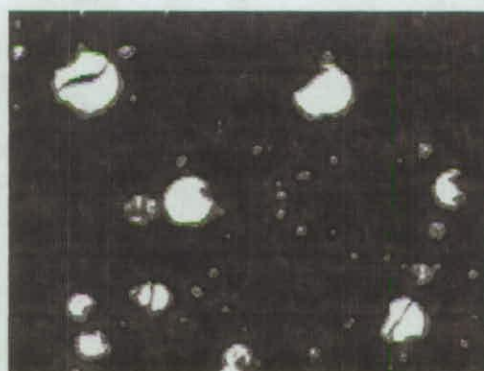
Fig. 36. Aplicación diferencial de agroquímicos. (a) pesticidas al follaje, aplicación que es regulada en función de la cantidad de hojas, haciendo uso de equipo mostrado en (c) para la programación de la aplicación.

VIII.3.- Biometría y desarrollo práctico de sistemas de evaluación digital.

La estimación temprana en frutales ha sido estudiada en diferentes formas, siendo el formato tradicional el conteo de frutos en puntos seleccionados y posterior interpolación al resto de área (Best et al., 2005; Parrish and Upadhyaya, 1999), sin embargo, el uso de estas técnicas no han sido del todo eficientes, ya que tan solo se posee una parte de evaluada del área y esta es utilizada para representar la totalidad de esta. Sobre la base de la utilización de modernos sistemas de reconocimiento y modelamiento digital, se ha podido experimentar en el desarrollo de sistemas de monitoreo de cantidad de frutos por árbol, y asociar esta información al rendimiento potencial (Stajniko et al. 2004, Salehi et al., 2000). El pronóstico temprano del rendimiento mediante el uso de visión inteligente (Figura 10) se ha desarrollado principalmente en frutales mayores mediante uso de imágenes de alta resolución (Morimoto et al., 2000; Stajniko and Lakota, 2001; Palaniappan and Won Suk, 2003; and Zhao et al., 2005) como mediante el uso de imágenes térmicas (Stajniko et al., 2004).



(a) Color Image



(b) Binarized Image



(c) After removing noise



(d) After filling gaps

Figura 10. Ejemplo de los pasos del procesamiento de imagen de un árbol de naranjos (Palaniappan and Won Suk, 2003).

Si bien, los resultados obtenidos mediante el uso de estos sistemas son promisorios (Figuras 11 y Cuadro 4), los desarrollos en esta línea de investigación son bastante recientes, lo que nos permite visualizar esta línea de desarrollo como un forma práctica y eficiente de lograr el objetivo de estimación temprana con fines de manejo de los huertos.

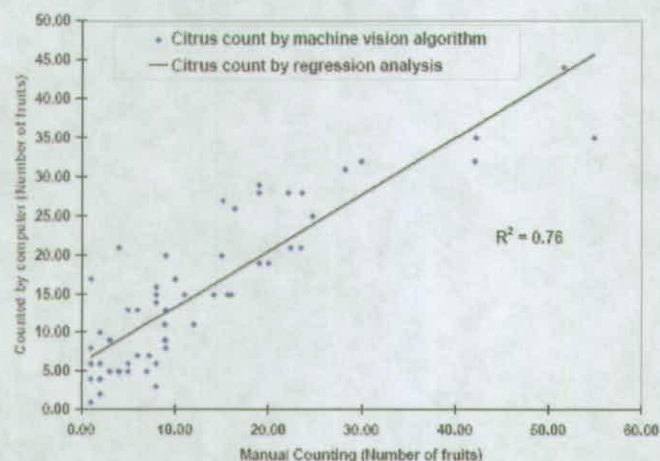


Figura 11. Resultados del análisis de regresión entre el conteo de frutos en forma manual y el desarrollado mediante algoritmos matemáticos del sistema de visión digital (Palaniappan and Won Suk, 2003).

Tabla 4. Rendimiento estimado y cosechado en diferentes variedades en la estación 'Kleinaltdorf' (Germany).

TRIALS KLEINALTDORF (DEUTSCHLAND)								
KOREVESHORTO								
Variety	Planted	Captured	Estimated (KG/HA)	Yield/tree (KG)	Harvested (KG/HA)	Yield/tree (KG)	Difference(H-E) (KG/HA)	Index (P=100)
Elstar 3,54 x 1m	2000	2.August 2004	27.112	10,85	24517,00	9,81	2.595	111
Golden I 3,35 x 1,5m	1990	2.August 2004	24.661	14,51	28032,00	16,49	-3.371	88
Braeburn 3,54 x 1m	2000	2.August 2004	25.712	10,08	23175,00	9,09	2.537	111
Golden II 3,54 x 1,3m	1992	2.August 2004	25.053	12,53	30686,00	16,43	-6.633	82
Gala 3,54 x 1m	2000	2.August 2004	16.840	6,40	18231,00	7,01	-1.591	91
Cox 3,54 x 1m	2000	2.August 2004	14.905	5,95	10866,00	8,48	-1.961	88

Así, tener la posibilidad de una evaluación del rendimiento temprano, tal como ya se ha mencionado, nos permitirá tener una visión productiva del huerto, permitiendo tener acciones correctivas cuando sean necesarias, sin embargo, estas deben estar ligadas a la evolución de las calidades potenciales de las aceitunas ya que el factor climático, cambiante año a año, no permite una estandarización de manejo en cuanto a la asociación calidad / rendimiento. Este factor es de alta importancia ya que, debido a los cambios climáticos existentes por el calentamiento del globo, cada vez es mas difícil el manejo tradicional agronómico de los

huertos, el cuales se ha traducido a un manejo homogéneo sin mucha información del desarrollo y evolución de los mismos. Además, el desarrollo de plantaciones en el sistema superintensivo en Chile (sistema a ser estudiado en este proyecto), es más bien reciente y no existe mucha información del manejo adecuado a nuestras condiciones. Sin embargo, según lo ya expuesto en este proyecto, este tipo de sistemas de producción se visualizan como los más rentables y mayor desarrollo en cuanto a nuevas plantaciones.

VIII.4.- Estimaciones de volúmenes de copa.

Estimación de Índice de área foliar (IAF).

La estimación del índice de área foliar, se llevará a cabo por medio de la utilización del equipo "Fisheye", consistente en la captura de una fotografía hemisférica de la canopia en su parte inferior, imagen con la que, en virtud de un programa asociado al instrumento, se calcula automáticamente el IAF. (fig 11)

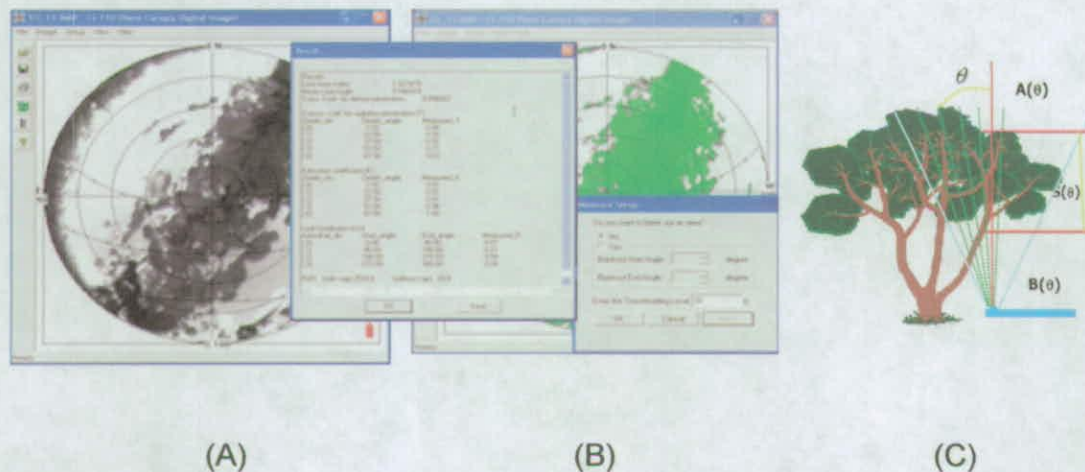
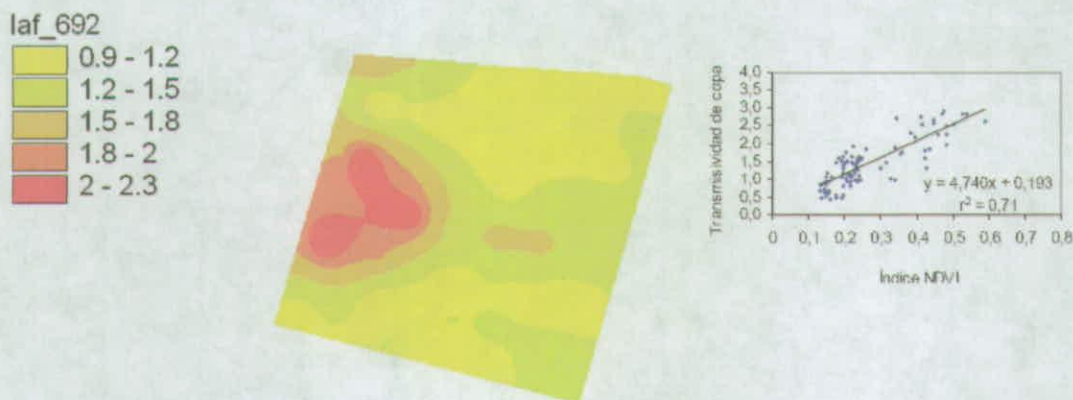


Figura 11. Sistema de obtención de índice de área foliar (IAF) mediante fotografía hemisférica (Fisheye), en donde: (a) fotografía hemisférica capturada en la parte inferior de la canopia (c), visualizada con programa de análisis; (b) fotografía analizada, en donde la zona verde claro al centro del círculo es el área de interés a ser medida con la obtención automática del IAF del punto de muestreo.

Cabe destacar que la captura de puntos de monitoreo en las áreas de estudio para la generación de mapas de IAF de los cuarteles tienen la dificultad de que deben generarse en una alta densidad para poder capturar la real variabilidad de IAF existente en los predios (Figura 12). De otra forma, los mapas generados adquieren un carácter muy grueso en su estimación (Figura 13). Por otra parte, se pueden utilizar los valores de NDVI y su relación con los valores de IAF, los cuales generan planos más reales de la distribución de canopia de las áreas (Figura 13).



(A)

(B)

Figura 12. Mapa de IAF del cuartel 692 Var Merlot con una densidad de muestreo de 50 puntos por cuartel (5 has). Buin, enero 2006 (A) y relaciones encontradas en huertos olivícolas (B).

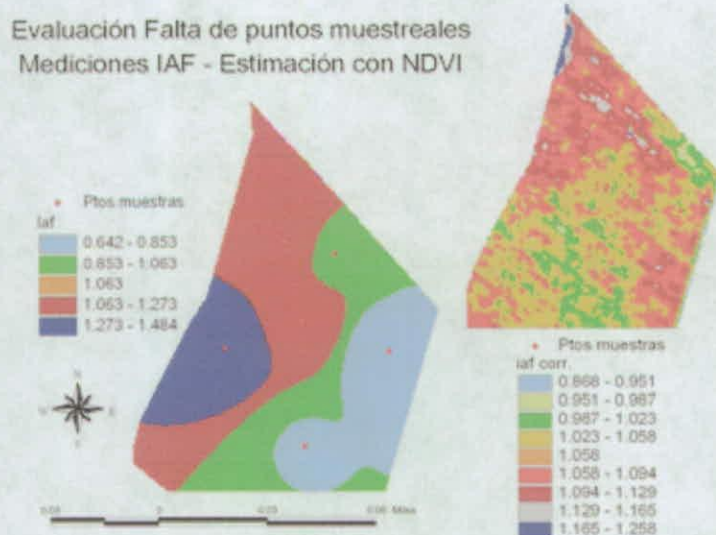


Figura 13. Obtención de mapas de IAF mediante interpolación directa de puntos de muestreo en terreno y derivado de los valores de NDVI de mismo cuartel. Buin, enero 2006.

Sin embargo, como se puede visualizar 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 (Figura 14) 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 su construcción.

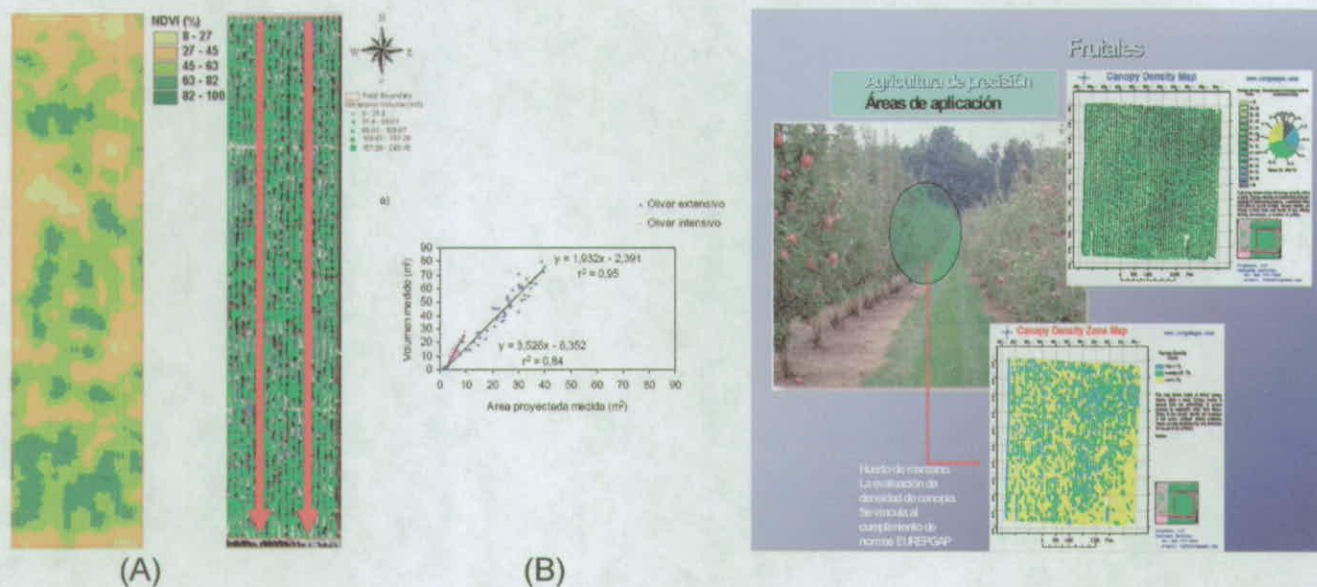
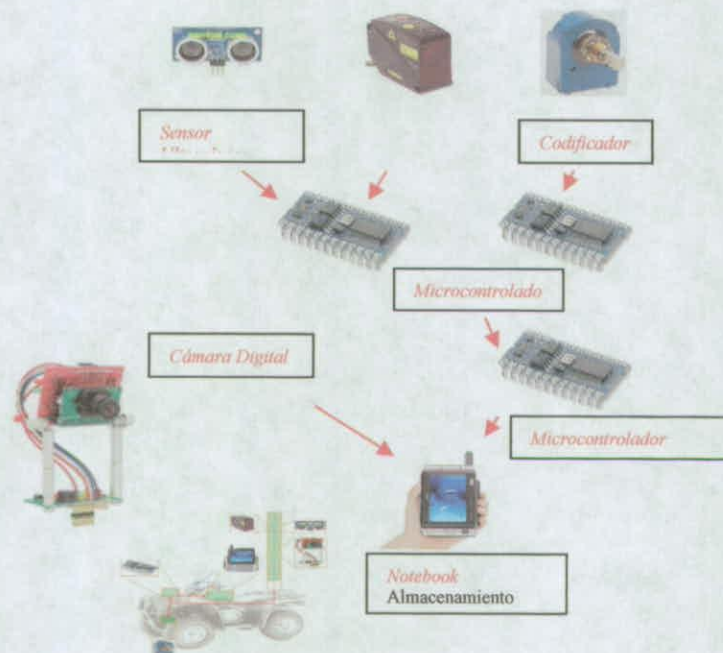


Figura 14. Plano de NDVI (A) y plano de volumen de canopia (B), teniendo estas últimas líneas de pasada del equipo diseñado para generar correlaciones entre el desarrollo de volúmenes de canopia y área de copa para el desarrollo del plano de volumen de canopia del cuartel.

Atendiendo a los requerimientos descritos anteriormente, se estableció el diseño de una unidad provista de diversos sensores que en conjunto con un Software permitirá estimar en forma adecuada la variable de volumen foliar.

Figura X. Representación del Hardware que integra el módulo para estimación de Volumen de Canopia y Rendimiento Productivo.



SISTEMA DE EVALUACION DE VIGOR Y CALIDAD DE COSECHA EN MANZANO, MEDIANTE PERCEPCION REMOTA

Evaluation System of vigor and harvest's quality in apple tree, by means of remote perception.

Troc¹, Claudio; Best³, Stanley & Ortega², Samuel

¹Universidad de Talca-Facultad de Ciencias Agrarias- Magíster en Horticultura

²Universidad de Talca-Facultad de Ciencias Agrarias-Departamento de Horticultura

³Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria – Sub-estación Quilamapu

e-mail: ctroc@utalca.cl

ABSTRACT

The work was carried out in season 2003/2004, in apple trees of fifth and third leaf, varieties *Royal gala* and *Galaxy*, in orchards of 12.5 and 8.75 acres respectively. These orchards are located in Fundo San Manuel, Los Niches, of Curicó city (S35° 1.5' W70° 57.2'), Chile. The experiment corresponded to sampling in a 15-points in each orchard, georeferenced by DGPS. In each point, were measured vegetative and quality variables. The remote sensing of trial zone was realized using a multi-spectral image registered in active growth during the month of December.. Analyses of correlation between spectral index NDVI and variables. Later to this a selection of the variables of greater statistical weight with the purpose of defining the level of relation among them was made, using for it nonlinear a multifactorial analysis or Factor analysis, by means of software SAS. In the same way, on the base of the information of the selected variables, an analysis of group or Cluster analysis was practiced, this in order to generate a classification of groups of control according to its similarity, but that between groups has statistically significant differences, what it was corroborated using a discriminante analysis. With that were elaborated maps through Kriging methodology. These maps, were grouped in 4 levels with 5% of significance according to LISA procedure. The maps were made by means of software Arcview GIS. Finally, also regression analyses between averages of variables distinguished by vigor classes.

The results indicated the existence of a high variability in both evaluated orchards with variation coefficient (VC) fluctuating from 3 to 56 % and 3 to 60%, for varieties *Royal gala* and *Galaxy* respectively. The analyses of correlations showed for both orchards, the presence of narrow relations of the NDVI with the yield, perimeter of trunk and shoot length, with values of 0,81, 0.7 and 0,72 for *Royal gala* and 0,5, 0.4 and 0,62, for the cv. *Galaxy* respectively. In the other hand, the evaluated relations between NDVI and variables, that they condition the quality, they show in both varieties inverse relations the vigor index, being more evident in soluble solids and the intensity of colour. Also it was possible to be appreciated, that the totality of the indicating variables of vigor plus the NDVI, they to a great extent represent the present dispersion in the orchards, what simultaneously it marks to tendencies or patterns of similar behavior. The graphical visual appreciations (maps) by means of the preparation of maps, single they confirm the preceding results, being generated zones of similar behavior or tendencies according to the zones of equivalent vigor. In other hand, the index proposed were useful for determine zones, which had a good fit between the space variability of vigor.

Key words: Spatial variability, Cluster analysis, NDVI, remote sensing, prediction

INTRODUCCION

La oferta frutícola a nivel mundial se ha incrementado considerablemente, en particular la de manzanas, lo que significa que en el corto plazo la competencia será cada vez mayor, enfrentando el desafío de optimizar recursos en la cadena productiva. Una limitante para ello ha sido el manejo de la variabilidad. Esta, ha sido descrita inicialmente a nivel de suelos y rendimientos en cultivos anuales, cuya variación estaría determinada por factores propios de cada suelo, como los procesos de su formación, y extrínsecos como las rotaciones de cultivo que se han llevado a cabo en cada predio (Esser *et al.*, 2002). De esta misma forma, los cultivos frutícolas no están exentos de variabilidad, los que con el manejo estandarizado u homogéneo, hacen que se manifiesten diferencias de vigor, calidad y rendimiento (Kitchen, N. *et al.*, 1999; Schueller J. K *et al.*, 1999; Diker, K. *et al.*, 2004). En este sentido, la agricultura de precisión mediante la interacción entre un grupo de tecnologías como sistemas de información geográfica (SIG), sistemas de posicionamiento global (GPS), computadores y maquinarias, permite generar planes de manejo diferenciados o sitios de manejo específico (www.ext.nodak.edu/extpubs/plantsci/soilfert/sf1176-1.htm; Viscarra and McBratney, 1998; Cook S.E., R.G.V. Bramley, 1998). A su vez, la percepción remota o teledetección, que mide la energía electromagnética reflejada y emitida por objetos, determina a nivel biológico vegetal, como se afecta en forma e intensidad de acuerdo a la arquitectura del dosel de las plantas (Lillesand T. and Kiefer R. 1997; Goel, 1988; Verstraeten and Pinty, 1996; Gilabert *et al.*, 1996), contenido de clorofila (Yoder and Pettigrew-Crosby, 1995; Gitelson and Merzliak, 1996; Lichtenhaller *et al.*, 1996), contenido de humedad (Yoder and Pettigrew-Crosby, 1995), plagas y enfermedades (Choudhury, 1987; Salute, *et al.*, 1994; Gamon *et al.*, 1997; Fitzgerald *et al.*, 1999; Tucker *et al.*, 1981; Justice *et al.*, 1985; Gitelson and Merzliak, 1996). Dentro del espectro electromagnético la franja de interés en el uso agronómico, va desde el ultravioleta (UV) hasta el infrarrojo (IR), y de la luz solar esta es la mayor parte (Cook S.E., R.G.V. Bramley, 1998; Righetti, 2000; Esser y Ortega, 2002). Una imagen espectral, está compuesta por las bandas azul, verde y Rojo, las cuales al combinarse componen la imagen. Los índices de vegetación obtenidos a partir de imágenes espectrales han sido desarrollados con la finalidad de realzar la contribución de la vegetación, en función de la respuesta espectral de una superficie, a través de combinaciones matemáticas de bandas espectrales. El índice más utilizado ha sido el Índice normalizado de vegetación (IDVN), que considera la cantidad de energía roja (ROJO) que es absorbida por la clorofila y la cantidad de energía del infrarrojo cercano (IC) que es reflejada por la estructura celular de la hoja. El contraste entre las hojas y el suelo es mucho mayor en el infrarrojo cercano, por esta característica, la diferencia entre el espectro reflejado, permite evaluar la biomasa de una plantación. El cálculo de esta relación arroja valores entre -1 y +1, que correlacionan directamente con la biomasa o vigor de la planta, en donde con una alta biomasa o vigor, el valor del IDVN se aproxima a la

unidad positiva (Righetti, 2000, Esser *et al.*, 2002, Esser y Ortega, 2002). Existe evidencia que el IDVN ha correlacionado positivamente con diversas variables indicadoras de vigor, como rendimientos, ciclo fenológico del cultivo, índice de área foliar (IAF), la Sección del Área Transversal del Tronco (SATT) explicando en gran parte la variabilidad presente en viñedos (Esser y Ortega, 2002, Irmak, A. *et al.*, 2002 Yang, S. *et al.*, 2001 Plant, R. *et al.* 2000; Forshey and Elfving, 1989). También se ha relacionado en manzanos, con el peso final del fruto, lo que indudablemente está vinculado al vigor del árbol y por ende con la velocidad de maduración (Barrit, B. and Konishi, 1993, Forshey and Elfving, 1989). La calidad también ha mostrado relaciones con IDVN, siendo utilizadas para subdividir áreas ("bloques") de cosecha basadas en el vigor de las plantas, para posteriormente separar sus cosechas y procesos de elaboración de vinos, obteniéndose mostos con amplias diferencias entre zonas de alto y bajo vigor. También el IDVN ha sido utilizado para el rediseño de huertos, identificación de problemas relacionados a riego, estatus nutricional, pestes y enfermedades (Johnson *et al.*, 2001; Lamb, 1999 y 2000; Johnson, L.F. *et al.*, 2001; Humburg, D. *et al.*, 2002; Penn 1999; Carotheers 2000; Aho 2002). En frutales existen solamente incipientes investigaciones en E.E.U.U., Nueva Zelandia e Israel, los cuales han obtenidos relaciones entre calidad e imágenes, entre estos se encuentran los estudios realizados por Tindall ([www.simplotgrowersolutions.com /data/ACFC2.pdf](http://www.simplotgrowersolutions.com/data/ACFC2.pdf)), en el cual correlacionó el infrarrojo cercano con los rendimientos obtenidos por área, detectando una alta correlación.

El IDVN como todos los índices de vegetación espectral, presentan una limitación, que es el rango de error que se produce al analizar solamente imágenes, las cuales poseen información sobre la distribución espacial del vigor o la biomasa dentro de la plantación, de esta forma las inferencias que se realicen, deben necesariamente ser comparadas con datos obtenidos en terreno, es decir, a través de evaluaciones tangibles.

La variabilidad espacial en huertos frutales de manzanos es indudablemente una realidad, sin embargo, en la mayoría de los casos, el manejo del huerto es espacialmente uniforme y no considera la heterogeneidad de los factores que inciden en la producción; por esto se requiere de un tratamiento diferenciado en términos de manejo y nutrición, de manera tal de alcanzar el potencial productivo sobre la base de la nutrición y calidad requerida por el mercado. De esta forma, al utilizar el índice de vegetación normalizado (IDVN), y compararlo con variables en terreno se logra explicar la variabilidad espacial y separar zonas productivas de patrones similares, en huertos de manzanas variedades *Royal gala* y *Galaxy*. Es así como el objetivo de la presente investigación es *evaluar la utilidad del Índice de Vegetación Normalizado (IDVN), proveniente de imágenes multiespectrales, para establecer zonas de manejo homogéneo de calidad y vigor en cosecha, en huertos de manzano, variedades Royal gala y Galaxy.*

MATERIALES Y METODOS

El trabajo se llevó a cabo en la temporada 2003/2004, en manzanos de quinta y tercera hoja, variedades *Royal gala* y *Galaxy*, en huertos- cuarteles de 5, y 3,5 has respectivamente. Estos huertos están ubicados en el Fundo San Manuel, Camino a los Niches Km. 15 ciudad de Curicó (S35° 1.5' W70° 57.2'), Chile. Los árboles han sido conducidos en sistema piramidal e injertados sobre portainjerto MM111 y MM106, las variedades *Royal gala* y *Galaxy* respectivamente. El marco de plantación está a 2 metros sobre hilera por 4,5 metros entre hileras, con un total de 1.111 plantas por hectárea. Ambos huertos son provistos de agua mediante riego presurizado en microjet. El suelo presente corresponde a la serie de suelo Limanque, de textura franco arenoso muy fino, de origen aluvial, derivado de cenizas volcánicas y posee un color pardo muy oscuro. También presenta topografía plana, de permeabilidad moderadamente rápida y bien drenado, con escurrimiento superficial lento. Además posee una profundidad efectiva variable entre los 30 y 80 cm.

La zona posee un clima Mediterráneo, con la variante de agroclima Talca, la que se extiende desde Curicó hasta el norte de Chillán. Este presenta un régimen térmico que se caracteriza por una temperatura media anual de 14,9 °C, con máximas medias del mes de enero de 30,8°C y mínimas medias de 3,8°C en el mes más frío de Julio. La suma anual de temperaturas, base 5°C, es de 3.598 grados-días y base 10°C, de 1.854 grados-días. Las horas de frío de marzo a noviembre llegan a 1.018 y la temperatura media anual se mantiene sobre los 8°C. Por último el régimen hídrico se caracteriza por una precipitación anual de 735 mm, siendo el mes más lluvioso junio.

1.- Imágenes multiespectrales

Imágenes multiespectrales, fueron obtenidas mediante la utilización de una cámara multiespectral Modelo MS3100, la que fue implementada en un avión. La altitud de vuelo fue de 2850 m, con lo cual se obtuvieron imágenes con un tamaño de píxel de 2 m., con una velocidad de 7.5 frame por segundo, adquiriendo las imágenes necesarias de las áreas de estudio. Estas fueron tomadas en activo crecimiento en diciembre, para realizar los análisis sobre los cuales se trabajaron los datos de muestreo en terreno, posteriormente se realizó su corrección e integración en mosaico, mediante el uso del software ERDAS® v.8.5 (Figura 1). Sin embargo, la cartografía predial fue la base de georeferenciación de las imágenes en bruto.



Figura 1.- Georeferenciación de imágenes utilizando la cartografía predial.

Las imágenes fueron realizadas con el Falso Color Rojo (Figura 1), utilizándose para realzar la vegetación, cuyo fin es solamente la interpretación visual. Los índices obtenidos por la razón normalizada entre el infrarrojo cercano (IRC) y el rojo (R),

$$INDV = (IRC - R) / (IRC + R)$$

fueron sometidos a un análisis estadístico en base a cuatro clases de vigor como se observa en la figura 2, es decir, se agrupan las clases por medio de un número de desviaciones estándar estadísticamente diferentes, lo que implica separar en clases la distribución de datos. Por otra parte, se realizó una clasificación supervisada donde las áreas son primero agrupadas únicamente por los índices y posteriormente ajustadas con la información recabada en terreno a partir de los puntos de control.



Figura 2.- Mapa de cuatro clases de vigor de acuerdo al análisis estadístico

En cada huerto se seleccionaron 15 unidades o puntos de control en forma aleatoria. A estos puntos se les determinó el posicionamiento geográfico, mediante la utilización de un DGPS Trimbel®, con la finalidad de reducir la incerteza de la medición a 0,5 M. Cada punto está compuesto de 4 árboles, en los cuales se llevarán a cabo las mediciones de terreno (Figura 3).

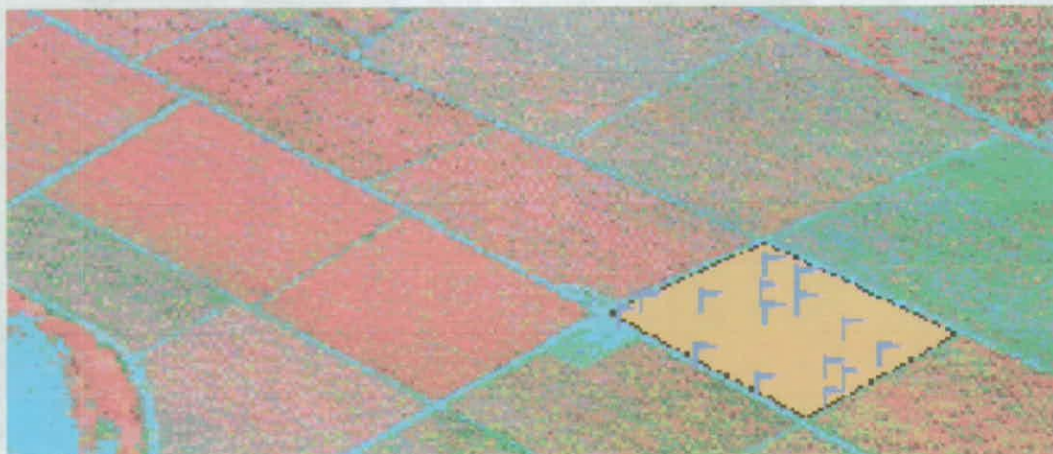


Figura 3.- Area de estudio individualizado con una máscara, con los respectivos 15 puntos de control seleccionados.

2.- Evaluación de variables de vigor a nivel de Campo.

Con la finalidad de integrar y relacionar la información espectral con la información real u obtenida en terreno, fueron evaluadas las siguientes variables de vigor en cada punto de control, cuyas formas de evaluación se describen en los párrafos siguientes.

Contenido de clorofila: Este fue evaluado a través del equipo portátil Chlorophyll Meter modelo SPAD 502 de Minolta®, el que estima en forma instantánea el contenido de esta, en base a la cantidad de luz transmitida por la hoja, en 2 longitudes de onda, en las cuales la absorbancia de luz es diferente.

Perímetro del Tronco: Esta evaluación fue realizada con huincha sastre a 20 cm por sobre la unión patrón – injerto.

Longitud del crecimiento del brote en el año: esta medición fue evaluada para cada punto de control, en el tercio medio del árbol realizando 4 mediciones por planta, orientado a los puntos cardinales, a partir los cuales se calculó un valor promedio. La evaluación fue realizada posterior a la cosecha.

Rendimiento: se determinó la producción total para cada uno de los puntos de control, mediante el peso del total de la fruta colectada.

Índice de Área Foliar (IAF): para el caso en particular del cálculo del IAF fueron seleccionados aleatoriamente 9 puntos de control por huerto, en cada uno de los cuales se llevó a cabo la defoliación total de 1 árbol, luego mediante la utilización del equipo AREA METER, marca LI-COR modelo LI-3100, les fue medida la superficie a cada una de las hojas para una muestra de 50 grm. A esta muestra también le fue evaluado tanto su peso fresco como su peso seco, para que en seguida por proporción evaluar de acuerdo al peso fresco total de la defoliación del árbol, el número de hojas, su área, y por ende el IAF para el árbol seleccionado.

Siluetas del árbol: esta variable fue evaluada de acuerdo a la fórmula de _____....

Siluetas= ((largo * ancho)/2) * (altura efectiva)

3.- Evaluación de variables de calidad a nivel de Campo.

Para los 3 huertos antes mencionados, una vez determinado el rendimiento en cada punto de control, se tomó como muestra el 15% de este, para luego a cada uno de los frutos que conformaban la muestra evaluarles las principales variables de calidad de acuerdo a las normas que rigen a la exportadora David Del Curto.

Calibre: fue determinado con una huincha, la que evalúa el diámetro del fruto.

Firmeza de Pulpa: esta variable fue evaluada utilizando para ello un presionómetro marca Veto, con vástago 11 mm. Las mediciones fueron realizadas 2 veces en cada fruto, en puntos opuestos en la zona ecuatorial del fruto.

Sólidos solubles: para la evaluación del contenido de sólidos solubles en cada fruto se utilizó un refractómetro de marca Veto, utilizando como unidad los grados Brix.

Color: Para el caso de esta variable, se evaluó tanto cubrimiento como intensidad, para lo cual se crearon escalas de medición.

- **Cubrimiento:** este fue evaluado sobre la base de 4 grados:
 - 0 – 25% de presencia de color rojo
 - 26 – 50% de presencia de color rojo
 - 51-75% de presencia de color rojo
 - Mayor a 75% de presencia de color rojo
- **Intensidad:** se tomó como referencia 3 tonalidades diferentes para el color rojo presente en los frutos, leve, moderada y fuerte (Figura 4).



Figura 4.- Intensidad de color rojo de izquierda a derecha, leve, moderada y fuerte

Principales daños y defectos: en estos se evaluó la presencia de Russet, golpe de sol y otros daños producidos por enfermedades e insectos como *Venturia inaequalis* y *Orgyia antiqua*.

4.- Análisis estadístico y Determinación de Sitios de manejo específicos en cada huerto de manzano.

Previo a la determinación de sitios de manejo específico, se realizó para cada una de las variables testeadas, un análisis estadístico descriptivo, extrayéndose del mismo valores promedio, con la finalidad de poseer un solo valor por punto de control, dado que entre ellos el valor de rendimiento era distinto, por tanto el número de frutos analizados era variable, lo que hacía necesario disponer de un solo valor para comparar y realizar los análisis posteriores. Una vez obtenido los promedios por variables y para el total de puntos de control por huerto, se realizaron análisis de correlación entre variables y posteriormente a esto se realizó una selección de las variables de mayor peso estadístico con el fin de definir el nivel de relación entre ellas, utilizando para ello un análisis multifactorial no lineal o Factor análisis, mediante el software SAS. Del mismo modo, sobre la base de la información de las variables seleccionadas, se practicó un análisis de agrupamiento o Cluster análisis, esto con el propósito de generar una clasificación de grupos de puntos de control de acuerdo a su similitud, pero que entre grupos tengan diferencias estadísticamente significativas, lo que se corroboró utilizando un análisis discriminante. Dada esta información, era necesario demostrarlo visualmente a través de mapas para facilitar su análisis. Sin embargo, teniendo presente que solo se disponía de 15 puntos de información en cada huerto, dado el alto costo de muestreo que esto significaba, se realizaron interpolaciones a través del método Kriging, y disponer de esta forma un número de datos suficientes para confeccionar los mapas, no obstante para que estos datos sean lo mas cercanos a la realidad es necesario otorgarles una proyección, la que fue otorgada mediante el software Global Mapper, en sistema UTM, con datum WGS84 y utilizando el sistema métrico para medidas de superficie y elevación, en huso -19 hemisferio Sur. Adicionalmente se realizaron los mapas mediante el software Arcview como sistema de información geográfico, para las variables de selección provenientes del análisis multifactorial. Finalmente, también se practicaron análisis de regresión entre variables y, entre promedios de variables distinguidas por clases de vigor.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

La variabilidad quedó de manifiesto en los dos huertos de manzano, al evaluar a priori la dispersión de los datos de cada una de las variables evaluadas. De esta manera, se evidenció con un especial énfasis para las variables representativas de vigor las más altas diferencias, y en particular para largo de brote, rendimiento, IAF y silueta, con coeficientes de variación (CV) de 0.26, 0.24, 0.29 y 0.56 respectivamente, en el caso del cv. *Royal gala* (Cuadro 1). Esta situación se repite en el cv. *Galaxy*, determinándose los mayores CV para largo de brote, rendimiento, IAF y silueta, con coeficientes de variación de 0.35, 0.31, 0.28 y 0,6 respectivamente (Cuadro 1). Para las dos variedades de manzana en análisis, no se apreció inicialmente una gran dispersión de valores, razón por la cual la baja variabilidad queda representada. Luego, ambos huertos después de este análisis estadístico exploratorio, presentan naturalmente una variabilidad, la que se expresa de mejor forma a través del vigor vegetativo y por ende, mediante las evaluaciones realizadas a ese respecto, y que otorgan el sustento necesario para validar el presente estudio y de insumo para análisis posteriores.

Cuadro 1. Variabilidad presente en huertos de manzana cv. *Royal gala* y *Galaxy*; Fundo San Manuel – Los Niches, temporada 2003/2004.

		Estadística			
Cv. Royal gala	\bar{x}	SD	Min.	Max.	CV.
A. Variables representativas de vigor					
Contenido Clorofila (SPAD por punto)	55,13	2,75	49,85	59,30	0,05
Perímetro de tronco (cm/planta)	22,14	3,34	17,25	27,50	0,15
Largo de brote (cm/brote)	35,65	9,15	21,69	49,88	0,26
Rendimiento (kg por punto de control)	133,4	31,56	95,90	190,3	0,24
IAF	1,20	0,35	0,78	1,68	0,29
Silueta	5,58	3,15	2,56	11,01	0,56
B. Variables representativas de calidad					
Calibre	104,8	8,57	88,00	113,0	0,08
Firmeza de pulpa	18,12	1,08	17,16	20,69	0,06
Sólidos solubles	12,69	0,62	12,02	13,85	0,05
Color Cubrimiento	3,77	0,13	3,54	3,95	0,03
Color Intensidad	2,49	0,16	2,26	2,76	0,06

Cv. Galaxy	\bar{x}	SD	Min.	Max.	CV.
A. Variables representativas de vigor					
Contenido Clorofila (SPAD por punto)	54,68	2,68	48,83	58,65	0,05
Perímetro de tronco (cm/planta)	17,86	2,36	13,63	23,25	0,13
Largo de brote (cm/brote)	28,84	10,16	13,38	44,38	0,35
Rendimiento (kg por punto de control)	83,54	26,15	43,50	131,4	0,31
IAF	1,31	0,37	0,62	1,90	0,28
Silueta	6,09	3,68	1,22	12,12	0,60
B. Variables representativas de calidad					

Calibre	125,4	11,57	113,0	138,0	0,09
Firmeza de pulpa	18,44	1,02	16,33	20,38	0,06
Sólidos solubles	12,53	0,38	11,82	13,03	0,03
Color Cubrimiento	3,69	0,20	3,14	3,92	0,05
Color Intensidad	2,51	0,22	2,04	2,85	0,09

Análisis de correlaciones, realizados entre el Índice normalizado de vegetación (INDV) y las variables representativas de vigor evaluadas en campo para los dos huertos de manzana, se muestran en el cuadro 2. En éste se muestra, que en ambas variedades, existieron estrechas relaciones del INDV con el rendimiento, perímetro de tronco y longitud del crecimiento del brote anual, concordando con lo expuesto por Irmak *et al.* (2002). Esta situación puede ser explicada, teniendo presente que los cultivares *Royal gala* y *Galaxy* poseen los mismos hábitos de crecimiento, dado que pertenecen a un mismo grupo varietal. Por otro lado, la presencia de mayor variabilidad genera mejores relaciones entre el INDV y variables de vigor, condición que se pudo apreciar en terreno para los huertos evaluados, y que concuerda con lo expuesto por Han and Hendrickson (2002). Sumado a lo anterior, en el caso del huerto *Galaxy*, pese a que las tendencias son las mismas, se apreciaron correlaciones de menor magnitud, influenciado probablemente por un ciclo de añerismo dado la juventud del huerto (tercer año) que aún no logra su balance productivo. También es necesario mencionar la influencia de la oportunidad en la que se obtuvo la imagen (Diciembre) como ya lo advirtiera Irmak *et al.* (2002), lo que significó correlacionar información espectral de dos meses previo a cosecha (desarrollo vegetativo parcial), con mediciones de terrenos realizadas en cosecha y poscosecha.

El contenido de clorofila ajustó negativamente para las dos variedades en evaluación, en desacuerdo a los resultados obtenidos por Han and Hendrickson (2002), lo que puede justificarse de acuerdo al momento en el que fue evaluado el pigmento, en poscosecha dos meses posterior a la determinación de INDV. Es así como, posterior a la cosecha, las hojas comienzan a devolver parte de sus nutrientes a los puntos de reservas del árbol, como el nitrógeno, asociado al contenido de clorofila en los folíolos, además del proceso de degradación, que por otro lado comienza el pigmento.

Cuadro 2.- Relación entre INDV y variables indicadoras de vigor para dos variedades de manzana

<i>INDV</i>	Correlaciones (r)			
Variedad	Rendimiento	Perímetro tronco	Longitud de brote	Contenido de clorofila
<i>Royal gala</i>	0.81	0.7	0.72	-0.39
<i>Galaxy</i>	0.5	0.4	0.62	-0.06

El índice de área foliar (IAF) y la Silueta del árbol, también variables indicadoras de vigor, fueron

contrastadas con INDV, cuyos resultados se exponen a parte de las demás variables de vigor, producto de las diferencias de evaluación explicadas en la metodología. A partir del cuadro 3, se puede apreciar que la variedad *Galaxy* mostró el mayor grado de asociación del INDV con el IAF y la silueta de los árboles, seguido por los ajustes obtenidos para *Royal gala*. En el primer cultivar la variabilidad, es explícitamente mayor siendo posible apreciarla fácilmente en terreno, por cuanto las diferencias entre clases de vigor es mucho mas marcada situación ya visualizada por Jonson *et al.* (2002).

Cuadro 3.- Relación del INDV con el IAF y Silueta del árbol.

INDV	Correlaciones (r)	
	IAF	SILUETA
Variedad		
<i>Royal gala</i>	0.42	0.43
<i>Galaxy</i>	0.72	0.75

De forma similar, en el cuadro 4 se muestran las relaciones entre INDV y las variables evaluadas en campo y laboratorio, que condicionan la calidad. En este se puede apreciar nuevamente que las variedades *Royal gala* y *Galaxy*, manifiestan un comportamiento similar salvo para el calibre, las demás mostraron un grado de relación inversa al índice de vigor, siendo más evidente en los sólidos solubles y en la intensidad de color. Esto otorga las bases para intervenir, diferenciando sectores al momento de cosecha, en concordancia con los resultados presentados por Wildman *et al.* (1983), Jonson *et al.* (1998), (2001) and Hall *et al.* (2002). Además considerando que las variables evaluadas son utilizadas como índices de madurez para cosecha en manzanas, se puede decir que a la luz de estos resultados, altos valores del índice espectral pueden influir disminuyendo el grado y la velocidad de madurez de la fruta proveniente de ese sector, lo que reafirma lo descrito por Penn (1999), Carotheers (2000) and Aho (2002). Esto no viene si no a confirmar, la relación entre los índices de vigor espectrales y algunos componentes de calidad.

Cuadro 4.- Relación entre INDV y variables indicadoras de calidad para tres variedades de manzana

INDV		Correlaciones (r)			
Variedad	Calibre	Firmeza	Sólidos	Color	Color
		Pulpa	solubles	Cubrimiento	Intensidad
<i>Royal gala</i>	0.10	-0.23	-0.67	-0.42	-0.63
<i>Galaxy</i>	-0.07	-0.39	-0.37	-0.32	-0.48

Dadas las correlaciones presentadas en los párrafos precedentes, y de acuerdo al principio de parsimonia, es que al practicar el análisis factorial confirmativo, se extrajeron las variables que explicaban en mayor

porcentaje la variabilidad de cada cultivar, Cuadro 5. En este se puede apreciar, que la totalidad de las variables indicadoras de vigor más el INDV, representan en gran medida la dispersión presente en los huertos, lo que a la vez marca tendencias o patrones de comportamiento similar, como lo planteara Barrit and Konishi (1993) y Forshey and Elfving (1989). Por otro lado, las características de calidad, aportan información menor y errática para la explicación de la variabilidad, contrario a lo evaluado por Johnson *et al.* (2001) y Lamb (2000), en el caso de los manzanos.

Cuadro 5.- Variables que explican la mayor variabilidad, seleccionadas mediante análisis factorial

<i>Variedades</i>		<i>Variables</i>			
<i>Royal gala</i>	INDV	Rendimiento	Longitud de brote	Perímetro de tronco	Sólidos solubles
<i>Galaxy</i>	INDV	Rendimiento	Longitud de brote	Perímetro de tronco	Firmeza de pulpa

Posterior al análisis factorial, y utilizando las variables seleccionadas, se llevaron a cabo análisis de agrupamiento (Cluster análisis) para ambas variedades, separándose las observaciones registradas a partir de los 15 puntos de control por huerto, en cuatro clases de vigor, y generándose a su vez 4 zonas homogéneas, con diferencias estadísticas a un nivel de significancia del 5%. Estas al convertirlas en apreciaciones visuales gráficas mediante la confección de mapas, solo confirman los resultados precedentes, generándose zonas de comportamiento similar o tendencias de acuerdo a las zonas de equivalente vigor, en concordancia a lo manifestado por Yang (2001). Figuras 5,6,7 y 8.

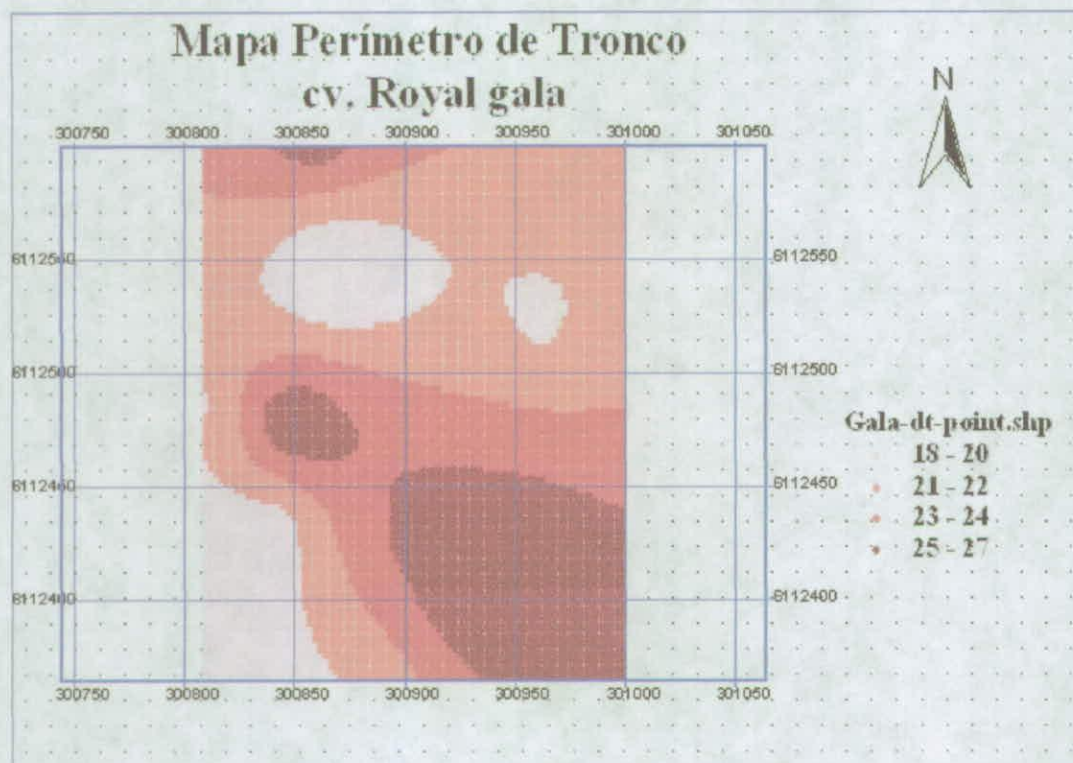
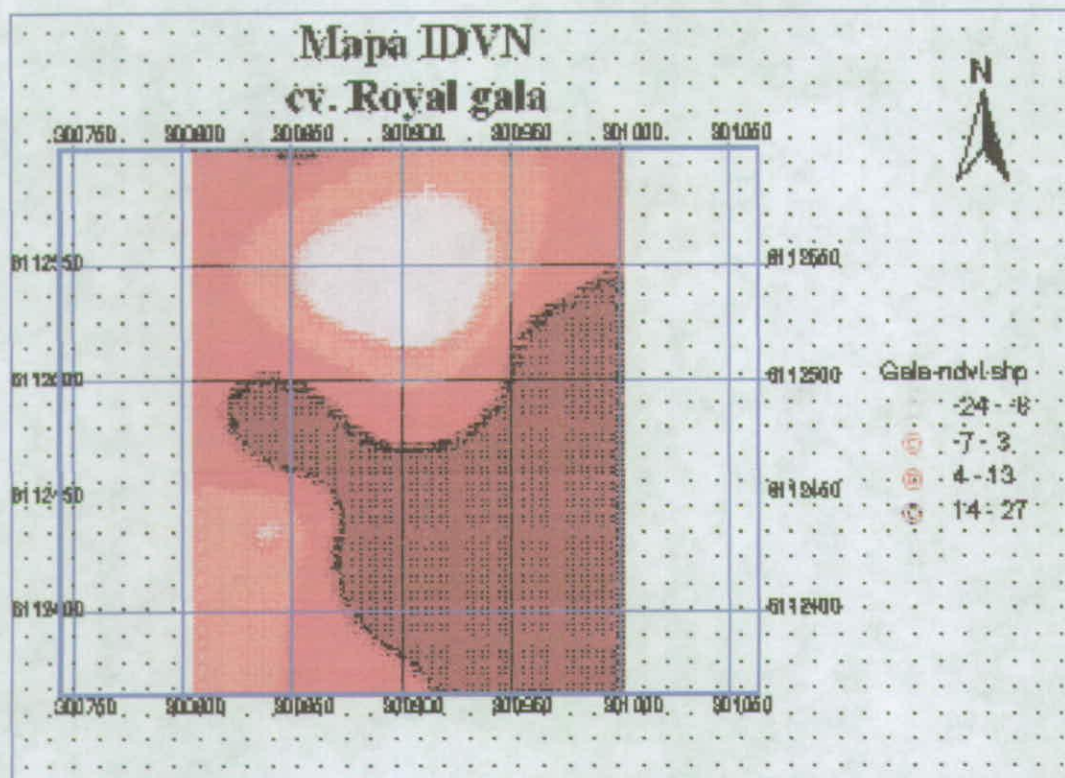


Figura 5.- Mapas de caracterísitcas de vigor, en particular IDVN y Perímetro de tronco, cv. *Royal gala*.

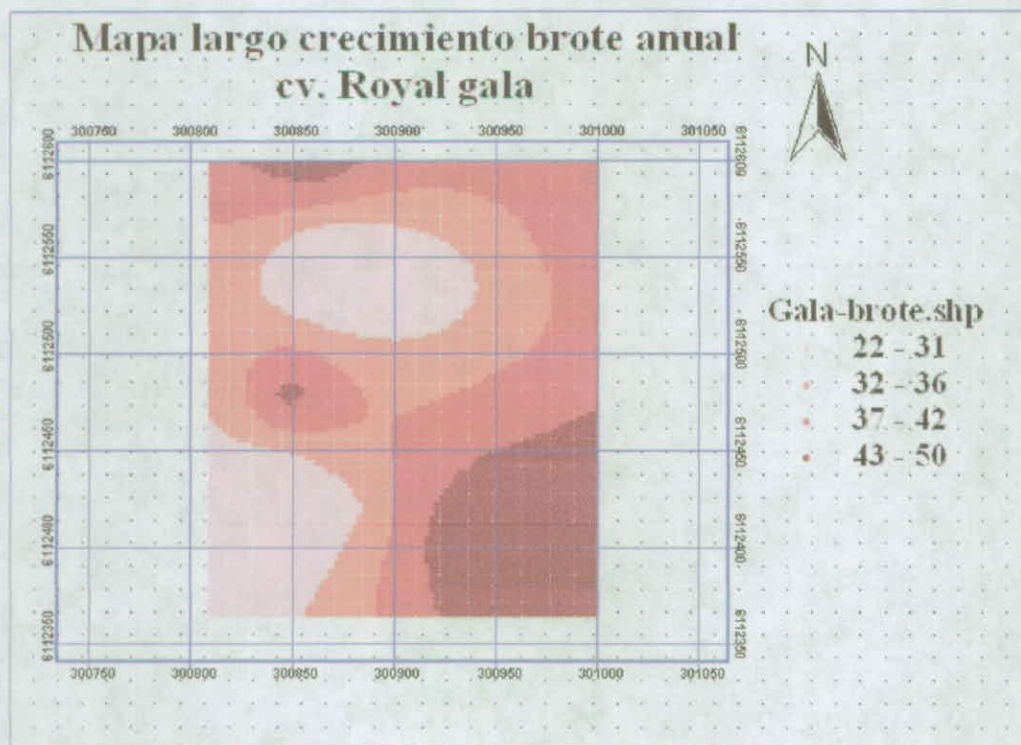
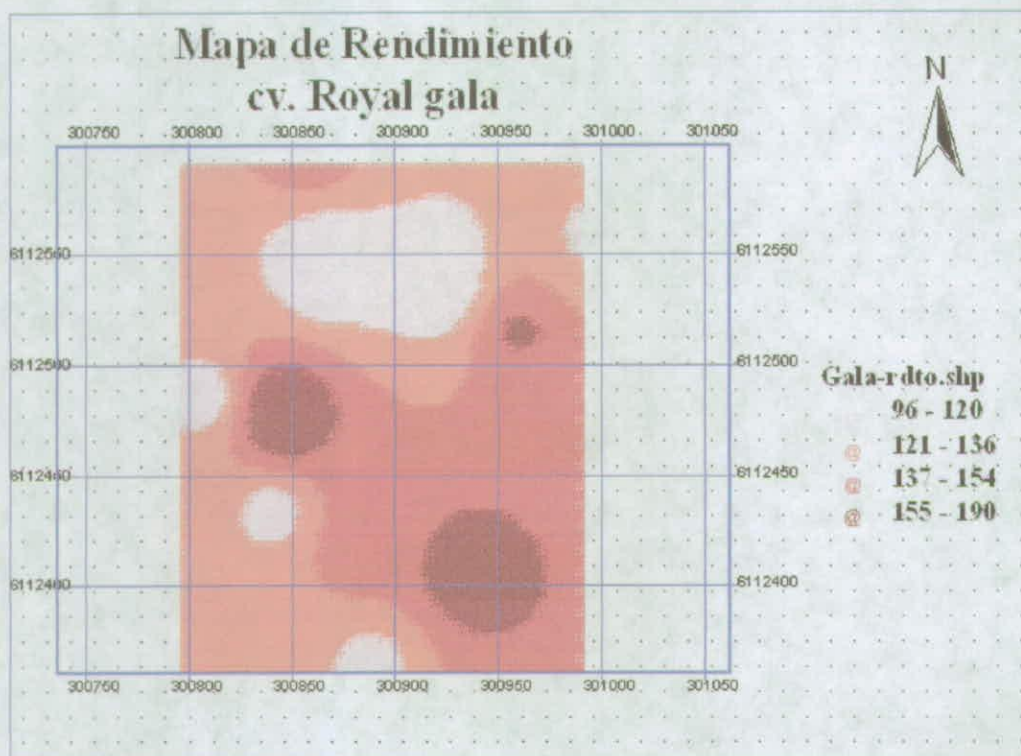


Figura 6.- Mapas de características de vigor, en particular Rendimiento y largo del crecimiento del brote anual, cv. *Royal gala*.

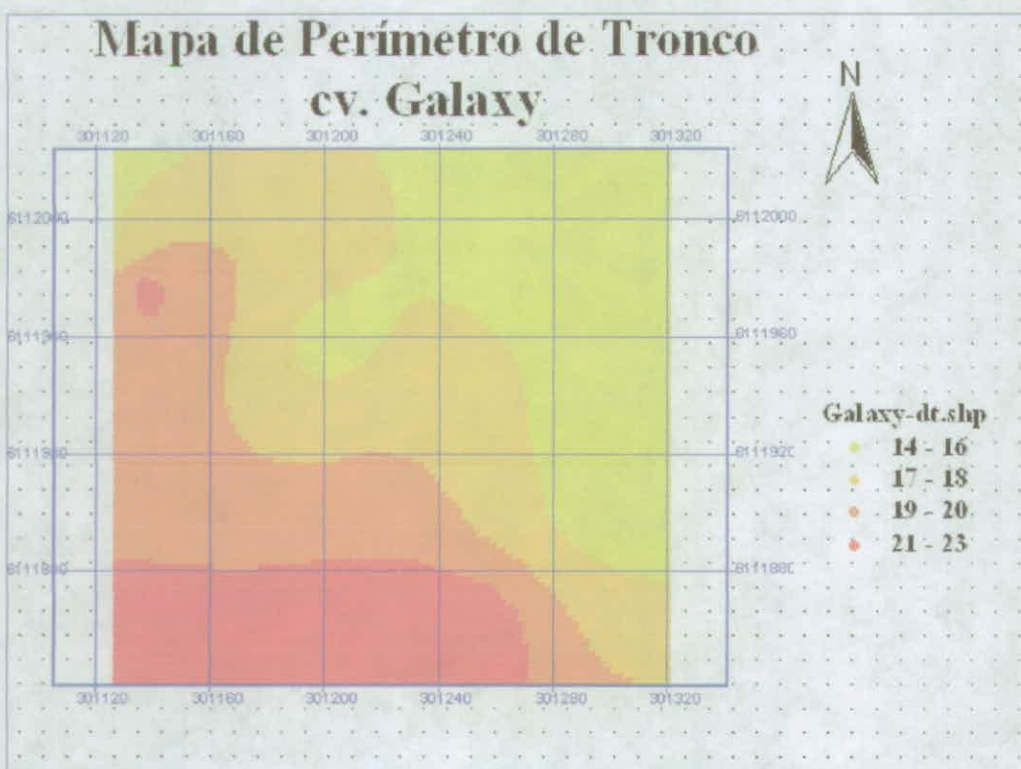
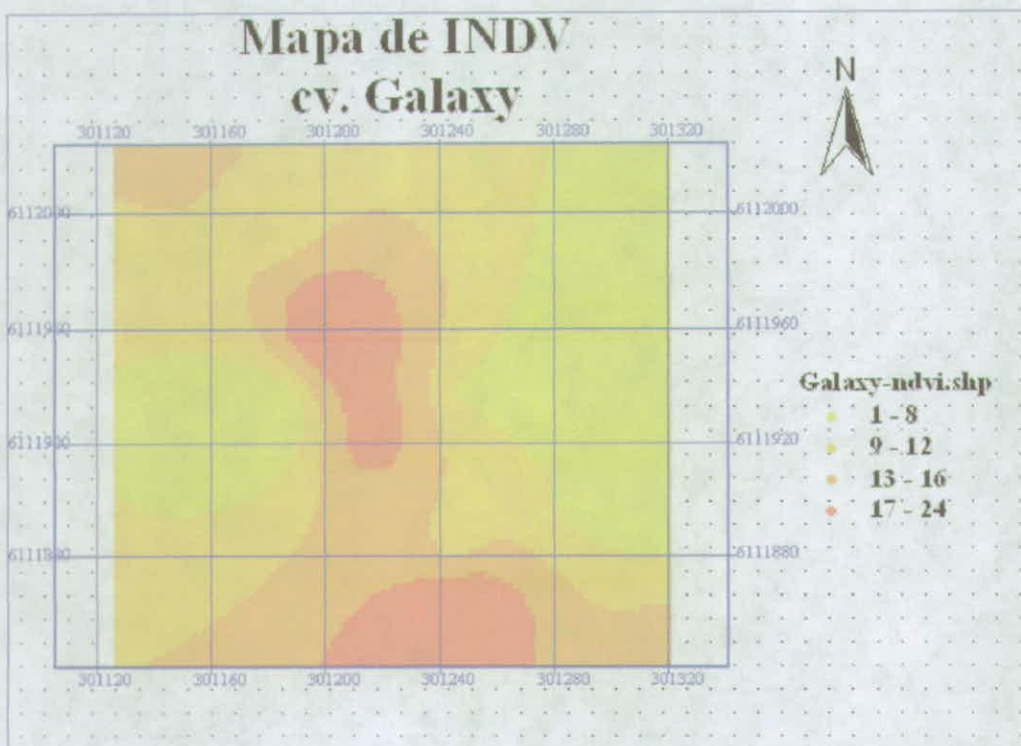


Figura 7.- Mapas de características de vigor, en particular IDVN y Perímetro de tronco, cv. *Galaxy*.

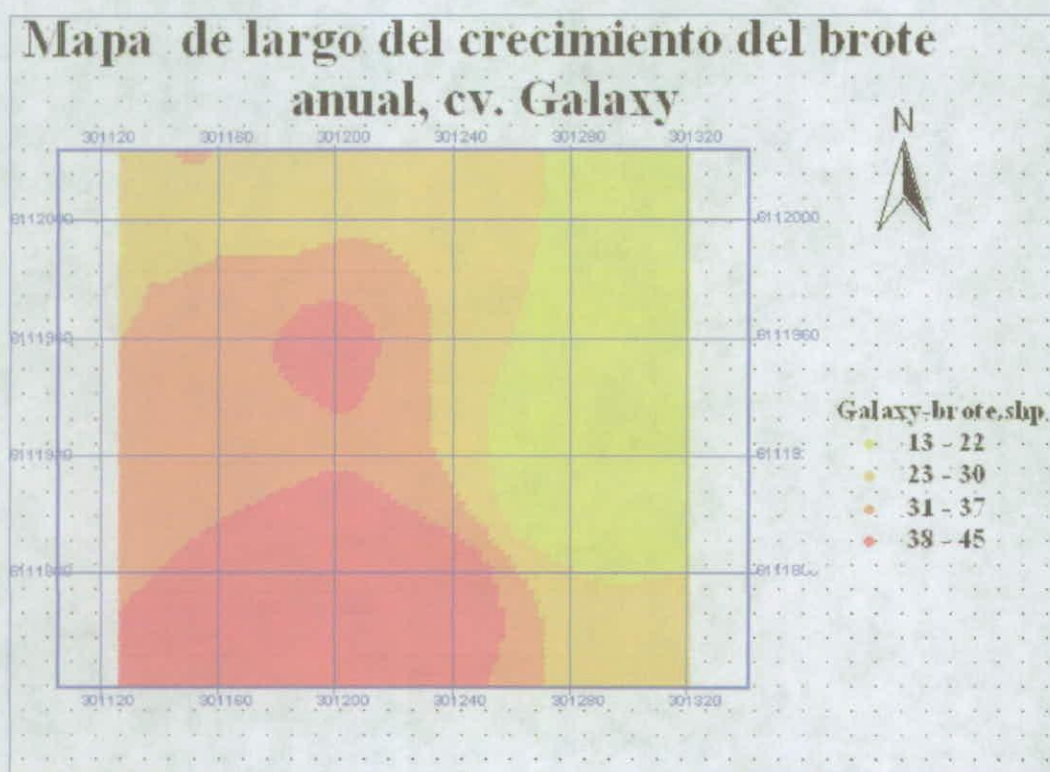
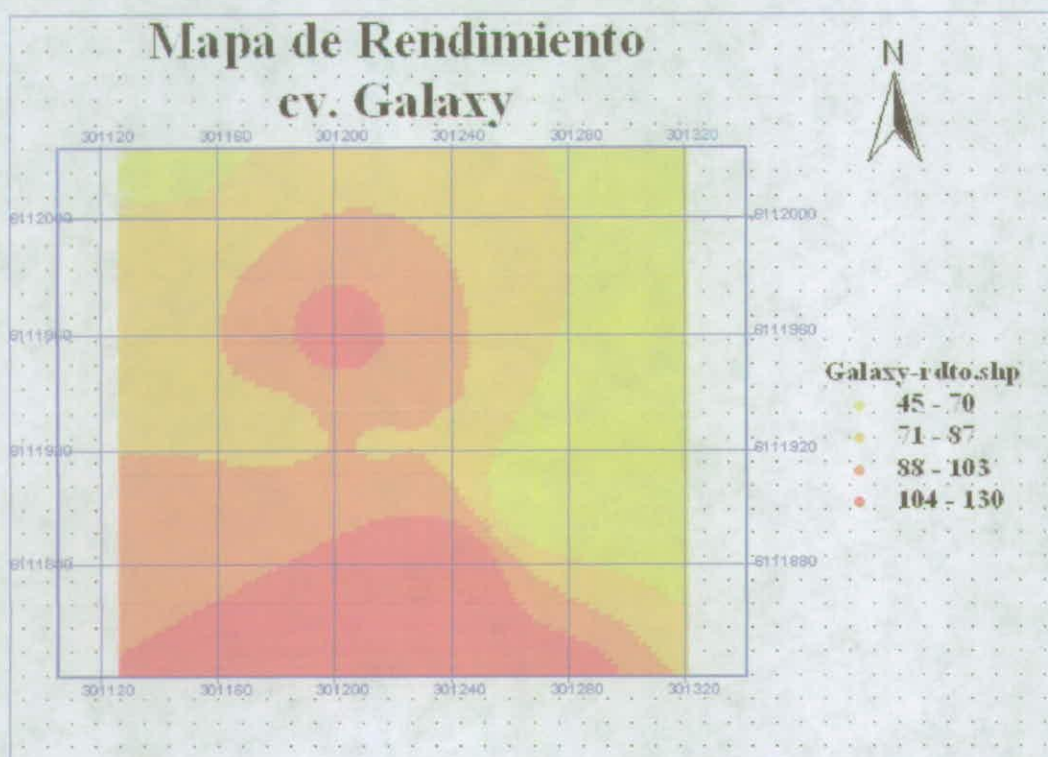


Figura 8.- Mapas de caracterísitcas de vigor, en particular Rendimiento y largo del crecimiento del brote anual, cv. *Galaxy*.

En las figuras se puede apreciar, que al graficar cada variable característica de vigor, y agrupándola por clase de vigor, éstas presentan un comportamiento similar entre ellas, siendo evidente dicha comparación, entre IDVN y rendimiento en la variedad *Royal gala*. De esta misma forma, es que al suavizar la dispersión de datos, y trabajar utilizando los promedios por área de vigor, el aporte que se realiza a la explicación de la variabilidad, en función de esas variables es realzado, como se puede apreciar en el Cuadro 6. Estas relaciones pese al cuestionamiento estadístico que de ellas se podría realizar, por tratarse de análisis con solamente 4 puntos por ajuste, es de utilidad al momento de reafirmar tendencias y patrones de comportamiento, por lo demás esos puntos son originado a partir de promedios de datos obtenidos en 15 puntos de control. Lo anterior concuerda con las experiencias realizadas en vides por Johnson, L.F. *et al.* (2001).

Cuadro 6.- Análisis de regresión entre INDV y variables indicadoras de vigor para tres variedades de manzana, utilizando datos promedio por zona de vigor.

INDV		Análisis de Regresiones (r^2)		
Variedad	Rendimiento	Perímetro tronco	Longitud de brote	Contenido de clorofila
<i>Royal gala</i>	0.76	0.82	0.81	0.58
<i>Galaxy</i>	0.99	0.89	0.79	0.37

En el cuadro 7, se puede apreciar que las variables características de calidad, que en el análisis general solo mostraron relaciones difusas, aumentan su grado explicativo a partir del IDVN. De esta forma, pese a ser el presente un estudio preliminar, se puede afirmar que al realizar un muestreo más abundante y dirigido por zona de vigor, la variabilidad presente en un huerto en términos de vigor y calidad, podría ser explicada a través de modelos dependientes del IDVN espectral, de acuerdo a lo visto por Penn (1999) y Carotheers and Aho, (2000)(2002).

Cuadro 7.- Análisis de regresión entre INDV y variables indicadoras de calidad para tres variedades de manzana, utilizando datos promedio por zona de vigor.

INDV		Análisis de Regresiones (r^2)			
Variedad	Calibre	Firmeza	Sólidos	Color	Color
		Pulpa	solubles	Cubrimiento	Intensidad
<i>Royal gala</i>	0.12	0.36	0.85	0.29	0.67
<i>Galaxy</i>	0.035	0.93	0.48	0.37	0.73

CONCLUSIONES

Los análisis realizados confirmaron la presencia de variabilidad espacio temporal, en los huertos de manzano variedades Royal gala y Galaxy. Esta variabilidad es explicada mediante las variables de vigor: perímetro de tronco, largo de brote y rendimiento, situación que es reforzada al analizar dichas variables agrupadas por zonas de vigor.

El Índice de Vegetación Normalizado (IDVN), proveniente de imágenes multiespectrales, permite establecer a priori de acuerdo al presente estudio, zonas de vigor homogéneo, en huertos de manzano, el cual comparado con variables evaluadas en terreno permite explicar esta variabilidad espacial y separar zonas productivas homogéneas o de patrones similares, tanto a nivel de manejos como de cosecha.

El protocolo utilizado para el análisis estadístico del presente trabajo quedaría validado, no obstante es necesario realizar en futuros trabajos además una integración con conceptos de análisis espacial, como análisis de proximidad y la influencia del entorno sobre la información recabada.

Se requiere reforzar la metodología a nivel de percepción remota mediante la utilización de un mayor número de imágenes multiespectrales y en distintos estados fenológicos. Además es necesario establecer nuevas relaciones utilizando otros índices de vigor que permitan diferenciar de mejor forma la vegetación y el suelo, trabajando con imágenes de píxel mas pequeño o satelitales.

BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Adams M.L., *et al.*, 2000. Using yield maps and intensive soil sampling to improve nitrogen fertilizer recommendations from a deterministic model in the Western Australian wheatbelt. *Australian Journal of experimental Agriculture*, Volume 40, Number 7, pp. 959-968
- 2.- Aho, J.E., 2002. NASA providing new perspectives on vineyard management. *Vineyard Winery Manage*, vol. 28, no. 4, pp. 74_/77.
- 3.- Barrit, B. and Konishi, B. 1993. Influence of apple cultivar and canopy position on fruit spur leaf development within a season. *Fruit Var. J.* 47(1): 5-12.
- 4.- Carothers, J., 2000. Imagery technology meets vineyard management. *Pract. Winery Vineyard*, vol. 21, no.1, pp. 54_/62.
- 5.- Cook S.E. and Bramley R.G.V.1998. Precision agriculture – opportunities, benefits and pitfalls of site-specific crop management in Australia. *Australian Journal of experimental Agriculture*, Volume 38, Number 7, pp.-
- 6.- Choudhury, B. 1987. Relationships between vegetation index, radiation absorption, and net photosynthesis evaluated by sensitivity analysis. *Remote Sensing Environment.* (22):209-233.
- 7.- Diker, K. *et al.*, 2004. Shannon-Wiener's diversity index for linking yield monitor and remotely sensed data for corn. *Transactions of the ASAE.* Vol.47(4): 1347-1354.
- 8.- Esser, A. y Ortega, R. 2002. Aplicaciones de la Viticultura de Precisión en Chile: Estudio de Casos, *Agronomía y Forestal*, N°17 Año 5 – Octubre.
- 9.- Esser, A., *et al.*, 2002 Viticultura de Precisión, Nuevas Tecnologías para mejorar la Eficiencia Productiva en Viñas, *Agronomía y Forestal*, N°17 Año 5 – Octubre.
- 10.- Esser, A. y Ortega, R., 2002. Uso de percepción remota o teledetección para el manejo sitio-específico de viñedos, *Agronomia y Forestal*, N°15 Año 5 – Octubre.
- 11.- Forshey, G. and Elfving, D., 1989. The relationship between vegetative growth and fruiting in apple trees. *Hort. Rev.* 11:229-271.
- 12.- Gitelson, A., and M. Merzlyak. 1997. Remote estimation of chlorophyll content in higher plant leaves. *Int. J. Remote Sensing.* (18):2691-2697.
- 13.- Goel, N.S. 1988. Models of vegetation canopy reflectance and their use in estimation of biophysical parameters from reflectance data. *Remote Sensing Reviews.* (4):1-212.
- 14.- Gross, J., 1991. Pigments in vegetables. Chlorophyls and carotenoids. Published by Van Nostrand Reinhold, New York, 351 pp.
- 15.- Hall, A., *et al.*, 2002. Optical remote sensing applications in viticulture: a review. *Aust. J. Grape Wine Res.* 8, 36_/47.

- 16.- Han, S. and Hendrickson, B., 2002. Comparison of satellite and aerial imagery for detecting leaf chlorophyll content in corn. Transactions of the ASAE. Vol. 45(4): 1229-1236.
- 17.- Holland, D., 1968. The estimation of total leaf area on a tree. Rpt. East Malling Res. Sta. 1967: 101-104.
- 18.- Humburg, D. *et al.*, 2002. Modeling of sugarbeet quality variables from canopy spectral indices in a fertility trial. Transactions of the ASAE. Vol.45(5):1651-1659.
- 19.- Irmak, A. *et al.*, 2002. Relationship between plant available soil water and yield for explaining soybean yield variability. Applied engineering in Agriculture. Vol. 18(4): 471-482.
- 20.- Jackson, J., 1980. Light interception and utilization by orchard systems. Hort. Rev. 2:209-267.
- 21.- Johnson, L. *et al.*, 1996. Airborne Imaging for Vineyard Canopy Evaluation. California Agriculture, Special Issue on Phylloxera 50(4):14-18.
- 22.- Johnson, L.F. *et al.*, 2001. Remote sensing of vineyard management zones: implications for wine quality. Appl. Eng. Agric. 17, 557_/560.
- 23.- Jonhson, L.F. *et al.*, 2002. Mapping vineyard leaf area with multispectral satellite imagery. Computers and Electronics in Agriculture 38, 33 /44.
- 24.- Justice C. *et al.*, 1985. Analysis of the phenology of global vegetation using meteorological satellite data. International Journal of Remote Sensing. (6): 1271-1283.
- 25.- Kitchen, N. *et al.*, 1999. Electrical conductivity as a crop productivity measure for claypan soils. J. Prod. Agric. 12(4): 607-617.
- 26.- Lamb, D. *et al.*, 2001. Airborne remote sensing of vines for canopy variability and productivity. Australian Grapegrower & Winemaker 449:89-92.
- 27.- Lillesand T., and Kiefer R. 1997. Remote Sensing and Image Interpretation. 3th Edition, John Wiley & Sons Inc., 750 pp.
- 28.- Lizaso, J. *et al.*, 2002. Using the normalized difference vegetation index and a crop simulation model to predict soil spatial variability. Transactions of the ASAE. Vol. 45(4):1217-1222.
- 29.- Ormazábal, J., 2001. Determinación del crecimiento vegetativo y reproductivo de manzanos cvs. *Royal gala* y *Red Chief*, en la VII Región. Memoria Ing. Agr. Universidad de Talca. 34 p.
- 30.- Ortega, R., 2002. Agricultura de Precisión, Usos y Potencialidades en Chile Agronomía y Forestal, Año 5 – Octubre.
- 31.- Payero, J. *et al.*, 2004. Comparison of eleven vegetation indices for estimating plant height of alfalfa and grass. Applied engineering in Agriculture. Vol. 20(3): 38-393
- 32.- Penn, C., 1999. Grape growers gravitating toward space age technologies. Wine Business Mon. 6 (2), 53_/56.
- 33.- Plant, R. *et al.* 2000. Relationships between remotely sensed reflectance data and cotton growth and yield. Transactions of the ASAE. Vol.43(3):535-546.

- 34.- Righetti, T. and Halbleib, M., 2000. Pursuing Precision Horticulture with the Internet and a Spreadsheet. Department of Horticulture, Oregon State University, Corvallis OR 97331, HorTechnology, July-September 10 (3).
- 35.- Robert, P. *et al.*, 1995. "Preface." In Proceedings of Site-Specific Management for Agricultural Systems, Minneapolis, Minnesota, pp. xiii-xiv, 27-30 March.
- 36.- Rom, C., 1991. Light thresholds for apple tree canopy growth and development. Hort. Sci. 26(8): 989-992.
- 37.- Schueller, J. K. *et al.*, 1999. Low cost automatic yield mapping in hand harvester citrus. Computers and electronics in agriculture. 23: 145-153.
- 38.- Seidl, M. *et al.*, 2004. Integrating Remotely sensed images with a soybean model to improve spatial yield simulation. Transactions of the ASAE. Vol. 47(6):2081-2090.
- 39.- Tucker, C. *et al.*, 1981. Remote Sensing of total dry-matter accumulation in winter wheat. Remote Sensing of Environment. (11): 171-189.
- 40.- Viscarra, R. *et al.*, 1998. Soil chemical analytical accuracy and costs: implications from precision agricultures. Australian Journal of experimental Agriculture, Volume 38, Number 7, pp.-
- 41.- Villar, D. y Ortega, R., 2002. Medidor de clorofila, Bases teóricas y su aplicación para la fertilización Nitrogenada en cultivos. Agronomía y Forestal, Año 5 – Octubre.
- 42.- Westwood, M. and Roberts, A., 1988. The Relationship Between Trunk Cross-sectional Area and Weight of Apple Trees, J. Amer. Soc. Hort. Sci.)5 (1): 28 – 30
- 43.- Wildman, W. *et al.*, 1983. Monitoring spread of grape phylloxera by color infrared aerial photography and ground investigation. Am. J. Enol. Viticultura 34, 83-94.
- 44.- Wünsche, J. *et al.*, 1996. The bases of productivity in apple production systems. The role of light interception by different shoot types. J. Am. Soc. hort. Sci. 121: 886-893.
- 45.- www.ext.nodak.edu/extpubs/plantsci/soilfert/sf1176-1.htm
- 46.- Yang, S. *et al.*, 2000. Mapping grain sorghum growth and yield variations using airborne multispectral digital imagery. Transactions of the ASAE. Vol.43(6):1927-1938.
- 47.- Yang, S. *et al.*, 2001. Airborne multispectral imagery for mapping variable growing conditions and yields of cotton, grain sorghum, and corn. Transactions of the ASAE. Vol. 44(6): 1983-1994.
- 48.- Yang, S. *et al.*, 2003. Evaluation of cotton defoliation strategies using airborne multispectral imagery. Transactions of the ASAE. Vol. 46(3): 869-876.
- 49.- Yoder, B. and R. Pettigrew-Crosby. 1995. Predicting Nitrogen and chlorophyll content and concentrations from reflectance spectra (400-2500 nm) at leaf and canopy scales. Remote Sensing of Environment. (53):199-211.
- 50.- Yuri, J.A. 1997. Consideraciones en relación a la poda y manejo de canopia en pomáceas. Rev. Frutícola 18 (2): 41-57.

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCION
FACULTAD DE AGRONOMIA**



**ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD ESPACIAL DE RENDIMIENTO Y
CALIDAD DE FRUTOS UTILIZANDO EL INDICE DE VEGETACIÓN
DEFERENCIAL NORMALIZADO (NDVI) EN HUERTO DE MANZANO
VARIEDAD ROYAL GALA**

POR

RODRIGO ALEXI QUINTANA LOYOLA

**MEMORIA PRESENTADA A LA FACULTAD
DE AGRONOMIA DE LA UNIVERSIDAD DE
CONCEPCIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO
DE INGENIERO AGRÓNOMO**

CHILLAN – CHILE

2005

Aprobada por:

Profesor Asistente, Juan Alberto Barrera
Ing. Agrónomo, M. Sc.

Guía

Profesor Titular, Eric Zagal.
Ing. Agrónomo. M. Sc. Ph. D.

Asesor

Stanley Best S.
Ing. Agrónomo
CRI Quilamapu, INIA.

Asesor

Profesor Titular, Alfredo Vera M.
Ing. Agrónomo

Decano

TABLA DE CONTENIDOS

	Página
Resumen	1
Summary.....	1
Introducción	3
Materiales y Métodos	5
Resultados y Discusión	10
Conclusiones	15
Referencias	18

INDICE DE FIGURAS Y TABLAS**Página**

Figura 1: Plano NDVI mes de noviembre, año 2004

Figura 2: Plano NDVI mes de febrero, año 2005

Tabla 1: Ubicación de los puntos muestrales según clase de vigor.

Figura 3: Plano de ubicación de los puntos muestrales

Figura 4. Plano de cosecha 10 febrero 2005.

Figura 5 Plano de cosecha 28-29 de febrero.

Figura 6. Área de influencia de los bins, utilizando los polígonos de Thiessen.

Figura 7 Curva de crecimiento de los brotes.

Figura 8. Curva de crecimiento de los frutos.

Tabla 2. Cuadro resumen de rendimientos según zona de vigor.

Figura 9. Rendimiento de los árboles según zona de vigor

Tabla 3. Regresión espacial obtenido de los parámetros de calidad con su respectivo NDVI.

Figura 10. Desarrollo de conectividad espacial entre la información de terreno y plano de NDVI.

Tabla 4. Ganancia total por zona de vigor.

Figura 11 Distribución de ganancia por árbol según zona de vigor.

ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD ESPACIAL DE RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FRUTOS UTILIZANDO EL ÍNDICE DE VEGETACIÓN DIFERENCIAL NORMALIZADO (NDVI) EN HUERTO DE MANZANO VARIEDAD ROYAL GALA

Analysis of the space variability of yield and quality of fruits using the index of vegetation normalized diferencial (NDVI) in orchard de apple variety Royal Gala.

Palabras índice adicionales: Planos de cosecha, Polígonos de Thiessen, Autocorrelación espacial, Prueba de Moran, Sitio específico.

RESUMEN

En la temporada 2004-2005 se analizó la variabilidad espacial de rendimiento y calidad de frutos utilizando el Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI) en un huerto de manzano variedad Royal Gala. Se midieron características vegetativas y de fructificación. La zona de vigor alto presentó mayor crecimiento vegetativo, pero con frutos de inferior calidad que aquellos vigores más bajos. Se construyeron planos de cosecha, derivado de la posición espacial de los bins en el huerto, los cuales conformaron polígonos irregulares, encontrándose los de mayor área en aquellas zonas de vigor medio y bajo. El índice de Moran obtenido de la evaluación de los rendimientos por árbol fue de 0,62, permitiendo así realizar regresión espacial entre el rendimiento por árbol y su correspondiente NDVI, obteniendo un $R^2=0,92$ ($P\leq 0,05$). Con respecto a la relación entre NDVI y los parámetros de calidad de frutos, se observaron buenas correlaciones entre el NDVI, con el calibre y sólidos solubles de los frutos ($P\leq 0,05$), mientras que las otras variables de calidad (firmeza de pulpa y color de cubrimiento) no presentaron correlaciones significativas. En cuanto a la evaluación económica, las zonas de alto vigor presentaron mayor rentabilidad. Con los resultados obtenidos se pudo identificar las zonas de distinto vigor con el objetivo de realizar un manejo agronómico diferenciado, para obtener una mayor rentabilidad.

SUMMARY

En la temporada 2004-2005 se analizó la variabilidad espacial de rendimiento y

Las diferencias espectrales de la cobertura terrestre, específicamente vegetal, pueden ser procesadas cuantitativamente mediante el cálculo de Índice de Vigor (IV), utilizados para discriminar masas vegetales según su comportamiento radiométrico (Chuvieco, 1996).

Existen numerosos índices de vigor, dentro de los cuales uno de los más utilizado en aplicaciones agronómicas es el Índice Diferencial de Vigor Normalizado o Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), que tiene estrecha relación con la fracción fotosintéticamente activa en los rangos rojo (R) e infrarrojo cercano (IRc), con longitudes de onda entre 0,6 a 0,7 μm y 0,7 a 1,1 μm , respectivamente (Maccioni *et al.*, 1999).

Si la vegetación sufre algún tipo de estrés, su reflectividad será menor en el IRc y mayor en el R, lo que se expresará en un bajo valor de NDVI; por el contrario, si estamos presente a una vegetación fotosintéticamente activa, es decir, en plantas sanas y vigorosas la reflectividad será mayor en el IRc que en el R, obteniéndose un alto valor de NDVI, por esta característica, la diferencia entre el espectro reflejado, permite evaluar la biomasa de una plantación (López, 1978).

El valor del NDVI se calcula a través de la ecuación: $\text{NDVI} = (\text{IRc} - \text{R}) / (\text{IRc} + \text{R})$, entregando valores entre -1 y +1, correlacionándose directamente con la biomasa o vigor de la planta. (Chuvieco, 1996),

El NDVI permite explicar diversas variables indicadoras de vigor, como rendimiento (Basso *et al.* 2000), ciclo fenológico del cultivo (Dymond, *et al.* 2002), índice de área foliar (IAF) (Casanova *et al.*, 1998, Vargas *et al.*, 2002, Johnson *et al.*, 2003), además de ser utilizado para el rediseño de viñas (Hall, 2003), identificación de problemas relacionados a riego (Lebon, *et al.*, 2003), plagas y enfermedades (Wildman *et al.*, 1983, Johnson *et al.*, 2001). Por otro lado, estudios recientes en frutales han demostrado una relación entre calidad e imagen, asociando el IRc con las rendimientos obtenidos por área (Tindall, 2001)

La variabilidad espacial en huertos frutales de manzanos es indudablemente una realidad, sin embargo, en la mayoría de los casos el manejo del huerto es uniforme y no considera la heterogeneidad de los factores que inciden en la producción; por esto se requiere de un manejo diferenciado en términos de

manejo agronómico, de manera tal de alcanzar el potencial productivo sobre la base de la nutrición y calidad requerida por el mercado.

Es así como los objetivos de la presente investigación fueron utilizar el NDVI como herramienta para la evaluación espacial de rendimiento y calidad de frutos en huerto de manzano variedad Royal Gala y además estimar el impacto económico producto de la heterogeneidad del huerto.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio.

El estudio se llevó a cabo en la temporada 2004-2005 en la propiedad de la Sociedad Agrícola San Manuel Ltda., ubicada camino a Los Niches Km. 15, Curicó, VII Región, siendo las coordenadas de ubicación del predio: S35° 1,5' W70° 57,2'.

El cuartel data del año 1996 por lo que está en plena fase de producción, comprendiendo un total de 4,9 hectáreas, con un marco de plantación de 3,5x2m. Los árboles han sido conducidos en sistema solaxe e injertados sobre portainjerto MM111.

El suelo presente corresponde a la serie Limanque, de textura franco arenoso muy fino, de origen aluvial, derivado de cenizas volcánicas y posee un color pardo muy oscuro. También presenta topografía plana, de permeabilidad moderadamente rápida y bien drenado, con escurrimiento superficial lento. (Del Pozo y Del Canto, 1999).

La zona posee un clima Mediterráneo, con la variante de agroclima Talca, con un régimen térmico que se caracteriza por una temperatura media anual de 14,9 °C, con máximas medias del mes de enero de 30,8°C y mínimas medias de 3,8°C en el mes más frío de Julio. La suma anual de temperaturas, base 5°C, es de 3.598 grados-días y base 10°C, de 1.854 grados-días. Las horas de frío desde marzo a noviembre llegan a 1.018 y la temperatura media anual se mantiene sobre los 8°C. Por último el régimen hídrico se caracteriza por una precipitación anual de 735 mm, siendo el mes más lluvioso junio (Del Pozo y Del Canto, 1999).

Determinación de planos NDVI. Se utilizaron dos imágenes aéreas multiespectrales; que se adquirieron en el mes de noviembre del año 2004 (Figura

1) y febrero del 2005 (Figura 2). Con estas imágenes se obtuvo el NDVI correspondiente a cada una de ellas, clasificándolas en tres clases de vigor (alto, medio y bajo vigor).

La imagen del año 2004 se utilizó para asignar el lugar del ensayo e identificar los puntos de monitoreo, y la correspondiente al año 2005 se utilizó para determinar el rendimiento y calidad de frutos según las zonas de vigor.

Figura 1: Plano NDVI mes de Noviembre, año 2004

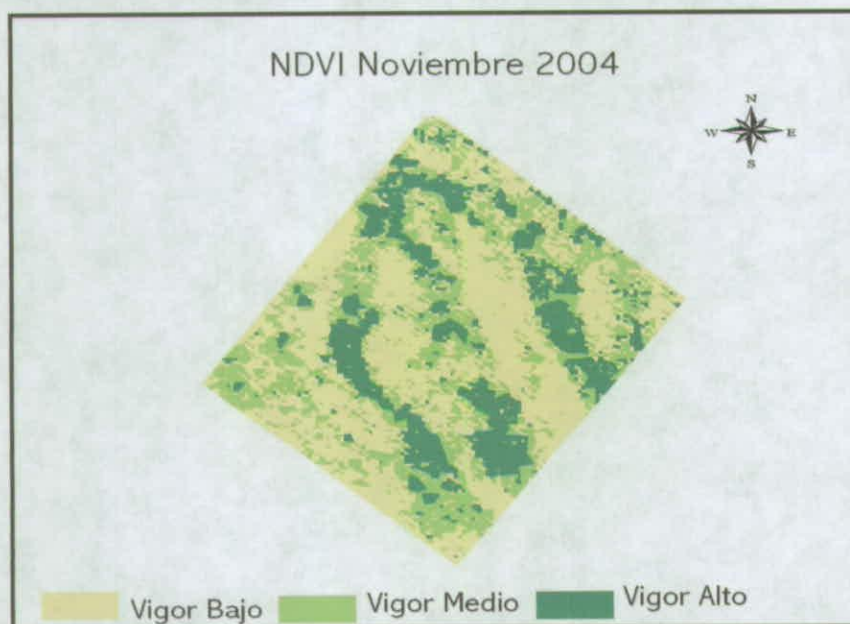
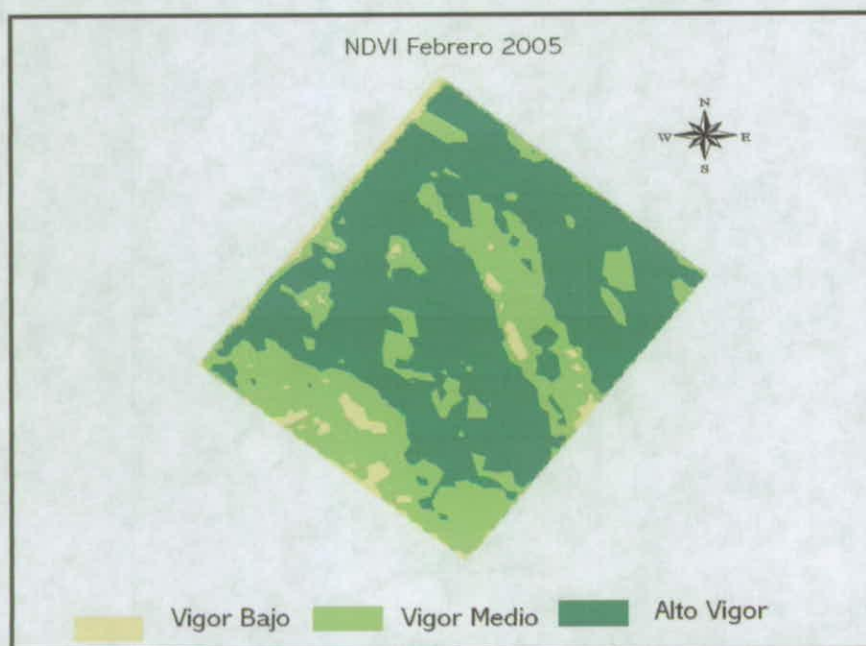


Figura 2: Plano NDVI mes de febrero, año 2005



Definición técnica de la imagen obtenida. Para la obtención de las imágenes multiespectrales se utilizó una cámara multiespectral DuncanTech Modelo MS3100, la que fue montada en un avión cesna. La altitud de vuelo fue de 1.000 m, con la cual se obtuvo imágenes con una cobertura horizontal de 195 m por 250 m, con una resolución de imagen de 0,5 m por píxel (Duncan Technologies, Inc. 1999).

Sistema de posicionamiento. Se elaboró un sistema de información geográfica (SIG) en el cual se almacenó la información obtenida de la imagen, como cantidad de hileras y árboles por hilera presente en el cuartel, método que permitió la ubicación precisa dentro del huerto, facilitando estudios posteriores. Todo aquello se realizó mediante el programa computacional Arc View GIS versión 3.2.

Localización de puntos de monitoreo. Se seleccionaron 18 puntos de monitoreo, cada uno de éstos formado por 2 árboles, con el objetivo de evaluar el rendimiento y calidad de frutos, según clases de vigor. (Tabla 1).

Para seleccionar los puntos muestrales se tomó como base el plano NDVI del año 2004, que luego fueron localizados en terreno y elaborados en laboratorio mediante el programa Arc View GIS versión 3.2 (Figura 3).

Tabla 1: Ubicación de los puntos muestrales según clase de vigor.

Vigor	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Hilera	9	12	19	31	31	31	38
Árbol	34_35	50_51	23_24	23_24	30_31	9_10	30_31
Vigor	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	
Hilera	3	6	12	13	20	38	
Árbol	18_19	23_24	70_71	13_14	28_29	39_40	
Vigor	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto		
Hilera	17	19	41	47	54		
Árbol	17_18	13_14	21_22	29_30	14_15		

Figura 3. Plano de ubicación de los puntos de monitoreo en el cuartel.



Evaluación de los puntos muestrales. Con la finalidad de integrar y relacionar la información espectral con la información real obtenida en terreno, fueron evaluados los puntos muestrales, midiendo características vegetativas y de fructificación, registrando así el desarrollo de los árboles seleccionados, desde la cuaja de los frutos hasta la cosecha. Las fechas de muestreo fueron: 16/11/2004, 07/12/2004, 30/12/2004 y 20/01/2005.

a) Características vegetativas. Se realizaron mediciones de largo de brotes, para lo cual se seleccionó una brindilla ubicada a una altura de 1,5 m., realizando cuatro mediciones por planta, orientado a los puntos cardinales, a partir de los cuales se calculó el valor medio. El brote seleccionado correspondió al más cercano al fruto, todas estas mediciones se realizaron con un instrumento mecánico que mide diámetros y espesores (pié de metro).

b) Características de fructificación. Se seleccionaron cuatro frutos por árbol, dispuestos en los puntos cardinales. Cada fruto seleccionado se marcó con una etiqueta, donde se identificó la hilera y el número de árbol correspondiente; realizando mediciones de diámetro ecuatorial.

c) **Evaluación de variables de rendimiento y calidad de los frutos al momento de cosecha.** En esta etapa se cosecharon todos los frutos de cada punto muestral, donde se realizó el conteo de frutos y peso total. Posteriormente se extrajo una submuestra correspondiente al 25% del peso total y se analizaron parámetros de calidad como: calibre, color, sólidos solubles, firmeza de pulpa y color de cubrimiento.

El calibre se obtuvo midiendo el diámetro ecuatorial de los frutos con un pie de metro digital tabulado mm. La fruta analizada se subdividió en cuatro rangos, contabilizando el número y porcentaje total de frutos perteneciente a cada uno de los puntos muestrales.

Tabla 2: Distribución de Rango - Calibre de frutos por punto de monitoreo.

RANGOS - CALIBRE	Nº	%
RANGO 1 (CALIBRE 72-88)		
RANGO 2 (CALIBRE 100-138)		
RANGO 3 (CALIBRE 150-198)		
RANGO 4 (B/C - S/C)		
	Nº	100

B/C= Bajo calibre.

S/C= Sobre el calibre.

Para obtener los valores de firmeza de pulpa se realizaron dos mediciones en cada fruto , en puntos opuestos en la zona ecuatorial del fruto, utilizando un presionómetro marca Veto, con vástago de 11 mm.

Para la evaluación del contenido de Sólidos solubles, en cada fruto se utilizó un refractómetro de marca Veto.

En cuanto a la determinación del color de cubrimiento, éste fue clasificado en cuatro rangos según el porcentaje de cubrimiento de color en cada fruto (Tabla 3)

Tabla 3: Distribución de color de cubrimiento de la fruta analizada de los puntos muestrales, en porcentaje (%).

Color Cubrimiento %			
0-25 (1)	26-50 (2)	51-75 (3)	>75 (4)

Evaluación de planos de cosecha.

a) Procedimiento en campo. Durante el período de cosecha, se ubicó espacialmente cada bins (estacionario al piso), identificándolo según las coordenadas hilera y árbol que presente su posición. En esta etapa se obtuvieron dos planos de cosecha; el primero plano se cosechó el 10 de febrero (Figura 4) y el segundo se cosechó entre el 28-29 de febrero (Figura 5).

Los periodos de cosecha se diferenciaron por el estado de madurez que presentaba la fruta en ese momento. En la primera cosecha se extrajo la fruta que cumplía los requisitos de calibre y color para ser cosechada. En la segunda cosecha se extrajo toda la fruta de los árboles.

Figura 4. Plano de posición de los bins durante la cosecha, 10 febrero del año 2005.

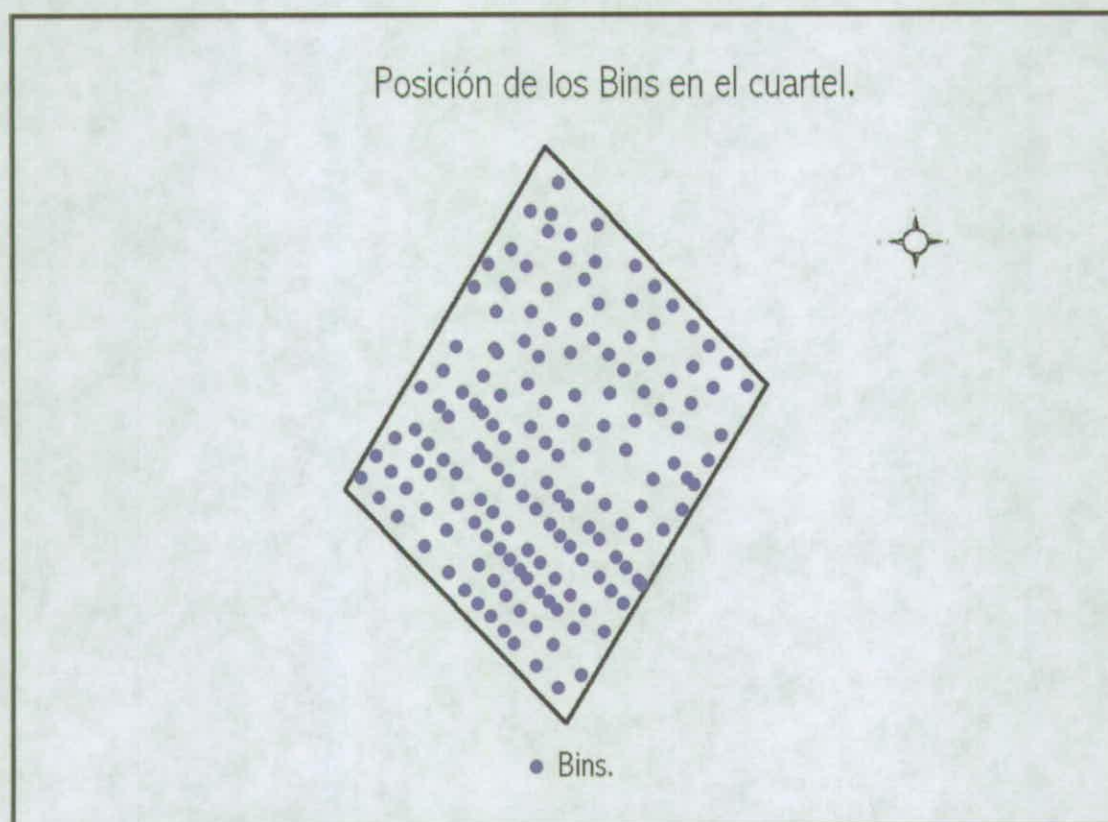
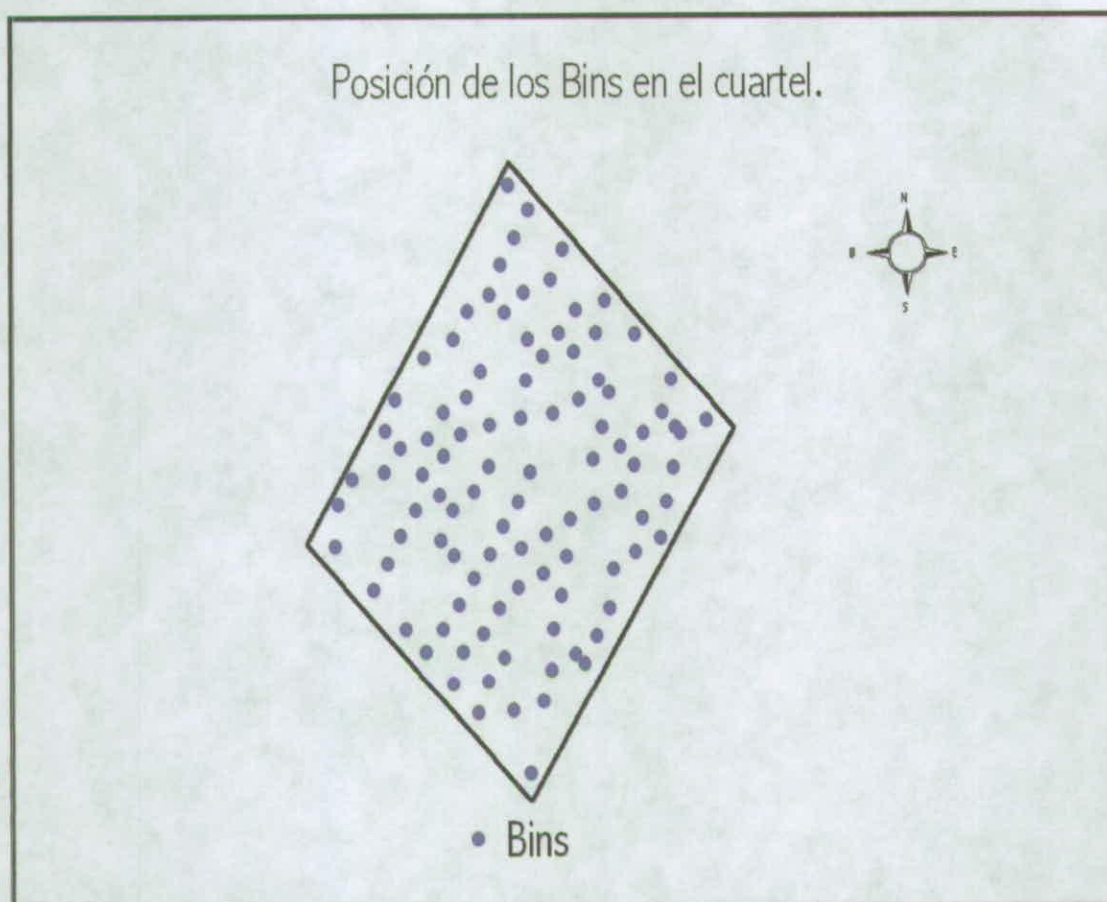


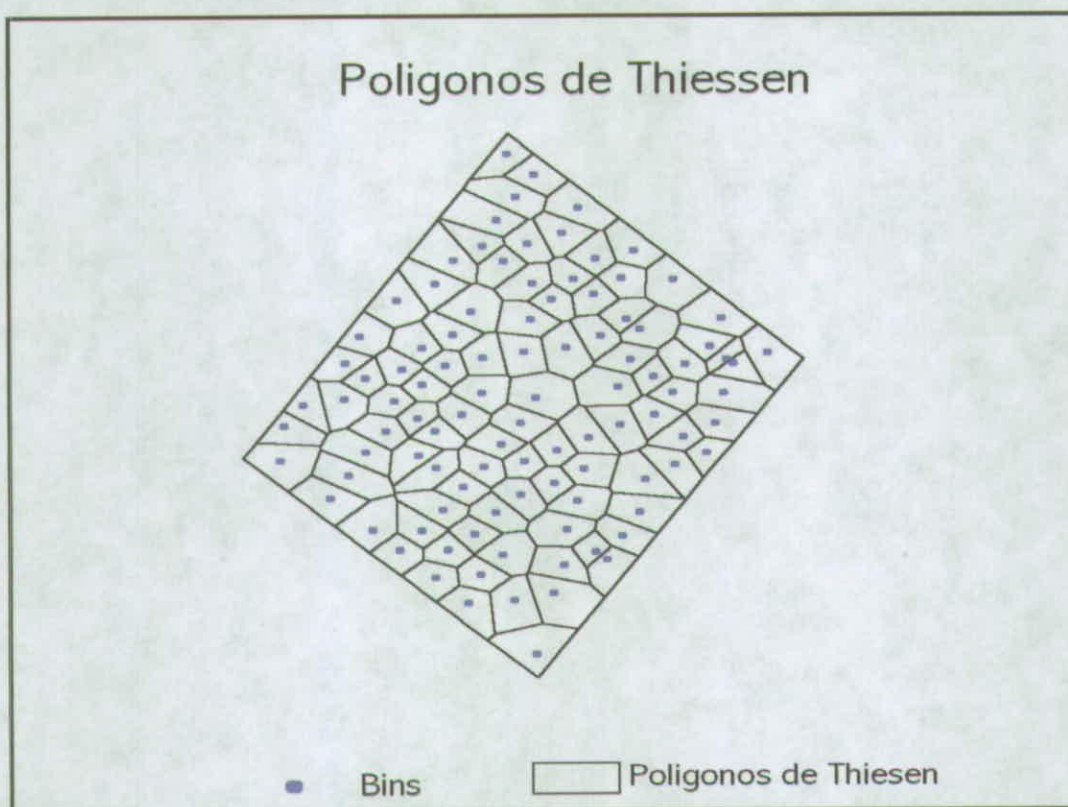
Figura 5 Plano de posición de los bins durante la cosecha, 28-29 de febrero del año 2005.



b) Procedimiento en laboratorio. Con las coordenadas de terreno que indicaban la posición de los bins en el cuartel y superpuestas sobre el plano de NDVI del mes de febrero del año 2005, se determinó el área de influencia de cosecha de cada bins, mediante la metodología de polígonos de Thiessen. Este es un método de interpolación sencilla que construye polígonos mediante las bisectrices de las líneas que une puntos más próximos (Bosques,. 1997).

Una vez obtenidos los polígonos se calculó la cantidad total de árboles asociados a cada bins (Figura 6). De éste modo, el rendimiento por árbol fue calculado como el valor promedio entre los árboles asignados por bins y el peso de éste.

Figura 6. Área de influencia de los bins, utilizando los polígonos de Thiessen.



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 utilizó el índice de Moran (Chou 1997). Se presenta autocorrelación o dependencia espacial cuando existe una relación funcional entre lo que ocurre en un punto determinado en el espacio y lo que ocurre en otro lugar. (Moreno *et al.*, 2002).

La autocorrelación espacial puede ser positiva o negativa, donde sus valores fluctúan entre -1 a 1 . Si la presencia de un fenómeno determinado en una región lleva a que se extienda ese mismo fenómeno hacia el resto de las regiones que lo rodean, favoreciendo así la concentración del mismo, entonces se está en un caso de autocorrelación positiva en las regiones vecinas a ellas. Por el contrario, existirá autocorrelación negativa cuando la presencia de un fenómeno en una región impida o dificulte su aparición en lugares vecinos. (Moreno *et al.*, 2002).

Sobre la base de los resultados anteriores y bajo el concepto de espacialidad de la información, se realizó una regresión espacial utilizando el modelo LAG para evaluar las relaciones entre rendimiento por árbol y su NDVI correspondiente. El modelo LAG, es una regresión de tipo lineal que considera la espacialidad de las variables. (Anselin, 2004). Para estos análisis se utilizó el software Geoda de la Universidad de Illinois

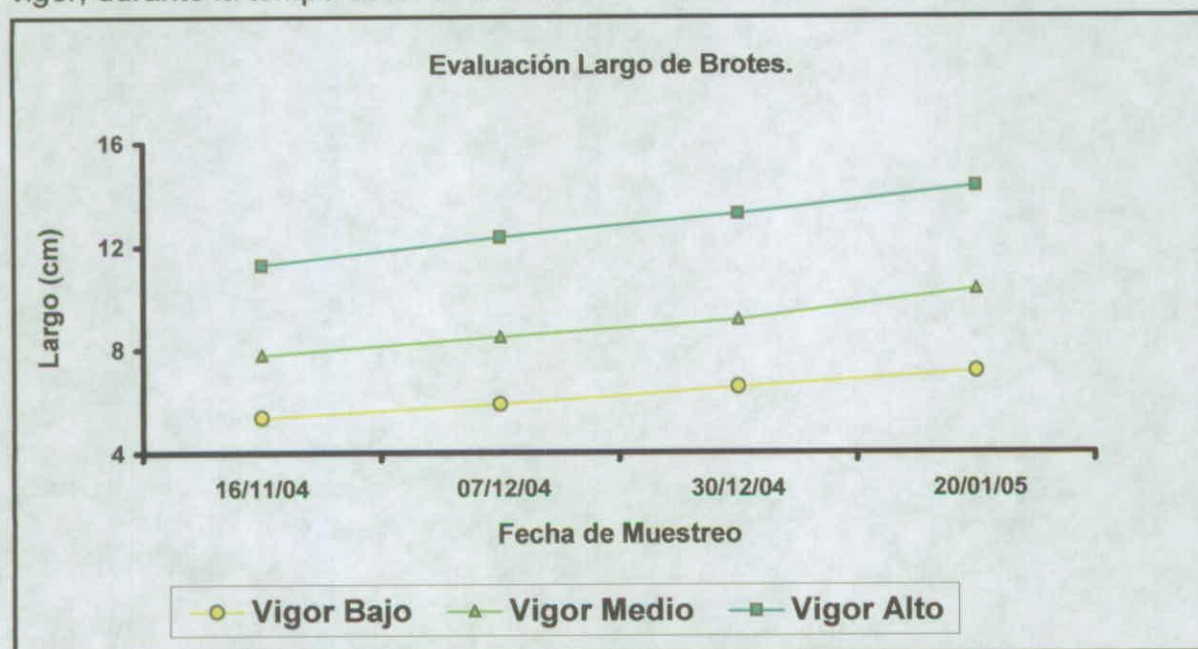
Evaluación económica. Se estimó la rentabilidad del huerto en base a los rendimientos espaciales y distribución de calibre por zonas de vigor. Los calibres se distribuyeron en 4 rangos, donde cada rango se valorará en dólares (US\$), según la distribución de calibres por punto de monitoreo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Seguimiento de los puntos muestrales.

a) **Características vegetativas.** En cuanto al crecimiento de los brotes durante la temporada, los resultados muestran una curva de tipo exponencial, observándose una marcada diferencia entre las zonas de vigor, como también una alta relación entre el desarrollo de los brotes y la zona de vigor en la que se encuentran (Figura 7), coincidiendo con lo señalado por Razeto (1992) , quien indica que los árboles vigorosos tienen mayor crecimiento vegetativo.

Figura 7. Diferencias de crecimiento de los brotes (cm), en las distintas zonas de vigor, durante la temporada de monitoreo.



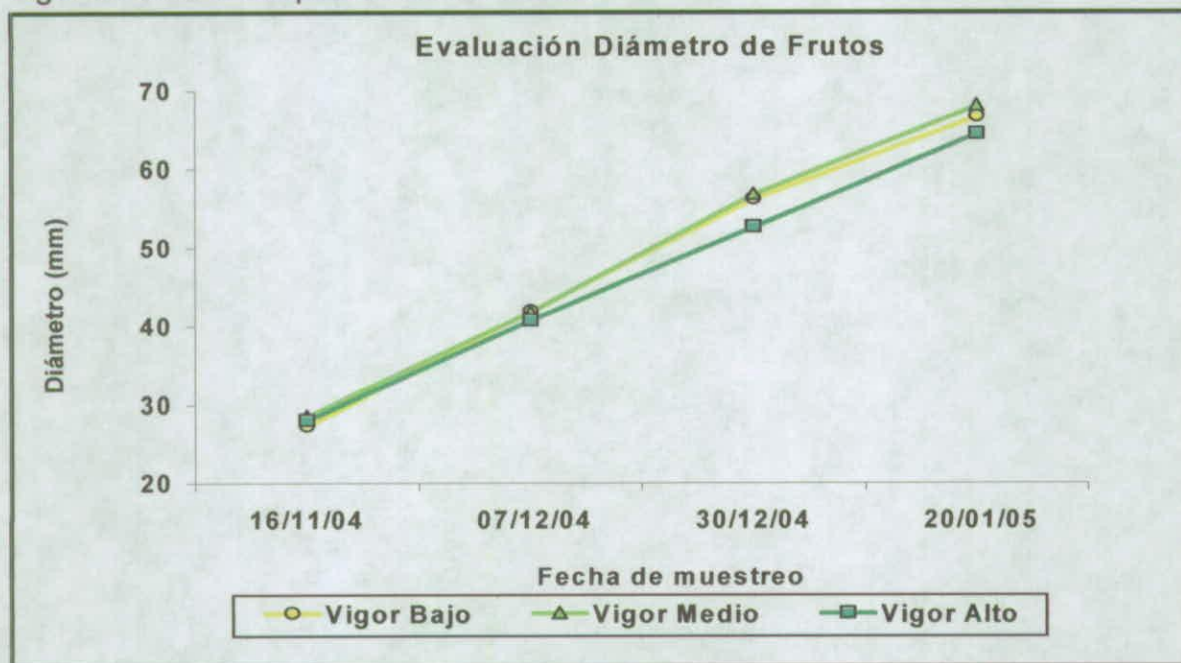
b) Características de fructificación. Los resultados obtenidos muestran que el crecimiento de los frutos durante la temporada fue constante y siguió la misma tendencia para cada una de las zonas de vigor (Figura 8).

Las curvas de crecimiento siguen una forma de tipo exponencial, lo que se contrapone con otras investigaciones en las cuales se han descrito curvas sigmoideas para este tipo de análisis (Westwood, 1982.). Esta diferencia de comportamiento de las curvas se podría explicar debido a la tardía fecha de inicio de muestreo y a la baja cantidad de mediciones que se realizaron durante la temporada.

Las diferencias de diámetros de frutos entre las zonas de vigor son mínimas, encontrándose los mayores calibres en las zonas de vigor medio y bajo (Figura 8),

Según lo señalado por Razeto (1992), estas diferencias de calibre se pueden atribuir a que las yemas florales más fértiles se ubican en árboles y sectores del mismo con mayor iluminación, y el exceso de vigor involucra una serie de desordenes fisiológicos, que impiden obtener un buen calibre.

Figura 8: Diferencias de crecimiento de los frutos (mm), en las distintas zonas de vigor durante la temporada de monitoreo.



Evaluación de planos de rendimiento. El desarrollo de los planos de

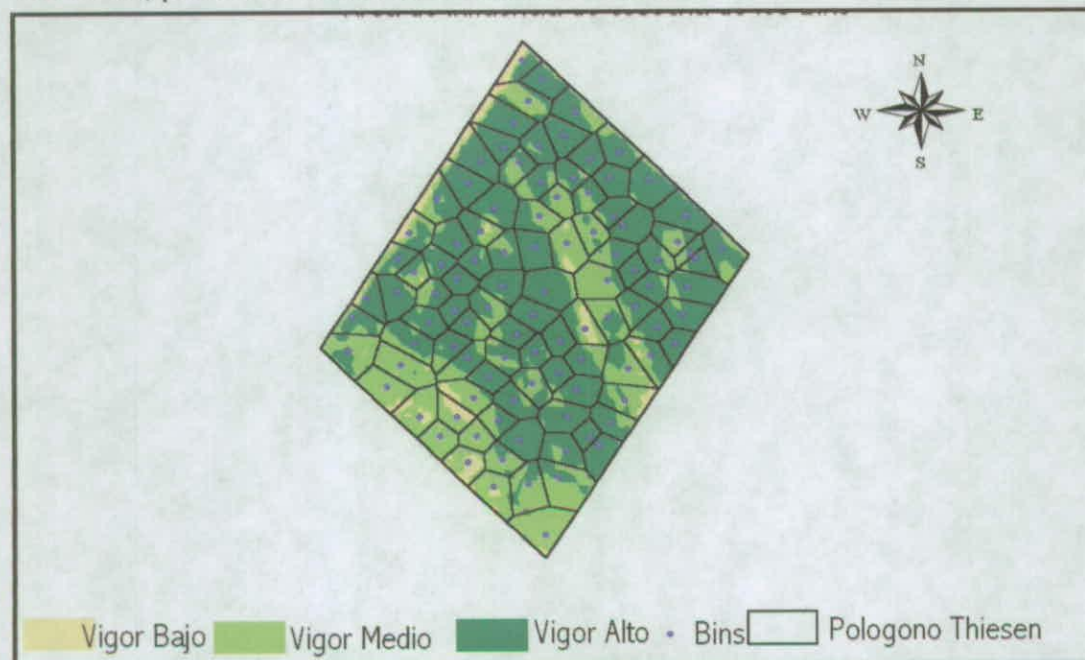
rendimiento se realizaron sobre la base de la ubicación espacial de los bins, asociados al árbol más cercano, donde el área de influencia de cada uno de ellos se determinó por medio de la metodología de Polígonos de Thiessen, permitiendo así obtener el rendimiento por árbol y por lo tanto el rendimiento total del cuartel (Figura 9).

De lo señalado anteriormente, los polígonos formados presentan áreas irregulares uno del otro, dado a la distancia que separa a los bins.

Al relacionar las áreas formadas con los vigores del cuartel, se puede distinguir que los polígonos de mayor área están ubicados en las zonas de menor vigor, debido a que las áreas de influencia de los bins están determinadas por la cantidad de fruta presente en los árboles, por el contrario, los polígonos de menor tamaño se encuentran en las zonas de mayor vigor, dejando claramente definidas las relaciones de rendimiento y su asociación con las zonas de vigor, que serán fundamentadas estadísticamente más adelante.

En total se cuantificaron 259 bins durante la cosecha, formando así igual **números de polígonos de áreas irregulares**, con un rendimiento total del cuartel de 89.348 kg. Los rendimientos de los árboles fluctuaron entre 10 y 36 Kg, los cuales fueron clasificados en 3 rangos según clase de vigor (Tabla 2).

Figura 9: Área de influencia de los bins utilizando la metodología de Polígonos de Thiessen, para determinar la cantidad de árboles asociada a cada uno de ellos.



En la Tabla 2 se presentan los rendimientos totales por zona de vigor, en la cual no se aprecian diferencias entre las zonas de vigor medio con la zona de bajo vigor, no obstante, la zona de vigor alta fue la que presentó mayor rendimiento, como también mayor superficie en el cuartel en comparación a las otras áreas (Figura 9).

Tabla 2. Cuadro comparativo de los rendimientos obtenidos según zona de vigor.

Vigor	Número de Árboles	Rango (kg)	Área (m ²)	Rendimiento Total (Kg)
Bajo	1363	10-15	13779,292	23440
Medio	1241	16-19	12225,011	22491
Alto	2380	20-36	23301,272	43417
Total	4984		49305,575	89348

Figura 9. Rangos de rendimiento de los árboles (kg), en las tres zona de vigor.



El alto vigor de los árboles tiene un efecto positivo en el rendimiento de éstos, en comparación con otros de menor vigor, tal como se ha descrito en viñas (Bramley, 2001), pero a su vez el mayor vigor provoca un exceso de sombra tanto dentro de cada árbol como entre árboles vecinos, por lo que disminuye la formación de flores y el cuajado de frutos (Razeto, 1992). En el presente estudio las áreas señaladas de alto vigor no presentan un vigor excesivo, debido al sistema de conducción tipo solaxe implementado en el huerto, que permite una mayor entrada de luz y en consecuencia una estimulación de las yemas florales.

La aplicación de la metodología de los polígonos de Thiessen es una herramienta esencial para identificar y cuantificar el área de incidencia de los bins durante la cosecha, como también para cuantificar el rendimiento por árbol en el huerto. Esto se respalda por estudios realizados por Schueller, *et al.*, (1999), en cítrico, señalando que los mapas de rendimiento se construyen sobre la base de bloques o polígonos, donde cada uno de ellos se diferencian por el rendimiento.

Evaluación de correlación entre los planos de cosecha y de NDVI.

La Tabla 2 y la Figura 9 permite dilucidar la existencia de variabilidad en el rendimiento del cuartel según las zonas de vigor, por esta misma razón se busca correlaciones de rendimiento y calidad de frutos con los planos de NDVI.

El índice de Moran obtenido de la evaluación de los rendimientos por árbol fue de 0,62; indicando que existe autocorrelación o dependencia espacial entre las variables antes mencionadas permitiendo continuar el análisis espacial de la información.

Posteriormente se obtuvo el valor de correlación espacial para ajustar el modelo entre el rendimiento por árbol y su correspondiente NDVI, obteniendo un $R^2=0,92$ ($P \leq 0,05$). Este resultado permite validar el uso del NDVI para poder ser utilizado en la estimación de rendimiento del cuartel según zonas de vigor.

Evaluación de correlación entre los planos de calidad y de NDVI.

Se realizó la prueba de Moran a los parámetros de calidad, obteniendo un índice de 0,2, éste valor indica que existe autocorrelación o dependencia espacial entre las variables, permitiendo así realizar una regresión espacial entre los parámetros de calidad con su NDVI correspondiente.

En vista de los resultados obtenidos de la Tabla 3, el NDVI correlaciona positivamente con los parámetros de calibre y sólidos solubles de los frutos analizados ($P \leq 0,05$), en cambio con los otros parámetros de calidad (firmeza de pulpa y color cubrimiento), las correlaciones no fueron significativas.

La regresión espacial obtenida del análisis entre el NDVI y los parámetros de calidad se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultados obtenido del análisis de la regresión espacial entre los parámetros de calidad con su respectivo NDVI.

Análisis de Regresiones (r^2) con $P(P \leq 0,05)$				
	Calibre	Firmeza Pulpa	Sólidos solubles	Color Cubrimiento
NDVI	0,3	0,06	0,5	0,2

La baja correlación obtenida pudo haber ocurrido debido al bajo número de evaluaciones realizadas y errores experimentales.

Los resultados obtenidos de éstos análisis se explican, debido a que el NDVI tiene una alta relación con las características de biomasa y actividad fotosintética que rigen el desarrollo foliar, mientras que las relaciones con calidad son de tipo indirectas. Estudios realizados en viñas indican que las características de calidad de la uva están determinadas por la cantidad y calidad de las hojas, (Johson *et al.*, 2003), lo que puede ser aplicado a los manzanos, donde la biomasa del árbol ejerce un papel esencial tanto en el rendimiento como en la calidad de la fruta.

Para realizar el análisis espacial se utilizó el patrón de distribución de las zonas de vigor con los polígonos formados de los puntos de monitoreo (Figura 10).

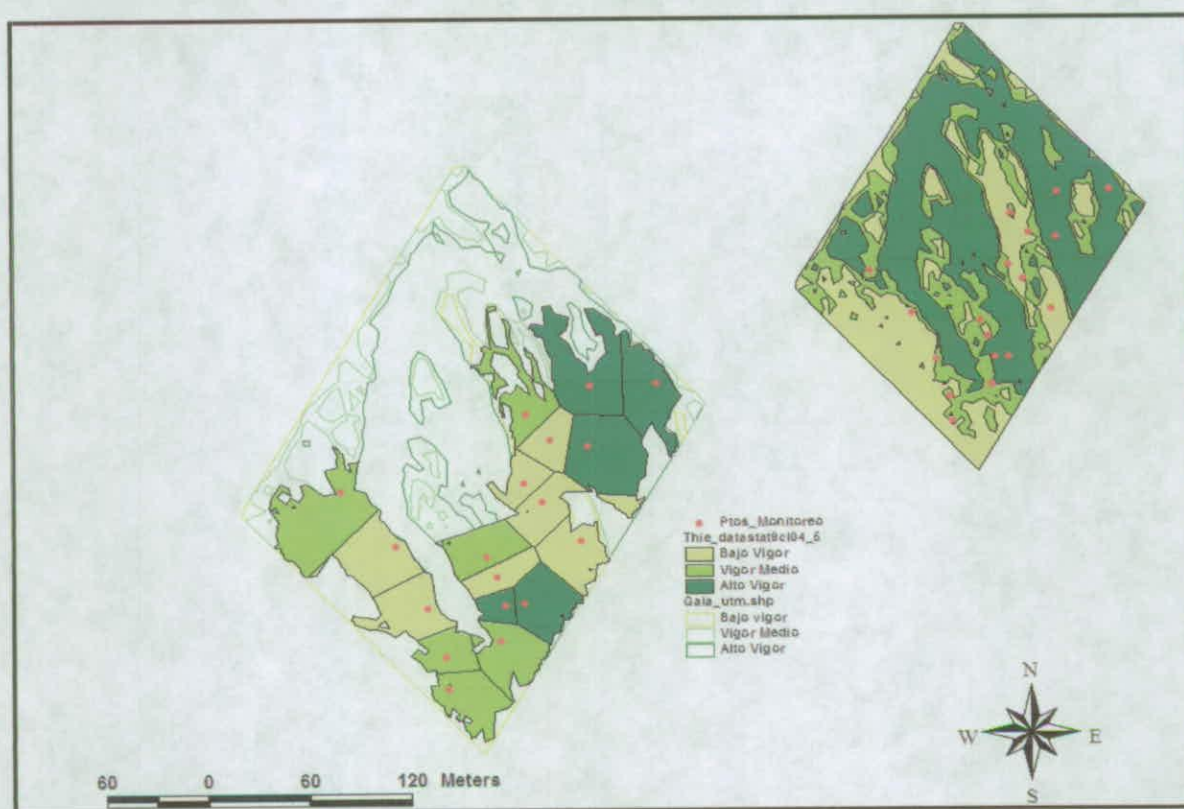
Al obtener los polígonos de Thiessen de cada uno de los puntos de monitoreo se realizó una segregación de las áreas de vigor que se encontraban fuera del área de éstos. Los polígonos forman una cierta distribución espacial al asociarlo con su NDVI.

La distribución espacial esta dada por la relación entre cada polígono formado, con el polígono más cercano, y es altamente importante para no generar distorsiones no deseadas en el análisis estadístico espacial

Al no realizar esta segregación de vecindad real entre puntos de monitoreo generan errores dentro del análisis, ya que se asume una vinculación espacial entre datos que ciertamente no existe, produciendo una interpretación errónea de los resultados estadísticos.

Con esto se comprueba la hipótesis de que el espacio juega un papel importante a la hora de explicar la calidad de frutos por zona de vigor.

Figura 10. Desarrollo de conectividad espacial entre la información de calidad de frutos obtenida de los puntos de monitoreo con respecto al plano de NDVI.



Evaluación económica. Se realizó una estimación de la rentabilidad por zonas, sobre la base de la distribución de calibre por áreas de vigor (en 3 clases) y el rendimiento espacial por árbol obtenido (Tabla 4).

Tabla 4. Ganancia total por zona de vigor.

Nivel de Vigor	Sup.(Ha) ^x	% Ha	Rend Kg/ (Ha) ^{xx}	Rentabilidad (\$)/Ha	%Rentabilidad/ha
Bajo	2,34	47.8	22956,52	7485216,27	25,2
Medio	1,91	39	29603,28	5873466,82	30,6
Alto	0,65	13.2	42103,68	85102221,61	44,4

^x Sup(Ha)= Superficie por Há

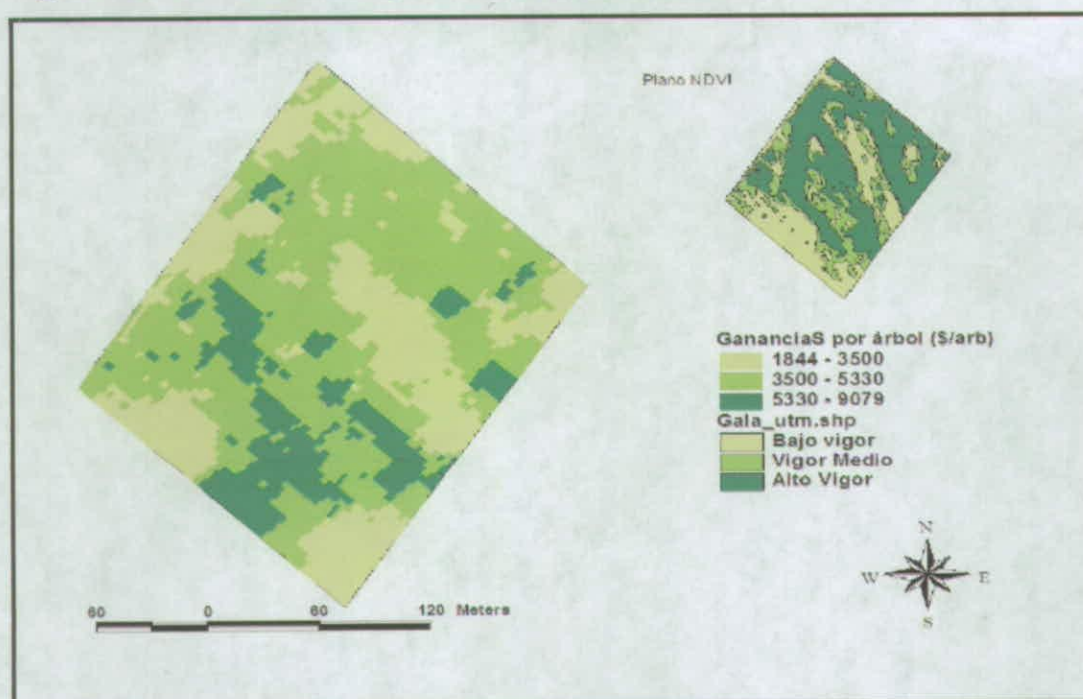
^{xx} Rend Kg/ (Ha) =Rendimiento Há

De acuerdo a los resultados obtenidos del análisis económico, se muestra que la zona de alto vigor es la que presenta mayor rentabilidad, debido al mayor rendimiento, pero no necesariamente mejor calidad de frutos, como se demostró con anterioridad.

Este análisis demuestra la importancia de monitorear el rendimiento y calidad de frutos al momento de cosecha y la presentación de esas medidas en forma de mapa.

La importancia de la detección e identificación de las áreas de rendimientos y calidad de frutos según zonas de vigor es crucial para estimar la rentabilidad del huerto, indicando con certeza la distribución de rentabilidad del cuartel en función al rendimiento por árbol y su correspondiente valor económico (Figura 12).

Figura 12 Distribución de ganancia por árbol por zona de vigor.



Los mapas de rendimiento permiten documentar la variabilidad del rendimiento y calidad de frutos dentro de un cuartel, como también se convierten en una forma dinámica de presentación de los resultados, junto con ayudar a la interpretación de los mismos, siendo finalmente una útil herramienta de gestión en terreno, otorgando las bases para desarrollar un manejo de tipo diferenciado, separando los sectores al momento de cosecha, en concordancia con los resultados presentados por Wildman *et al.* (1983).

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos, se concluye:

1. El uso del NDVI permite ser utilizado como herramienta para evaluar espacialmente el rendimiento y calidad de frutos en huerto de manzano variedad Royal Gala.
2. Es posible estimar el rendimiento espacial del huerto según zonas de vigor, localizando la posición de los bins y determinando el área que cada uno de ellos abarca en el huerto con el fin de optimizar la cosecha.
3. El NDVI permite evaluar calidad de frutos según zona de vigor, pero solamente los parámetros calibre y sólidos solubles que son los que correlacionan mejor.

4. Zonas de mayor vigor están asociados a mayor rendimiento, y por tanto mayor rentabilidad en comparación con las otras zonas.

REFERENCIAS

1. Ortega, R. y L. Flores. 1999. Agricultura de Precisión. "Introducción al Manejo del Sitio Específico". Impresora Trama. Chile.
2. Best, S. 2005. Uso de herramientas de agricultura de precisión para optimizar la rentabilidad en huertos de manzanos. INIA. Quilamapu. Chile.
3. Bosques, J. S. 2000. Sistema de Información Geográfica. (2ª. Ed.) Rialp, Madrid España.
4. Lopez, V. M.L. 1978. Manual de Fotogeología. (2a. ed). Ediciones J.E.N. Madrid España.
5. Maccioni, A., G. Agati and P. Mazzinghi. 2001. New vegetation indices for remote measurement of chlorophylls based on leaf directional reflectance spectra. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 61:52–61.
6. Tindall, T. A., R. Oborn, B. J. Wheeler and C. Walters. 2001 [On line] J.R. Simplot Co. <[http://isnap.oregonstate.edu/WCC103/2001 Proceedings Precision Agriculture Orchards-Tindall.pdf](http://isnap.oregonstate.edu/WCC103/2001%20Proceedings%20Precision%20Agriculture%20Orchards-Tindall.pdf) >.[Consulta 10 Noviembre 2005].
7. Duncan Technologies Inc. MC3100 digital multispectral camera user's manual. Alburn Duncan Technologies, 1999. 62p
8. Blackburn, G.A. 1999. Relationships between Spectral Reflectance and Pigment Concentration in Stacks of Deciduous Broadleaves. *Remote Sens. Environ.* 70:224-237
9. Basso, B., J. Richie, F. Pierce, R. Braga and J. Jones. 2001. Spatial validation of crop models for precision agriculture. *Agricultural Systems*. 68: 97-112.
10. Dymond, C., D. Mladenoff and V. Radeloff. 2002. Phenological differences in Tasseled Cap indices improve deciduous forest classification. *Remote Sensing of Environment*. 80:460– 472.
11. Vargas L., M. Andersen, C. Jensen and U. Jorgensen. 2002. Estimation of leaf area index, light interception and biomass accumulation of *Miscanthus sinensis* 'Goliath' from radiation measurements. *Biomass and Bioenergy*. 22:1–14.
12. Casanova, D., G. Epema and J. Goudriaan. 1988. Monitoring rice reflectance at field for estimating biomass and LAI. *Field Crops Research*. 55:83-92.

13. Johnson, L. 2003. Temporal stability of an NDVI-LAI relationship in a Napa Valley vineyard. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 9:96–101.
14. Hall, A., J. Louis and D. Lamb. 2003. Characterising and mapping vineyard canopy using high-spatial-resolution aerial multispectral images. *Computers and Geosciences*. 29:813–822.
15. Johnson, L.F., D.E. Roczen, S.K. Youkhana, R.R. Nemani and D.F. Bosch. 2003. Mapping vineyard leaf area with multispectral satellite imagery. *Computers and Electronics in Agriculture* 38: 33 _ 44.
16. Del Pozo, A., P. Del Canto. 1999. Áreas agroclimáticas y sistemas productivos en la VII y VIII regiones. Serie Quilamapu N° 113. INIA, Quilamapu. Chillán, Chile.
17. Razeto, B. M. 1992. Para entender la fruticultura. (2ª. ed). Vértigo. Santiago. Chile.
18. Johnson, L.F., D.F. Bosch, D.C. Williams and B.M. Lobitz. 2001. Remote sensing of vineyard management zones: implications for wine quality. *Appl. Eng. Agric.* 17, 557-560.
19. Westwood, M.N. 1982. Fruticultura de zonas templadas. Mundi Prensa. Madrid. España.
20. Lamb, D.W., A. Hall and J. Louis. 2001. Airborne remote sensing of vines for canopy variability and productivity. *Australian Grapegrower and Winemaker* 449:89-92.
21. Schueller, J.K., J.D. Whitney, T.A. Wheaton, W.M. Miller, A.E. Turner. 1999. Low-cost automatic yield mapping in hand-harvested citrus. *Computers and Electronics in Agriculture*. 23:145–153
22. Lebon, E., V. Dumas, P. Pieri and H. Schultz. 2003. Modelling the seasonal dynamica of the soil water balance of vineyards. *Funtional Plant Biology*. 30:699-710.
23. Wildman, W. R. Nagaoka and L. Lider. 1983. Monitoring spread of grape phylloxera by color infrared aerial photography and ground investigation. *Am. J. Enol. Vitic.* 34(2): 83-94.
24. Johnson, L. 2001. Response of grape leaf spectra to phylloxera infestation. [On line]. NASA Report #CR-208765.

<<http://geo.arc.nasa.gov/sge/vintage/CR208765.pdf>>. [Consulta: 12 Noviembre 2005].

25. R. Reich, R. Davis. 1998. Quantitative spatial analysis. Course notes for NR/ST 523. Colorado State University.

D. Duncan, G. Duncan Technologies Inc. MC3100 Digital multispectral camera user's manual. Alburn Duncan Technologies, 1999.

Chou, Y. 1997. Exploring spatial analysis in geographic information systems. Onword Press.. Santa Fe, USA:

R. Moreno, E. Vayá. 2002. Econometría para el análisis regional. Una aplicación a las regiones europeas. Investigaciones regionales. Asociación española de Ciencia Regional. 1, 83-106.

Anselin, L. 2004. GeoDa 0.9.5-i Release Notes.. [On line]. Center for spatially integrated social science. < <https://geoda.uiuc.edu/pdf/geoda095i.pdf>>. [Consulta: 12 noviembre 2005].

Bramley, R. 2000. Measuring within vineyard variability in yield and quality attributes. Vineyard monitoring and management beyond. 7: 8-14.

Schueller, J., J. Whitney, T. Wheaton, W. Miller and A. Turner. 1999. Low-cost automatic yield mapping in hand-harvested citrus. Computers and electronics in agriculture. 23:145-153.

26. Johson, L. D. Roczen, S. Youkhana, R. Nemani and D. Bosch. 2003. Mapping vineyard leaf area with multispectral satellite imagery. Computers and electronics in agriculture. 38:33-44.

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE AGRONOMÍA



APLICACIÓN Y DESARROLLO DE TECNOLOGÍAS DE PRECISIÓN PARA EL
DIAGNÓSTICO DE LA CARGA FRUTAL EN MANZANO (*MALUS DOMESTICA*,
BORKH) 'ROYAL GALA'

POR

FREDY MARCELO SALAZAR SALAZAR

MEMORIA PRESENTADA A LA
FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO.

CHILLÁN – CHILE
2008

RECONOCIMIENTOS

La presente Memoria de Título forma parte del Proyecto FIA 50683 "Desarrollo De Una Metodología Nueva Para Manejo Sectorizado De Huertos De Manzanas Y Duraznos, Usando Imágenes Multiespectrales En Tiempo Real"; proyecto ejecutado por el Programa de Agricultura de Precisión del INIA-QUILAMAPU (PROGAP-INIA). Chillan, Chile.

TABLA DE CONTENIDOS

	Página
Resumen.....	1
Summary.....	1
Introducción.....	2
Materiales y Métodos.....	5
Resultados y Discusión.....	11
Conclusiones.....	21
Referencias.....	22

APLICACIÓN Y DESARROLLO DE TECNOLOGÍAS DE PRECISIÓN PARA EL DIAGNÓSTICO DE LA CARGA FRUTAL EN MANZANO (*MALUS DOMESTICA*, BORKH) 'ROYAL GALA'

APPLICATION AND DEVELOPMENT OF PRECISION TECHNOLOGIES FOR CROP LOAD DIAGNOSE IN APPLE (*MALUS DOMESTICA* BORKH) 'ROYAL GALA'

Palabras índice adicionales: Carga frutal, imágenes digitales, interfaz gráfica de usuario, Sistema de Información Geografica, agricultura de precisión.

RESUMEN

Se definieron tres sitios específicos de vigor: alto (VA), medio (VM) y bajo (VB) en un cuartel de manzanos cv "Royal Gala", utilizando imágenes multiespectrales. En cada sitio se establecieron tres niveles de carga frutal: baja (1-4 frutos cm^{-2} de área sección transversal de tronco, ASTT), media (4-7 frutos cm^{-2} ASTT) y alta (7-10 frutos cm^{-2} ASTT). Para cada sitio de vigor y carga frutal se cuantificaron parámetros de calidad de fruta como peso (PF, gr.), sólidos solubles (SS, °Brix), color de cubrimiento (CC, %). Adicionalmente se programó una interfaz grafica de usuario (IGU) para cuantificar digitalmente parámetros como la cantidad de frutos digital en el árbol (NFD), CC digital (CCD) y Area Digital (AD). Los resultados y el diseño experimental se almacenaron en un sistema de información geográfica. 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 normalizados por cm^{-2} ASTT y m^3 de canopia, con un bajo coeficiente de determinación (r^2) de 0,48 y 0,31, respectivamente. El uso de imágenes multiespectrales, IGU y SIG podrían ser utilizadas como herramientas para definir criterios más precisos en el manejo y regulación de la carga frutal en manzano.

Summary

Three specific sites of vigour: High (HV), Medium (MV) and Low (LV) were defined in a apple quarter cv Royal Gala, using multispectral images. In each vigour site three crop load levels: low (1-4 fruits cm^{-2} of Trunk Cross Sectional Area (TCSA)), medium (4-7 fruits cm^{-2} TCSA) and High (7-10 fruit cm^{-2} TCSA) were established. For each vigour site and crop load fruit quality parameters like Fruit weight (WF, gr.), soluble solids (SS, °Brix), peel red colour (PC, %) were quantified. Additionally a graphical user interface (GUI) for quantify digital parameters like digital fruit quantity in the tree (DFQ), digital PC (DPC) and Digital Area (DA) was programmed. The results and experimental design were stored in a Geographical Information System (GIS). The crop load levels affected differently fruit quality parameters like WF, CC and SS for the different vigour sites discriminated. A relation for Weigh in function of normalized fruits by cm^{-2} TCSA and m^3 of canopy volume was found with a low determination coefficient r^2 of 0,48 and 0,31, respectively. The use of multispectral images, GUI and GIS could be used like useful tools to define more accurate criterias in the management and regulation of the crop load in apple.

INTRODUCCIÓN

La carga frutal y su regulación a través de prácticas de raleo es un aspecto tecnológico clave, tanto desde un punto de vista económico como en su efecto sobre la calidad de fruta, lo que determina el éxito de la comercialización de un huerto de manzanos. A modo de ejemplo, se puede mencionar que del total de los costos directos en la producción del manzano, la mano de obra representa sobre un 50% y dentro del costo total de mano de obra el raleo representa un 28%, el cual junto a la cosecha (26%) son los principales gastos en la producción de manzanas en Chile (Wallace, 2006).

La carga frutal como una medida de la productividad del huerto se define como la cantidad (número o peso) de fruta producida por árbol o unidad de rama (Wünsche y Ferguson, 2005). En manzano, así como en otras especies frutales, la carga frutal requiere ser regulada mediante prácticas como el raleo de flores y/o frutos, cuyo propósito es mejorar aspectos de calidad como el calibre, desarrollo

de color, sólidos solubles y firmeza, entre otros, así como también estimular la iniciación floral que producirá la cosecha el año siguiente (Westwood, 1982). Varios son los factores que determinan la carga frutal, como clima (temperatura y disponibilidad de luz), disponibilidad de carbohidratos y manejo agronómico del huerto (Wünsche y Ferguson, 2005). Sin embargo, en este último factor se tiende a utilizar un manejo agronómico homogéneo, a pesar de que existe una amplia fluctuación de aspectos ambientales que inducen variabilidad en la producción y calidad en el huerto, lo que ha sido ampliamente demostrado en especies frutales como cítricos (Schueller et al., 1999) y manzanos (Quintana, 2006).

En respuesta a lo anterior la agricultura de precisión permite identificar y manejar variaciones temporales y espaciales (Cook y Bramley, 1998; Seelan et al., 2003). Una de las tecnologías aplicadas en la agricultura de precisión es la teledetección definida como la medición o adquisición de información de un objeto o fenómeno por medio de un equipo que no está en contacto con dicho objeto, siendo las imágenes multiespectrales las más utilizadas (Best y León, 2006) con el cual se logra obtener un índice de vegetación llamado NVDI, concepto que integra el contraste de la alta absorvancia (baja reflectancia) de la banda roja (R) del espectro visible con la alta reflectancia del infrarrojo cercano (IFc) mediante la formula $NVDI = (IFc - R / IFc + R)$ (Chúvieco, 1996; Lamb, 2000). Los valores del NVDI van desde el -1 al 1 y un valor que tiende al 1 es interpretado como una especie vegetal de vigor alto (Hall et al., 2003). El termino vigor es utilizado para definir la tasa de crecimiento de una planta, pudiendo ser cuantificado por la medición del aumento total en tamaño en un periodo determinado de tiempo en relación al tamaño de partida (Forshey y Elfving, 1989; Faust, 1989). Por lo demás el vigor del árbol puede ser afectado por prácticas de manejo en el huerto (Nesme et al., 2005).

Entre las aplicaciones de la visión por computador en la agricultura de precisión y tecnologías a cosecha y poscosecha, se puede mencionar el desarrollo de algoritmos para el reconocimiento de manzanas en el árbol (Parrish y Goksel, 1977; Bulanon et al., 2002; Slaughter y Harrel, 1989), la estimación de rendimiento en cítricos (Chinchuluun y Lee, 2006), la clasificación del color en manzanas

(Xiaobo et al., 2007; Nakano, 1997; Madieta, 2003), en la segmentación automática de defectos en manzanas, (Unay y Gosselin, 2006; Lemans et al, 2000), en el uso de fotografía digital para comparar la percepción del color (Paulus et al, 1997) y la clasificación de manzanas en línea (Lemans et al., 2002; Blasco et al., 2003). Entre las ventajas del uso de la visión por computador se puede mencionar la exactitud, el ser un método no destructivo y cuyos resultados son más consistentes (Chen et al., 2002). Una de las problemáticas prácticas de la visión por computador es el desarrollo de un sistema que localice exitosamente manzanas en una imagen, y especialmente bajo las condiciones naturales de luminosidad en que se desarrollan los árboles en huertos comerciales. Su estudio podría ser muy útil para el desarrollo de tecnologías como un robot cosechador, el mapeo de las zonas de producción en el huerto con la ayuda de un GPS y la estimación de la carga frutal (Tabb et al., 2006), ya que para este último factor los intentos de la estimación por conteo manual es bastante difícil, engorrosa y consumidora de tiempo (Jessen, 1955), lo que se traduce en conteos poco representativos y que no consideran la variabilidad del huerto.

Una Interfaz gráfica de usuario consiste en ventanas visibles en el monitor que se usan para comunicarse con alguna aplicación. El uso de interfaces gráficas de usuario en el lenguaje de programación Matlab ha sido ampliamente utilizado en las diversas aplicaciones en el ámbito de la ingeniería, como por ejemplo la medición de propiedades geológicas de fluidos (Choi et al, 2005) la resolución de curvas multivariadas (Jaumot et al 2005), o la solución de datos multi electrodos (Egert et al, 2002), sin embargo todavía no se han generado aplicaciones de estas interfaces de usuario en la agricultura.

Un sistema de información geográfico (SIG), es un termino que describe un sistema basado en computador que tiene la capacidad para ingresar, almacenar, manipular y presentar datos que están geográficamente referenciados (datos espaciales) (Earl et al., 2000). Una de las características que debe tener un SIG es poseer una interfaz de usuario que generalmente es de usuario específico (Zhang et al., 1999). El SIG creado por fotografías hace posible la generación de vistas complejas acerca de los campos y mejorar la toma de decisiones agro

tecnológicas (Neményi et al 2003).

En la actualidad estas tecnologías de precisión podrían perfectamente emplearse en prácticas de regulación de la carga frutal en manzano, sin embargo hasta la fecha es poca la información que existe al respecto. En consideración a todo lo anterior y a la carencia de estudios de aplicaciones tecnológicas útiles al manejo de la carga frutal para los productores en nuestro país, el objetivo de esta tesis consiste en la generación y aplicación de herramientas computacionales útiles para la evaluación de la carga frutal en un huerto de manzanos.

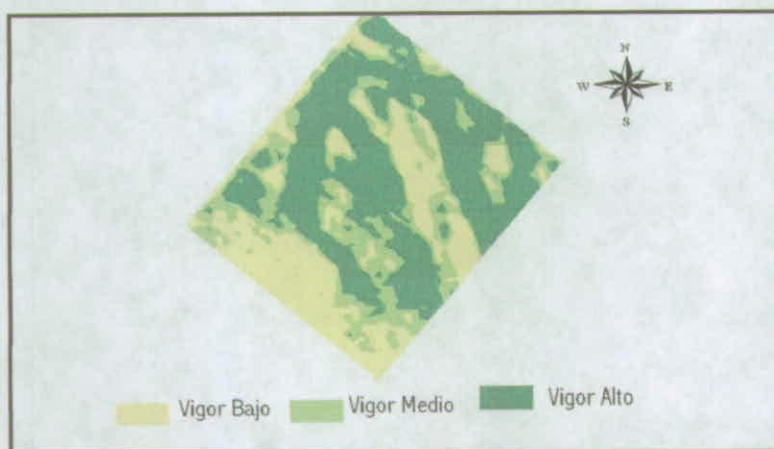
MATERIALES Y MÉTODOS

LUGAR DEL ESTUDIO. El estudio se realizó durante la temporada 2006-2007 en la propiedad de la Sociedad Agrícola San Manuel Ltda camino a los Niches Km 15 Curicó VII Región Chile (S 35° 1,5' W 70° 57,2). Se trabajó con árboles de manzano cv "Royal Gala" de 10 años de edad, injertados sobre patrón MM 106, conducidos en Solaxe, 3.5 X 2 m, polinizados por la variedad Granny Smith en un 11%. Los manejos del huerto y suministro de productos fueron homogéneos para todos los árboles en estudio, aplicándose raleadores químicos comerciales a caída de pétalos, frutos de 7-10 mm y después de plena floración para el manejo de la carga frutal como Pomarsol Forte 85% y Carbaryl 85%.

ELECCIÓN DE LOS ÁRBOLES Y TRATAMIENTOS. En Octubre 2006 se establecieron tres sitios específicos de vigor: alto (VA), medio (VM) y bajo (VB) utilizando las imágenes multiespectrales (Figura 1) obtenidas durante el mes de febrero del año 2006, con las cuales se obtuvo el índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI), clasificándolo en tres zonas de vigor.

Posteriormente, se seleccionaron 18 árboles por cada clase de vigor, los cuales fueron asignados a un diseño experimental de bloques completos al azar con 3 bloques como repetición, utilizando como parámetro de selección la carga de flores y el área sección transversal del tronco de los árboles (ASTT) la que se cuantificó a 30 cm sobre la unión del injerto.

Figura 1: NVDI clasificado en 3 clases de vigor utilizado para la elección de los árboles en estudio.



Fuente: Quintana, 2006

Para cada sitio de vigor se establecieron los siguientes tratamientos de ajuste manual de carga frutal: baja (1 - 4 frutos cm^{-2} de área sección transversal de tronco, ASTT), media (4 - 7 frutos cm^{-2} ASTT) y alta (7 - 10 frutos cm^{-2} ASTT) considerando dos árboles al azar en cada uno de los bloques.

MEDICIÓN DEL VOLUMEN DE CANOPIA. Para obtener el volumen de canopia (V), se utilizó la metodología propuesta por Wright et al 2004 que considera: La altura de la canopia (h), y el radio promedio de la base (r). En la metodología se asume que el contorno del árbol es recto, quedando el volumen determinado mediante la siguiente ecuación :

$$V = (1/3) \pi r^2 h$$

EVALUACIONES A COSECHA. A cosecha se evaluaron variables de calidad de fruto como peso fruto (PF, gr) y producción por árbol (PA, Kg), utilizando para ello dos balanzas digitales (Soehnle 65080, Alemania) para ambas variables se midió el 100% de los frutos de cada árbol . Además, se cuantificó el color de cubrimiento (CC) en base a los criterios que utiliza la empresa exportadora San Clemente (Tabla 1)

Tabla 1 Rangos de (CC) utilizados para medir CC.

Rango	Cubrimiento
1	0 – 25% presencia de color rojo
2	26 – 50% presencia de color rojo
3	51 – 75% presencia de color rojo
4	Mayor a 75 % presencia de color rojo

La evaluación de los sólidos solubles (SS. °brix) se realizó mediante un refractómetro termocompensado (Atago, modelo R0010007, Japón). Tanto para las mediciones de CC como de SS se seleccionaron submuestras al azar de 20 manzanas por cada bloque y tratamiento.

ALGORITMO PARA SEGMENTAR LOS FRUTOS EN EL ÁRBOL. Un mes previo a cosecha se obtuvieron dos fotografías digitales por cada árbol a una distancia de tres metros de manera de obtener la imagen del árbol completo. La fotografía fue tomada con una resolución de tres mega píxeles y en formato jpg, utilizando para ello una cámara digital convencional (Sony DSC-W30, Japón).

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 (Hue, Saturation, Intensity), de esta forma los colores RGB (Red, Green, Blue), fueron normalizados por:

$$r = R / (R + G + B)$$

$$g = G / (R + G + B)$$

$$b = B / (R + G + B)$$

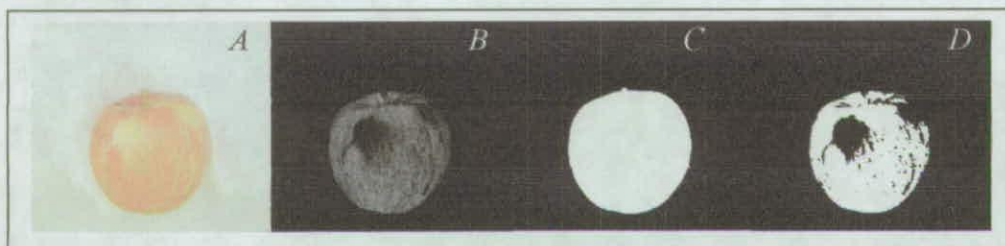
Donde r, g y b son los valores normalizados de las componentes de color RGB (Gonzalez y Goods, 1982).

Luego se realizó la diferencia normalizada: $(r-g) / (r+g)$, para de esta forma separar los frutos del resto de los píxeles. Pero algunas fotografías presentaron frutos que pertenecían a otros árboles, para lo cual se utilizó la función apertura, la cual suaviza el contorno de una imagen, rompe istmos estrechos y elimina protuberancias extrañas (De la Escalera, 2001). Posteriormente, se utilizó una función de conectividad de píxeles que establece los límites de los objetos y los componentes de área de una imagen (Gonzalez y Goods, 1982). Finalmente, se

procedió a la conformación de una imagen binaria para así segmentar la fruta del resto de la estructura del árbol . Una vez obtenida la imagen binarizada se utilizaron nuevamente operaciones morfológicas de apertura y erosion si la imagen lo necesitaba y se utilizó un contador de regiones digitales que entrega el valor del número de frutos de cada árbol.

ALGORITMO PARA MEDIR ÁREA Y COLOR DIGITALMENTE. Para la obtención del área y color rojo de la fruta se obtuvieron fotografías por ambas caras de sesenta frutos de manzano provenientes de los tres tratamientos de carga frutal previamente definidos. Las fotografías fueron tomadas a 50 cm de altura sobre un fondo blanco que poseía un cuadrado de área conocida de 255 cm^2 . Utilizando transformaciones geométricas (MathWorks, 2003) se procedió a cortar el área conocida que contenía la manzana para obtener la imagen a segmentar, almacenando el número de píxeles de la imagen a segmentar (NP). Para la segmentación de la fruta se utilizo el espacio de color RGB normalizado $(r-g) / (r+g)$, el que fuera definido anteriormente. Luego, se aplicó una función de conectividad , la cual aumentó el contraste entre la manzana y el fondo, y se aplicaron operaciones morfológicas utilizadas en el trabajo de Mery y Pereschy (2005) de remoción de pequeñas áreas y búsqueda de hoyos que correspondería a la manzana. Después se procedió a binarizar la imagen por medio de la umbralización del histograma para obtener el número de píxeles de la manzana (PM) lo que se detalla en la Figura 3 Para la obtención del área se realizó la regla de 3 simple: $NP=255\text{cm}$ y $PM=X\text{cm}$.

Figura 2: Obtención del área y color en formato digital



(A) Imagen Original, (B) Diferencia Normalizada y Obtención NP, (C) Obtención de los PM, (D) Obtención PR.

Para la obtención del % de Color Rojo de Cubrimiento Digital (CC) se procedió de forma similar para la obtención del área y no se utilizaron operaciones morfológicas, para obtener la figura 3D, luego se procedió a contar el Numero de píxeles de Color Rojo (PR), de esta forma teniendo la información del número total de píxeles de la manzana (PM) realizada anteriormente con la regla de 3 simple se obtuvo el % CC: $PM = 100\%$ y $PR = X$.

INTERFAZ GRAFICA DE USUARIO Y SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO. Se desarrolló una Interfaz Grafica de Usuario (IGU) utilizando el programa Matlab 6.5 para el conteo digital de frutos y para la obtención del área y CC digital de las manzanas. El sistema de información geográfico se llevó a cabo utilizando el programa ARGIS 8.0, en el cual se ingresó la información del diseño experimental y los resultados obtenidos.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO. Los resultados se analizaron utilizando el análisis de varianza con el software infostat. Además se realizó un análisis de regresión lineal para PF y Producción por árbol (PA), versus la carga frutal expresada en ASTT y Volumen de canopia con el mismo software, con un 95% de significancia. Los resultados del CC fueron transformados con la función raíz cuadrada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

PESO Y DISTRIBUCIÓN DE CALIBRES. El Cuadro 1 muestra que para los tres niveles de vigor, los tratamientos de carga frutal afectaron estadísticamente el peso de la fruta, cuyo valor disminuyó significativamente y en cerca de un 20% para los niveles de carga frutal alta en comparación al nivel de carga baja. Estos resultados coinciden con el trabajo de McCartney et al, (1996) quien al establecer cargas en manzano cv Royal Gala de 1 a 9 frutos cm^{-2} de ASTT demostraron que el peso de frutos se redujo significativamente de 175 a 145 grs.

El menor peso de los frutos en carga alta, podría estar relacionada con una disminución en la relación hoja fruto (Forshey y Elfving, 1977; Faust, 1989, Palmer

et al, 1991, Elfving, et al 1996), que produciría una mayor competencia por los fotosintatos entre las raíces, brotes y la mayor cantidad de frutos que permanecen en el árbol (Grossman y Dejong, 1994).

Tabla 2. Efecto de la carga frutal sobre el peso de frutos en sitios de vigor bajo, medio y alto. Cultivar "Royal Gala".

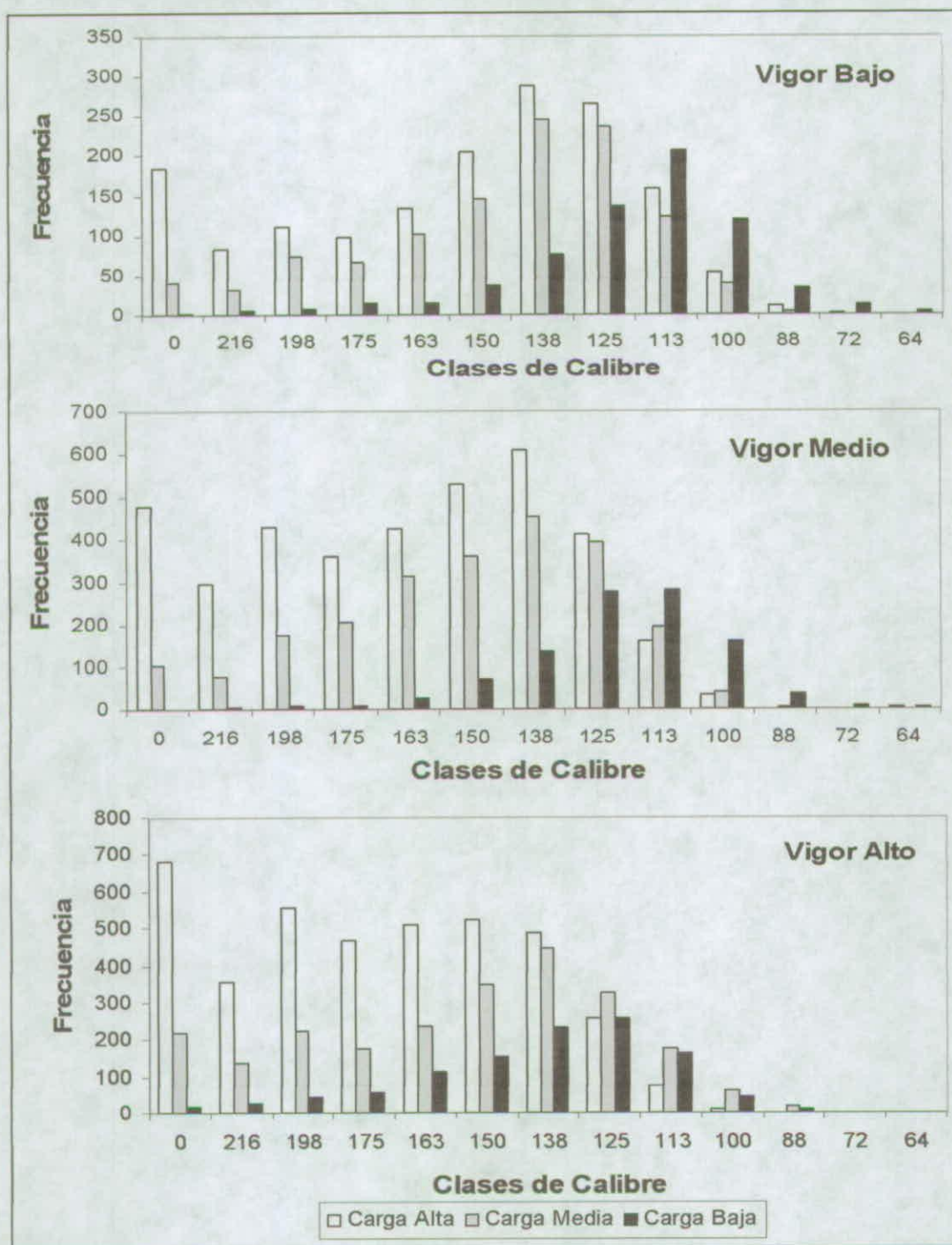
Nivel de Carga	Nivel de Vigor		
	Bajo	Medio	Alto
Baja	188,3 a ^(x)	186,3 a	159,0 a
Media	154,0 b	147,0 b	143,7 ab
Alta	145,9 b	132,6 b	122,7 b
Significancia ^(y)	*	**	*

^(x) : Valores seguidos de la misma letra no difieren estadísticamente. LSD al 95%.

^(y) : N.S.; *, **; no significativo, significativo y altamente significativo para $p \leq 0,05$ y $0,01$ respectivamente

Como se puede observar en la Figura 3, los tratamientos de carga frutal también afectaron la distribución de calibres en manzanos, para una baja carga frutal la distribución de frutos tiende a inclinarse hacia calibres altos, pero se obtiene menos fruta, mientras que en una carga frutal alta sucede lo contrario. Esta variación en la calidad de fruta es el resultado de la variabilidad al interior del árbol, cuya causa todavía no ha sido del todo explicada (Palmer , 1991), pero se sabe que independiente del número de frutos por cm^{-2} ASTT, el calibre en la fruta aumenta al aumentar la longitud de la bursa (brote vegetativo del año) y el diámetro del dardo, produciéndose la mejor fruta en madera terminal de un año, la peor en madera lateral de un año y fruta de calidad intermedia en dardos en madera de varios años (Voltz et al, 1995). Además, el peso de frutos, la concentración de SS y el desarrollo de color alcanzan niveles más altos en la fruta que se encuentra en la posición superior del árbol, en comparación a la inferior (Barrit et al, 1987). Lo anterior estaría relacionado con la variabilidad en la distribución de luz que se produce al interior del árbol (Robinson et al, 1983; De Silva et al., 2000).

Figura 3: Frecuencias de distribución de clases de calibre para los sitios de vigor: VA, VB, VM producidos por los tratamientos de carga frutal.



Nótese que para el vigor alto, el tratamiento de carga frutal medio fue superior en obtener mejores calibres y mayor fruta que la carga baja, lo que hace suponer una concordancia con lo expuesto por Razeto (1999), el cual plantea que en

árboles con demasiado vigor, un aumento de la carga frutal sería una herramienta útil para disminuir el vigor del árbol y de esta forma equilibrarlo fisiológicamente, lo cual se traduce en fruta de buena calidad. Estos resultados sugieren que sería indispensable tomar en consideración algunos de estos factores para mejorar el raleo manual. De esta forma el uso de las imágenes multispectrales para sectorizar el huerto por niveles de vigor ayudaría a mejorar el ajuste manual en un huerto de manzanos.

COLOR DE CUBRIMIENTO Y SÓLIDOS SOLUBLES. Sólo en la fruta proveniente de árboles con VM, un aumento en la carga frutal disminuyó significativamente el desarrollo de color y acumulación de azúcar en manzanas.

Tabla 3: Efecto de la carga frutal sobre el CC (%) y SS (°Brix) en sitios de vigor bajo, medio y alto. Cultivar "Royal Gala". Temporada 2006/2007.

Nivel de Carga	Nivel de Vigor					
	Bajo		Medio		Alto	
	CC	SS	CC	SS	CC	SS
Baja	89,9 ^(x)	13,1	96,5 a	13,2 a	71,1	12,9
Media	90,5	12,9	78,1ab	12,2 b	82,4	12,5
Alta	81,8	12,3	72,0 b	11,7 b	83,9	12,2
Significancia ^(y)	NS	NS	*	**	NS	NS

^(x) : Valores seguidos de la misma letra no difieren estadísticamente. LSD al 95%.

^(y) : N.S.*; **, no significativo, significativo y altamente significativo para $p \leq 0,05$ y $0,01$ respectivamente

Estos resultados son similares a los datos presentados por De Long et al., (2006) en un experimento realizado para la variedad 'Honeyscrip' quien concluyó que así como el número de frutos por cm^{-2} de ASST aumentan hay una disminución tanto en la concentración de los SS como del CC, en sus resultados los SS disminuyeron significativamente de 13,7 a 12 °brix, mientras el % de CC disminuyó de 61,4 a 38,9 al aumentar la carga frutal de 3 a 9 frutos por cm^{-2} de ASTT. En el trabajo de Mata et al., (2006) variando la carga frutal en Royal Gala de 1 a 10 frutos cm^{-2} de ASTT concluye que al disminuir la carga frutal aumentaron los niveles de glucosa y fructosa, mientras que disminuyeron los niveles de sorbitol y sucrosa, lo cual explica la mayor concentración de los °Brix ya

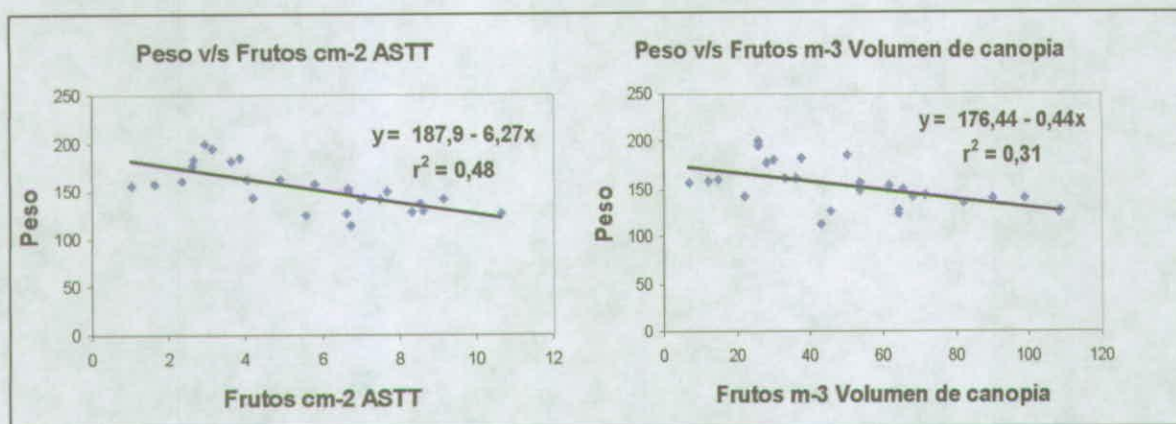
que se ha demostrado que la fructosa es el mayor carbohidrato soluble disponible en la pulpa de una manzana (Pavel y Delong, 1995) y a medida que la manzana madura el sorbitol se transforma en fructosa (Yamaki y Ishikawa, 1986). Además Mata et al., (2006) encontró mayor cantidad de antocianinas en la piel de manzana al disminuir la carga frutal, siendo la antocianina idaeína o galactósido-3-cianidina, la responsable del color rojo de la manzana (Gil, 2004). Por otra parte nótese que para el vigor alto al contrario de lo que sucede con el vigor medio existe una tendencia que a menor carga disminuye el CC lo cual corroborado por los trabajos de Willaume et al., (2004); Robinson and Lakso (1989); Wagenmakers and Callesen (1989); quienes han confirmado la estrecha relación entre la distribución de la luz y el desarrollo del color rojo en manzanas, por lo cual a pesar de la mejor distribución de carbohidratos en bajas cargas frutales, para árboles muy vigorosos, con un alto volumen de canopia como los presentados en este tratamiento, la penetración de la luz es muy débil, generando un bajo % de CC. Lo anterior Demuestra el potencial de utilizar criterios de raleo sectorizados por zonas de vigor para optimizar la producción y calidad de un huerto de manzanas.

Nótese que el tamaño muestral total eran 540 frutos para la medición de estas variables de una población de 18500 frutos, lo cual en consideración a lo planteado por Miranda, et al., 2007 una buena aproximación para la obtención de resultados consistentes en la calidad de manzanos es medir una población del 15 al 20% lo cual en este estudio hubiese resultado operacionalmente imposible medir mas de 2700 frutos, lo cual en concordancia con lo mencionado por la autora es necesario el desarrollo de metodologías no destructivas y rápidas como el uso de imágenes digitales para color y peso y del NIRs para SS (McGlone et al., 2002). Para de esta forma tener una aproximación mas real de la verdadera variabilidad generada por los tratamientos de carga frutal.

PESO (GRS) EN FUNCION DEL ASTT Y VOLUMEN DE CANOPIA. En la Figura 5 se aprecian la relación entre el peso de fruto (grs) en función de los frutos por ASTT y de los frutos por volumen. El modelo de frutos por cm^{-2} ASTT explicó un 48% de la varianza, mientras el modelo de los frutos m^{-3} volumen de canopia

explicó sólo un 31% de la varianza. En el trabajo de Wright et al., (2005) el r^2 del peso en función del ASTT fue de 0,58 y para los frutos m^{-3} volumen de 0,78 para el método del cono simple.

Figura 4: Regresión Lineal para PF en función del número de frutos normalizados por cm^{-2} de ASTT y m^{-3} de volumen de canopia.



Este bajo coeficiente de correlación al expresar la carga frutal en función del ASTT para determinar el peso también se ha encontrado en otros trabajos como en el de Nilo (1999) quien trabajando con la variedad Fuji encontró un r^2 de 0,47 y 0,24 para cargas de 3 a 9 frutos cm^{-2} de ASTT. a los 50 y 80 DDPF (Días Después de Plena Flor) respectivamente, mientras que en el trabajo de Odi (2000) para la variedad Braeburn sus r^2 fueron de 0,55 y 0,66. La baja correlación al expresar la carga frutal en función del ASTT y del volumen de canopia pueden deberse a la falta de homogeneidad en los criterios de poda o podas muy severas (Westwood y Roberts, 1970, Faust, 1989), debido principalmente al incremento continuo anual en la masa del ASTT y del árbol, pero con una limitación en el área de hoja debido a la poda intensa o poco uniformes (Reginato *et al.*, 2007), es decir el ASTT aumenta, mientras el tamaño de la canopia y la intercepción de luz permanecen constantes debido a la poda (Autio *et al.*, 1996.)

RESULTADOS CONTEO DIGITAL DE FRUTOS. Los resultados de aplicar el algoritmo se muestran en la Figura 5. El algoritmo de detección digital de frutos fue probado para un rango de carga frutal de 90 hasta 720 frutos, para los 54

árboles en estudio, obteniéndose un coeficiente de determinación r^2 de 0,80 (Figura 6).

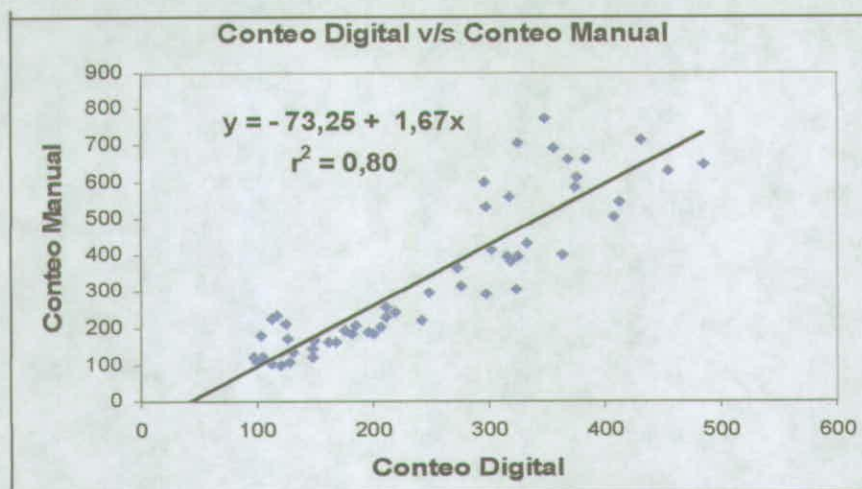
Figura 5: Algoritmo utilizado para la segmentación de frutas



(A) Imagen original, (B) Diferencia Normalizada, (C) Operaciones morfológicas de Apertura y Erosión. (D) Función de conectividad. (E) Binarización de la imagen (F) Conteo de frutos mostrando los pixeles segmentados que pertenecen a las manzanas.

Un coeficiente de correlación similar fue obtenido por Stajniko et al (2004), quien estimó el número de frutos en manzanos utilizando una cámara termal, mientras que Annamalai (2004) obtuvo un coeficiente de correlación de 0,79 para la estimación de rendimientos en cítricos.

Figura 6: Regresión lineal para el conteo de los frutos en forma manual y digital.



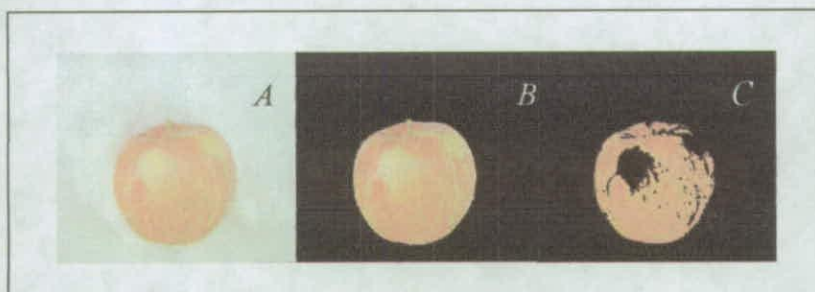
Por lo demás si se compara el algoritmo utilizado en esta investigación con el usado por Bulanon et al 2002, quien desarrolló un algoritmo en el espacio de color utilizado en la transmisión de las señales de televisión YQC con un 88% de clasificación correcta de los píxeles, sin embargo las imágenes tomadas con luz de fondo (alta luminosidad) tenían mas de un 18% de error en la clasificación correcta de los píxeles que correspondían a las manzanas..Por lo cual el algoritmo aquí utilizado continua siendo muy prometedor, ya que tiene como ventaja que la influencia de la luz no uniforme es atenuada (Tian y Slaughter, 1998), e incluso ha sido utilizado con éxito en otras aplicaciones de la visión por computador bajo condiciones naturales de luz en huertos como por ejemplo en la segmentación de malezas (Slaughter y Harrel. 1987; Pérez et al., 2000).

La principal dificultad encontrada en la metodología propuesta es que para cargas altas sobre 400 frutos o en zonas de alta densidad de carga, hay frutos que ocultan a otros frutos, no pudiendo ser detectados, aumentando el error del algoritmo. Sin embargo, existen algoritmos capaces de separar los frutos ocultos por otros frutos como la transformada de hough, la cual se ha probado exitosamente en tomate (Whittaker et al 1987), o la transformada de watershed que se ha probado en cítricos (Chinchuluun y Lee, 2006; Chinchuluun, Lee, Ehsani, 2007). Sin embargo considerando los resultados anteriormente expuestos, en la variedad Royal Gala, cargas altas sobre 7 frutos por cm^2 de ASTT que generan mas de 400 frutos por árbol afectan el peso y la calidad de los frutos, en

consecuencia para las cargas óptimas comúnmente realizadas por los productores el algoritmo funcionaría bien. Otro problema detectado es que para árboles muy vigorosos, que generan demasiado crecimiento vegetativo, con IAF sobre lo normal la detección de frutos disminuye, ya que las hojas esconden los frutos. Por lo cual la tendencia hacia el aumento de densidad de plantación de árboles en huertos de manzanos, mediante el uso de portainjertos enanizantes y nuevos sistemas de conducción facilitaría el uso de estas tecnologías. El conteo manual de frutos tiene una aproximación dependiendo de la persona que cuenta cercana a 0,9 pero como se dijo en la introducción es muy consumidora de tiempo, engorrosa (Jessen, 1955) y no representa la variabilidad del huerto. Por lo tanto a pesar de la buena aproximación obtenida con este algoritmo ($r^2 = 0,8$) es necesario mejorarlo ya que la finalidad es reemplazar el conteo manual por el digital para aumentar el tamaño muestral y obtener una mejor aproximación que el conteo manual.

RESULTADOS AREA DIGITAL Y COLOR DIGITAL. La Figura 7 demuestra que efectivamente el algoritmo fue capaz de segmentar el área y Color Rojo de cubrimiento de la manzana.

Figura 7: Segmentación del Área y Color de la Manzana

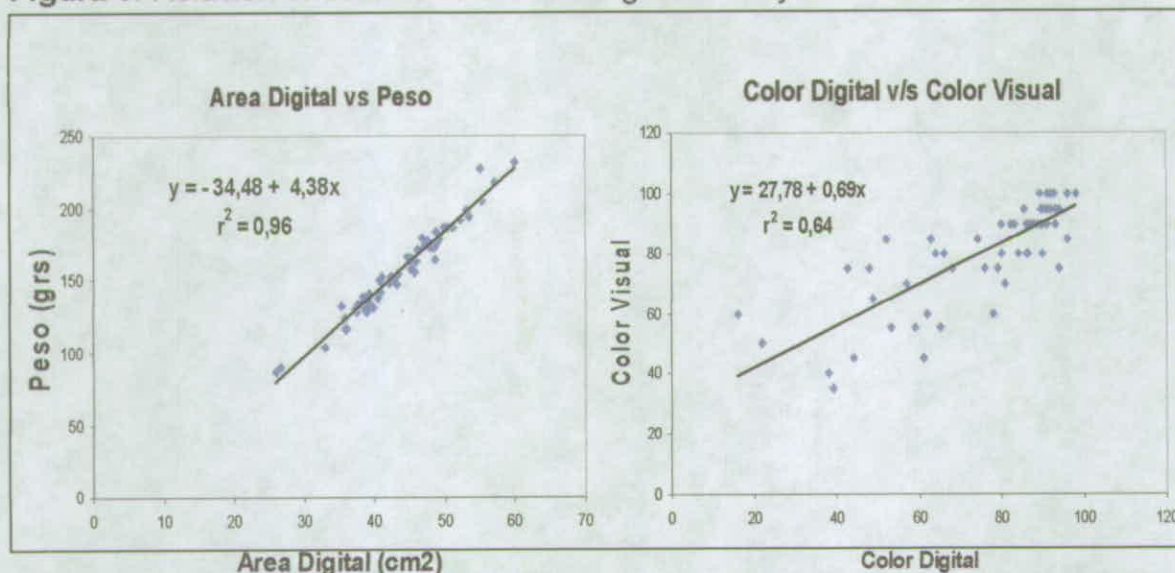


(A) Imagen Original, (B) Area Manzana Segmentada, (C) CC Rojo Segmentado.

La Figura 8 muestra la relación entre el área medida por análisis de imágenes y el peso de las manzanas al momento de la medición. Los resultados muestran que el área medida por análisis de imágenes tienen un alta coeficiente de determinación con el peso de la manzana $r^2 = 0,96$. Este resultado es similar al

obtenido por Chin y Syaifudin, (2006) quien segmentó el área en mango. Sin embargo para la medición del CC el r^2 fue de sólo 0,64 debido a la variabilidad con que los humanos clasifican y perciben el color (Paulus et al, 1997).

Figura 8: Relación entre el Área medida Digitalmente y el Peso del Fruto.

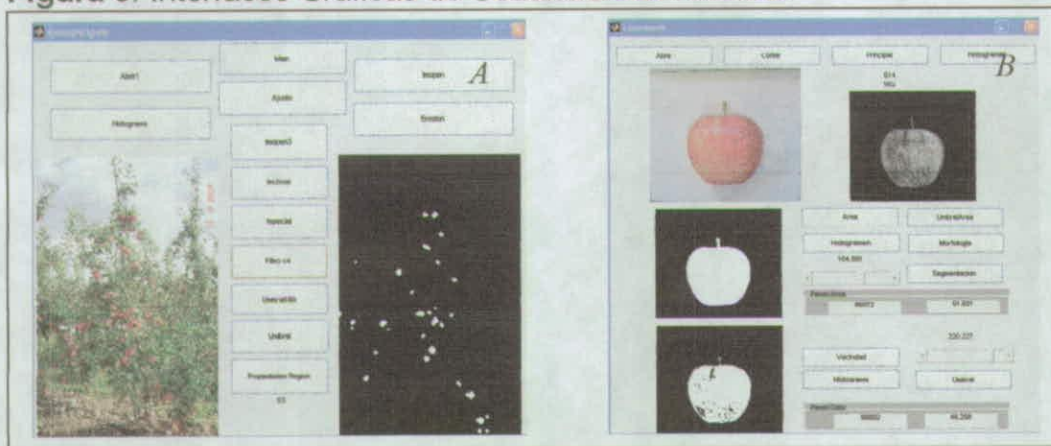


Como se dijo en un comienzo el objetivo del desarrollo de estas herramientas, es para que un productor sin mucha inversión pueda utilizarlas para la evaluación del efecto de la carga frutal en su huerto, por lo cual a pesar de no ser el algoritmo tan robusto como el publicado por Mery y Pereschy, 2005, consigue el objetivo deseado de obtener el Área de las manzanas y el color, bajo condiciones naturales de luz sin necesidad de implementar engorrosos sistemas de homogenización de la luz como los publicados en Mendoza et al., 2007, Xiaobo, et al 2007, León et al, 2006. De esta forma la utilidad del algoritmo radicaría en la posibilidad de monitorear el color y el área en terreno, prediciendo el desarrollo de este y de esta forma poder aumentar el tamaño muestral, para obtener aproximaciones más exactas.

DESARROLLO DE LA INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO. Ambas interfaces graficas de usuario desarrolladas, tienen la capacidad de cargar y abrir las imágenes deseadas, visualizar los resultados de los algoritmos utilizados paso a

paso, mostrar el histograma de las imágenes analizadas, etc. Lo que permite automatizar el proceso de procesamiento de la imagen.

Figura 9: Interfaces Gráficas de Usuario Desarrolladas



(A) Interfaz Gráfica de Usuario para el conteo digital de frutos, (B) Interfaz Gráfica de Usuario para la determinación del Área y CC en Manzanas cv Royal Gala.

A pesar que Matlab es un lenguaje de alto nivel, lo cual significa que la complejidad implícita en la programación es menor (Kendrick y Amman, 1999), sería necesario llevar el código a otro lenguaje de programación como C++ o Visual Basic para ser distribuidos entre los productores interesados en el desarrollo de estas herramientas.

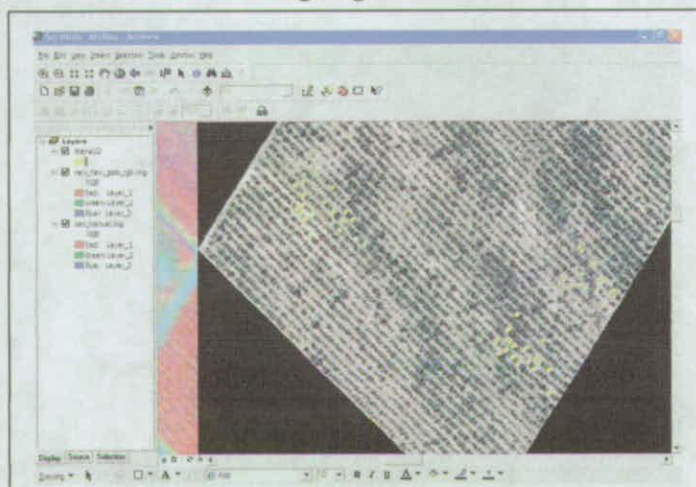
SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA. Para el sistema de información Geográfico desarrollado, este tiene la capacidad de mostrar capas de información georreferenciadas del huerto, como por ejemplo la foto RGB del huerto entero, la foto del Índice Vegetacional de Diferencia Normalizada, además tiene Capas de información de los árboles seleccionados en el experimento con los correspondientes resultados de calidad y Rendimiento.

En concordancia con lo expuesto por Neményi et al., (2003), el uso de estas tecnologías puede facilitar la toma de decisiones agrotecnológicas válidas, ya que por ejemplo se podría monitorear y tener información espacial sobre las labores que se están desarrollando en el cuartel y registrar año a año la carga frutal en

determinados árboles, entender la variabilidad que ocurre en el cuartel para aplicaciones diferenciadas de agroquímicos y manejos agronómicos.

Por lo demás en países mas desarrollados el uso de los SIG ya ha generado expectativas en los productores debido al desarrollo de mapas de bajo costo que pueden ser de gran ayuda en el manejo de los huertos (Hall et al, 2003; Da Costa et al, 2007) y en la generación de inventarios útiles para el gobierno en la estimación de las producciones (Viau et al 2005).

Figura 10: Sistema de información geográfica desarrollado.



CONCLUSIONES:

1. El efecto de la carga frutal sobre aspectos de calidad de fruta en manzano, responde al vigor del árbol, pero con interacciones variables en magnitud. En este sentido, la discriminación espacial de sitio específico de vigor del árbol, podría ser utilizada como técnica para definir criterios más precisos tanto para la regulación de la carga frutal, como la aplicación diferenciada de prácticas de regulación de la misma (raleo químico o manual).
2. La técnica propuesta para la evaluación de la carga frutal basada en imágenes RGB desde cámaras CCD (charge-coupled device) podría ser empleada como una herramienta fácil, objetiva y barata para la estimación de carga frutal en el huerto, sin embargo el algoritmo debería ser mejorado en el futuro .
3. El uso y desarrollo de IGU y SIG pueden utilizarse como una herramienta digital para aumentar el tamaño muestral y tomar mejores decisiones para la manipulación y predicción de la carga frutal en un huerto de manzanos.

BIBLIOGRAFÍA:

1. Annamalai, P. 2004. Citrus yield mapping system using machine vision. M. Sc. Thesis, University Of Florida, Agricultural and Biological Engineering, Gainesville, USA.
2. Autio, W.R., D.W. Greene, and W.J. Lord. 1996. Performance of 'McIntosh' apple trees on seven rootstocks and a comparison of methods of productivity assessment. *HortScience* 31 (7) : 1160–1163.
3. Barrit, B.H., C.R. Rom, K.R. Guelich, S.R Drake and M.A Dilley. 1987. Canopy position and Light effects on spur, leaf and fruit characteristics of "Delicious" apple. *HortScience*. 22 (3): 402-405.
4. Best, S. y L. Leon. 2006. Elementos de vitivinicultura de precisión. Boletín INIA N° 136. INIA-Quilamapu. Chillan, Chile.
5. Blasco, J., N. Aleixos and E. Moltó. 2003. Machine vision system for automatic quality grading of fruit. *Biosystems Engineering*. 85 (4): 415–423.
6. Bulanon, D.M., T. Kataoka, Y. Ota and T. Hiroma. 2002. A segmentation algorithm for the automatic recognition of fuji apples at harvest. *Biosystems Engineering* 83 (4): 405-412.
7. Chen, Y.R., K. Chao and M.S. Kim. 2002. Machine vision technology for agricultural applications. *Comput. Electron. Agric.* 36: 173- 191.
8. Chinchuluun, R., and W. Lee. 2006. Citrus yield mapping system in natural outdoor scenes using the watershed transform. [en línea]. An Asabe meeting Presentation. Disponible en: http://www.agen.ufl.edu/~wlee/Publications/ASAE_Paper_031002.pdf > [fecha de consulta: 8 Octubre 2007].
9. Chinchuluun, R., W. Lee and R. Ehsani. 2007. Citrus yield mapping System on a Canopy Shake and match harvester. [en línea]. An Asabe meeting Presentation. Disponible en: <http://www.agen.ufl.edu/~wlee/Publications/ASABE-Paper-073050-Chinchuluun.pdf> [fecha de consulta: 10 Octubre 2007].
10. Choi, Y.J., K.L. McCarthy and M.J. McCarthy. 2005. A MATLAB graphical user interface program for tomographic viscometer data processing. *Comput. Electron. Agric.* 47: 59–67.
11. Cook, S.E and G.V. Bramley. 1998. Precision agriculture- opportunities, benefits and pitfalls of site-specific crop management in Australia. *Aust. J. Exp. Agric.* 38: 753-763.

12. Chuang, T.C and M.S Abdul. 2006. Use of image analysis for grading size of mango. *Acta Hortic.* (710): 485-489.
13. Chuvieco, E. 1996. *Fundamentos de la Teledetección espacial.* (3a ed.). Rialp. Madrid, España.
14. Da Costa, J.P., F. Michelet, C. Germain, O. Lavialle and G. Grenier. 2007. Delineation of vine parcels by segmentation of high resolution remote sensed images. *Precision Agricultura.* 8: 95-110.
15. Escalera, H. De La. 2001. *Visión por Computador, Fundamentos y Métodos.* Pearson Educación. Madrid, España.
16. Silva, H. De., A. Hall, W. Cashmore and D. Tustin. 2000. Variation of fruit size and growth within an apple tree and its influence on sampling methods for estimating the parameters of mid-season size distributions. *Ann. Bot.* 86: 493-501.
17. Delong, J.M., R.K. Prangue, P.A. Harrison, C.G. Embree, D.S. Nichols and A.H. Wright. 2006. The influence of crop load, delayed cooling and storage atmosphere on post-storage quality of "Honeycrisp" apples. *J. Hortic. Sci Biotechnol.* 81 (3): 391-396.
18. Earl, R., G. Thomas and B. Blackmore. 2000. The potential role of GIS in autonomous field operations. *Comput. Electron. Agric.* 25: 107-120.
19. Elfving, D., C. Rom, N. Looney and B. Black. 1996. Physiology and regulation of tree fruit grow and development. pp 3 – 12 In: K.M. Maib, P.K. Andrews, G.A. Lang and K. Mullinix (Ed.) *Tree fruit development: growth and development.* Good fruit grower. Washington, U.S.A.
20. Egert, U., Th. Knott, C. Schwarz, M. Nawrot, A. Brandt, S. Rotter and M. Diesmann. 2002. MEA-Tools: an open source toolbox for the analysis of multi-electrode data with MATLAB. *J. Neurosci. Methods.* 117: 33-42.
21. Faust, M. 1989. *Physiology of temperate zone fruit trees.* John Wiley & Sons. Beltsville, USA.
22. Forshey, C.G. and D.C. Elfving. 1977. Fruit numbers, fruit size, and yield relationship in "Mcintosh" apples. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 102 (4): 399-402.
23. Forshey, C.G. and D.C. Elfving. 1989. The relationship between vegetative grow and fruiting in apple trees. *Hortic. Rev.* 11: 111-157.

24. Gil, G. 2004. Fruticultura: Madurez de la fruta y manejo postcosecha. Ediciones Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile.
25. González, R., R. Woods, 1982. Tratamiento digital de imágenes. Addison-Wesley / Diaz de Santos. Wilmington, U.S.A.
26. Grossman Y.L., and T.M. Dejong. 1994. Peach- a simulation-model of reproductive and vegetative growth in peach-trees. *Tree Physiol.* 14: 329–345.
27. Hall, A., J. Louis and D. Lamb. 2003. Characterising and mapping vineyard canopy using high spatial resolution aerial multispectral images. *Computers and Geosciences.* 29: 813–822.
28. Jaumot, J; R. Gargallo, A. Juan and R. Tauler. 2005. A graphical user-friendly interface for MCR-ALS: a new tool for multivariate curve resolution in MATLAB. *Chemom. Intell. Lab. Syst.* 76: 101–110.
29. Jessen, R. 1955. Determining the fruit count on a tree by randomized branch sampling. *Biometrics.* 11 (1): 99-109.
30. Jimenez, A.R., R. Ceres and J.L. Pons. 2000. A survey of computer methods for locating fruit on trees. *Trans. Asae.* 43 (6):1911-1920.
31. Kendrick, D.A and H.M. Amman. 1999. Programming languages in economics. *Computational Economics* 14: 151–18.
32. Lamb, D.W. 2000. The use of qualitative airborne multispectral imaging for managing agricultural crops- a case study in South- Eastern Australia. *Aust. J. Exp. Agric.* 40: 725 - 738.
33. Lemans, V., M.F. Destain and H. Magein. 2000. Quality fruit grading by colour machine vision: defect recognition. *Acta Hortic.* (517): 405 - 412.
34. Leemans, V., H. Magein and M.F. Destain. 2002. On-line fruit grading according to their external quality using machine vision. *Biosystems Engineering.* 83 (4): 397 – 404.
35. León, K., D. Mery, F. Pedreschi and J. León. 2006. Color measurement in $L^*a^*b^*$ units from RGB digital image. *Food Res. Int.* (39): 1084–1091.
36. Madieta, E. 2003. Apple colour measurements. some metrological approaches. *Acta Hortic.* (599): 337-342.

37. Mata, A.P., J. Val and A. Blanco. 2006. Prohexadione-calcium effects on the quality of 'Royal Gala' apple Fruits. . J. Hortic. Sci Biotechnol. 81 (6): 965–970.
38. MathWorks .2003. Image processing toolbox 5: User's Guide. [en línea]. The MathWorks Inc. Natick, U.S.A. Disponible en: http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/pdf_doc/images/images_tb.pdf. [fecha de consulta: 12 Marzo 2007].
39. McCartney, S., J.W. Palmer and H.M. Adams. 1996. Crop loading studies with 'Royal Gala' and 'Braeburn' apples: effect of time and level of hand thinning. N. Z. J. Crop Hortic. Sci. 24: 401–407.
40. McGlone, V.A., R.B. Jordan and P.J. Martinsen. 2002. Vis/NIR estimation at harvest of pre- and post-storage quality indices for 'Royal Gala' apple. Postharvest Biology and Technology 25: 135–144.
41. Mendoza, F., P. Dejmek and J.M. Aguilera. 2007. Colour and image texture analysis in classification of commercial potato chips. Food Res. Int. 40: 1146–1154.
42. Mery, D., and F. Pedreschi. 2005. Segmentation of colour food images using a robust algorithm. J. Food Eng. 66: 353–360.
43. Miranda, C., T. Girard and P. Lauri. 2007. Random sample estimates of tree mean for fruit size and colour in apple. Sci. Hortic. 112: 33–41.
44. Nakano, K. 1997. Application of neural networks to the color grading of apples. Comput. Electron. Agric. 18: 105–116.
45. Neményi, M., P.Á. Mesterházi, Z. Pecze and Z. Stépán. 2003. The role of GIS and GPS in precision farming. Comput. Electron. Agric. 40: 45– 55.
46. Nesme, T., D. Plenet, B. Hucbourg, G. Fandos and P. Lauri. 2005. A set of vegetative morphological variables to objectively estimate apple (*Malus x domestica*) tree orchard vigour. Sci. Hortic. 106: 76–90.
47. Nilo, C. 1999. Efecto de la carga frutal y época de raleo sobre el peso de frutos y productividad de manzano var Fuji. Memoria de título, Ing. Agron. Universidad de Chile, Fac. Cien. Agrar. For., Esc. Agron. Santiago, Chile.
48. Odi, M. 2000. Efecto de la carga frutal y época de raleo sobre el peso de frutos y productividad en manzano var, Braeburn. Memoria de título, Ing. Agron. Universidad de Chile, Fac. Cien. Agrar. For., Esc. Agron. Santiago, Chile.

49. Palmer, J.W., Y.L. Cai, and Y. Edjamo. 1991. Effect of part tree flower thinning on fruiting, vegetative growth and leaf photosynthesis in 'Cox' s Orange Pippin' apple. J. Hortic. Sci. 66 (3):319-325.
50. Palmer, J.W. 1991. Recent developments on light and fruit tree canopies. Acta Hortic. (349): 99-109.
51. Parrish, E.A. and A.K. Goksel. 1977. Pictorial Pattern recognition applied to fruit harvesting. Trans. Asae. 20: 822-827.
52. Paulus, I; R. De Busscher and E. Schrevens. 1997. Use of image analysis to investigate human quality classification of apples. J. Agric. Eng. Res. 68: 341-353.
53. Pavel, E. and T. Dejong. 1995. Seasonal patterns of nonstructural carbohydrates of apple (*Malus pumila* Mill.) fruits: Relationship with relative growth rates and contribution to solute potential. J. Hortic. Sci. 70 (1): 127-134.
54. Pérez, A.J., F. López, J.V. Benlloch and S. Christensen. 2000. Colour and shape analysis techniques for weed detection in cereal fields. Comput. Electrón. Agric. 25: 197-212.
55. Quintana, R. 2006. Análisis de la variabilidad espacial de rendimiento y calidad de frutos utilizando el índice de vegetación diferencial normalizado (NVDI) en huerto de manzano variedad Royal Gala. Memoria de título, Ing. Agron. Universidad de Concepción, Fac. Agron. Chillan, Chile.
56. Razeto, B. 1999. Para entender la fruticultura. (3ed) Bruno Razeto M. Santiago, Chile.
57. Reginato, G.H., V.G. García, T.L. Robinson and J. Varela. 2007. Crop load expressed in terms of intercepted photosynthetically active radiation can be used as a covariate to compare peach tree performance. J. Hortic. Sci. Biotechnol. 82 (5): 715-720.
58. Robinson, T.L., E.J. Seeley and B.H. Barritt. 1983. Effect of light environment and spur age on 'Delicious' apple fruit size and quality. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 108 (5): 855- 861.
59. Robinson, T.L., and A.N. Lakso. 1989. Light interception, yield and fruit quality of 'Empire' and 'Delicious' apple trees grown in four orchard systems. Acta Hortic. (243): 175-84.

60. Schueller, J.K., J.D. Whitney, T.A. Wheaton, W.M. Miller and A.E. Turner. 1999. Low-cost automatic yield mapping in hand-harvested citrus. *Comput. Electron. Agric.* 23:145–153.
61. Seelan, S.K., S. Laguet, G.M. Casady, and G.A. Seielstad. 2003. Remote sensing applications for precision agriculture: A learning community approach. *Remote Sens. Environ.* 88: 157- 169.
62. Slaughter, D.C. and R.C. Harrel. 1987. Color vision in robotic fruit harvesting. *Trans. Asae.* 30 (4):1144-1148.
63. Slaughter, D.C. and R.C. Harrel. 1989. Discriminating fruit for robotic harvest using color in natural outdoor scenes. *Trans. Asae.* 32 (2): 757-763.
64. Stajniko, D., M. Lakota and M. Hocevar. 2004. Estimation of number and diameter of apple fruits in an orchard during the growing season by thermal imaging. *Comput. Electron. Agric.* 42: 31–42.
65. Tabb, A.L., D.L. Peterson and J. Park. 2006. Segmentation of Apple Fruit from Video via Background Modeling. [en línea]. An ASABE Meeting Presentation. Disponible en: <http://cobweb.ecn.purdue.edu/RVL/Publications/Tabb06Segmentationofapple.pdf>. [fecha de consulta: 10 Octubre 2007].
66. Tian, L.F. and D.C. Slaughter. 1998. Environmentally adaptive segmentation algorithm for outdoor image segmentation. *Comput. Electron. Agric.* 21: 153–168.
67. Unay, D. and B. Gosselin. 2006. Automatic defect segmentation of 'Jonagold' apples on multi-spectral images: a comparative study. *Postharvest Biology and Technology.* 42: 271–279.
68. Viau, A., J. Jang, V. Payan and A. Devost. 2005. The Use of Airborne LIDAR and Multispectral Sensors for Orchard Trees Inventory and Characterization. Information and Technology for Sustainable Fruit and Vegetable Production FRUTIC 05, 12 . 16 September 2005, Montpellier France
69. Voltz, R.K., J.W. Palmer and H.M. Gibbs. 1995. Within-tree variability in fruit quality and maturity for 'Royal Gala' apple. *Acta Hortic.* (379): 67-74.
70. Wallace, A. 2006. Situación comercial de la industria Chilena exportadora de manzanas y peras. En: Asoex (Ed). II Ciclo de seminarios frutícolas de actualización técnico comercial: Pomáceas. Seminario ASOEX de Pomáceas. 11-12 Octubre, 2006. Club Manquehue, Santiago, Chile.

71. Wagenmakers, P.S. and O. Callesen. 1989. Influence of light interception on apple yield and fruit quality related to arrangement and tree height. *Acta Hortic.* (243): 149-158.
72. Westwood, M.N. and A.N. Roberts. 1970. The relationship between trunk cross sectional area and weight of apple trees. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 95 (1): 28-30.
73. Westwood, M. 1982. *Fruticultura de zonas templadas*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
74. Whittaker, A.D., G.E. Miles, O.R. Mitchell and L.D. Gaultney. 1987. Fruit location in a partially occluded image. *Trans. Asae.* 30 (3) :591-596.
75. Willaume, M., P.É. Lauri and H. Sinoquet. 2004. Light interception in apple trees influenced by canopy architecture manipulation. *Trees.* 18: 705-713
76. Wright , H., D. Nichols, and C. Embree. 2006. Evaluating the accountability of trunk size and canopy volume models for determining apple tree production potential across diverse management regimes. *Acta Hortic.* (707): 237- 243
77. Wünsche, J.N. and I.B. Ferguson. 2005. Crop load interactions in apple. *Hortic. Rev.* 31: 231- 290.
78. Xiaobo, Z., Z. Jiewen and L. Yanxiao. 2007. Apple color grading based on organization feature parameters. *Pattern Recogn. Letters.* 28: 2046-2053.
79. Yamaki, S. and K. Ishikawa. 1986. Roles of four sorbitol related enzymes and invertase in the seasonal alteration of sugar metabolism in apple tissue. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 111 (1): 134-137.
80. Zhang, N., E. Runquist, M. Schrock, J. Havlin, G. Kluitenburg, and C. Redulla. 1999. Making GIS a versatile analytical tool for research in precision farming. *Comput. Electron. Agric.* 22: 221-231.

SISTEMA DE GESTIÓN GEOGRÁFICO

PROGAP INIA – FIA

CORSIG



ProgapINIA

 GOBIERNO DE CHILE
FUNDACIÓN PARA LA
INNOVACIÓN AGRARIA
FIA

 GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE AGRICULTURA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
AGROPECUARIAS
INIA

- Instalar Corsig
- Manual del Software Corsig
- Requerimientos de Sistema

Esta distribución de Corsig
instalará los softwares PostgreSQL, PostGIS y uDig

 PostgreSQL
 PostGIS
 uDig

MANUAL DE USUARIO

INDICE

	Pág.
Bienvenidos a CORSIG	2
Instalar CORSIG	3
Conceptos Básicos de SIG	6
Historia	7
Porque es importante un SIG	7
SIG	8
Tipos de SIG	10
Para qué sirve un SIG	11
Componentes de un SIG	13
Datos y estructuras de un SIG	16
Tareas de un SIG	19
Integración y Modelado	21
Haciendo Mapas con SIG	23
Campos de Aplicación	23
Consultas Espaciales	24
Tutorial CORSIG	25
Conociendo el entorno uDig	26
Visualización de información	30
Más Información	35

BIENVENIDOS A CORSIG

El Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) y la Fundación para la Innovación Agraria (FIA) tienen el agrado de poner a disposición de la comunidad agropecuaria del país una herramienta computacional para la gestión de información geográfica, ideada especialmente pensando en las empresas agrícolas de los rubros de la fruticultura y vitivinicultura.

CORSIG es una distribución de un conjunto de software libre, además contempla el desarrollo de una serie de herramientas especialmente elaboradas para su aplicación en la agricultura, todo lo cual ha sido seleccionado e implementado por el Programa de Agricultura de Precisión (Progap) de INIA.

Los software seleccionados permiten la configuración de un Sistema de Información Geográfica (SIG), y corresponden a PostgreSQL, uno de los motores de bases de datos más robustos existentes en la comunidad de software libre; PostGIS, que agrega soporte para objetos geográficos al motor de bases de datos relacional de PostgreSQL; y uDig, el cual es un software SIG de código fuente abierto, para el que se desarrollaron los plugins que permiten adecuar estas herramientas para su uso en las empresas agrícolas.

PostgreSQL está liberado bajo la licencia de BSD.

PostgreSQL Database Management System

(Formalmente conocido como Postgres, también como Postgres95)

Portions Copyright (c) 1996-2005, The PostgreSQL Global Development Group

Portions Copyright (c) 1994, The Regents of the University of California

Udig está liberado bajo la licencia Pública General de GNU, LGPL.

PostGIS está liberado bajo la licencia Pública General de GNU.



INSTALAR CORSIG

Requerimientos de Sistema:

- Windows XP, con sistema de Archivos NTFS
- Procesador 800 Mhz o superior
- 300 MB libres en disco duro
- 256 MB Ram o superior
- No tener instalado PostgreSQL ni uDig en el sistema
- Tener acceso a la cuenta de administrador del equipo en que instalará el software y haber iniciado sesión en ella.

Instalación:

Si ha recibido CORSIG con un cd de instalación, al ingresarlo a su unidad lectora debe ejecutarse automáticamente el proceso de instalación, si esto no ocurre o ha descargado CORSIG desde nuestra página web, busque utilizando el Explorador de su sistema el archivo "Instalador.exe" ubicado en el cd o directorio en donde lo descargó y ejecútelo.

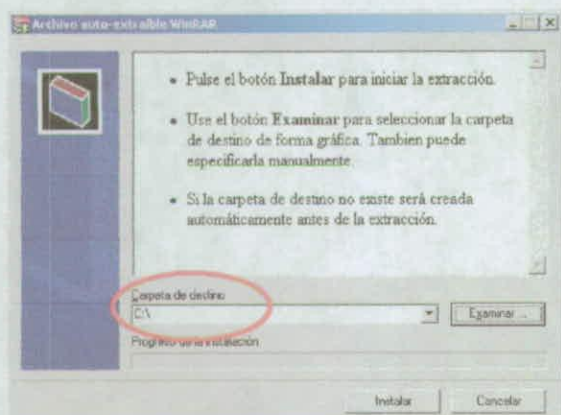
Aparecerá la siguiente pantalla:



La opción "**Instalar Corsig**" realizará el proceso de instalación de PostgreSQL, PostGISy Udig.

Siga las instrucciones de las pantallas, debe leer y aceptar los acuerdos de las licencias de cada uno de los software mencionados anteriormente. El directorio de destino de la instalación que aparece por defecto es: C:\Archivos de programa\CORSIG , se recomienda no modificarla para asegurar un correcto funcionamiento de los programas. El proceso puede tardar unos minutos, lo que dependerá de las características de su sistema.

Una vez instalados los softwares acceda al cd y ejecute el archivo llamado **Plugins_Corsig.exe**, este le permitira instalar los plugins desarrollados por Progap para la Agricultura de Precisión.



Debe tener la precaución de cambiar la Carpeta de destino, haga click en el botón "Examinar..." y seleccione la unidad C:\ de su computador, como se muestra en la imagen anterior, si le aparece un mensaje advirtiéndole que el archivo ya existe, seleccione la opción "Si a todo" para reemplazar los archivos antiguos e instalar los nuevos plugins del Corsig.

Una vez finalizada la instalación puede comenzar a utilizar los programas, nosotros utilizaremos de modo frecuente uDig, por lo que el proceso de instalación deja en su escritorio un acceso directo a este software.



También puede acceder a cualquiera de los programas recientemente instalados desde "Inicio/Todos los Programas/"

Ahora ya cuenta con las herramientas de Sistemas de Información Geográfica CORSIG, a continuación podrá conocer una breve introducción a los SIG y luego encontrará un tutorial con las funcionalidades básicas de uDig en particular y CORSIG en general.

Para mayor información sobre CORSIG y para conseguir nuevos tutoriales y ejercicios, lo invitamos a visitar la plataforma de gestión del conocimiento que el Programa de Agricultura de Precisión ha implementado para la difusión de estas tecnologías en <http://kms.progapinia.cl>

CONCEPTOS BASICOS DE SIG

Los sistemas de información se han convertido en herramientas muy efectivas de la ingeniería y de las ciencias básicas. El desarrollo vertiginoso del mundo de la informática ha permitido la creación de numerosos programas con aplicaciones específicas y en los cuales se ve contenido todo el conocimiento y el estado del arte en las diferentes áreas del saber.

Los *SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA* (SIG o GIS como sigla en inglés) son prueba de este progreso. Los SIG son un tipo especializado de sistemas que se distinguen por su capacidad de manejar información espacialmente referenciable y que permiten además su representación gráfica.

Se dice que son herramientas, porque ayudan a la información de elementos de juicio para la toma de decisiones luego que se han aprovechado sus funciones de captura, almacenamiento, refinamiento, análisis y visualización de la información.

Posiblemente el componente más importante de un SIG son los **DATOS**. Los datos Geográficos y una relación de datos tabulares. Las bases de datos se utilizan normalmente para salvar una variedad de información dependiendo del dominio de la aplicación elegida.

Los datos necesitan a menudo ser periódicamente actualizados tanto dentro de su estructura y valor, como de los cambios en el dominio de la aplicación. Al usar una base de datos, la idea es salvar la información de una manera tan cercana como sea posible a la representación de datos del *mundo real*.

Los sistemas de base de datos relacionales, han demostrado ser sólidos para soportar la construcción de sistemas de información. Sin embargo, si la información es compleja y estructurada, el modelo relacional presenta fuertes limitaciones. En algunas

situaciones se necesita recuperar información y hacer operaciones sin tener que reconstruir los datos.

Historia

El desarrollo de los *Sistemas de Información Geográfica* comienza en los años 60. Sin embargo hasta principios de los años 80 se mantuvieron como campo de investigación. El desarrollo de una tecnología informática adecuada, primero superminis y después las estaciones de trabajo, fomentaron la aparición de productos.

Los SIG en el mercado, se han venido aplicando fundamentalmente en organismos productores de información como la Administración Pública. A partir de 1990 la disponibilidad de información SIG y de productos Desktop Mapping para ambientes Windows ha propiciado su aplicación en empresas privadas, que lo utilizan como usuarios finales más que como productores de información.

¿POR QUÉ UN SIG ES IMPORTANTE?

Si se toma un momento para pensar sobre algunos de los temas más importantes que el país enfrenta actualmente (contaminación, congestión, desastres naturales, y demás), cada uno de ellos tiene una dimensión geográfica crítica. Por ejemplo, mapear enfermedades puede dar nuevas aproximaciones sobre las fuentes de infección, y formas de controlar su transmisión.

Temas locales, tales como porqué las primas de seguros son más elevadas en algunas áreas que en otras, porqué las manzanas crecen mejor en ciertos suelos que en otros, porqué se producen congestiones de tránsito, también son afectados por geografía.

Cuando se compra una casa nueva, probablemente se busquen propiedades cercanas a escuelas, dentro de un cierto tipo de barrio, debajo de un cierto precio, y con un determinado tamaño de predio.

Cuando se considera el impacto de un desastre tal como un terremoto, necesita analizarse información geológica y sísmica, y luego relacionarse con detalles sobre la población, propiedades e infraestructura que han sido o pueden ser afectados.

La solución a muchos problemas frecuentemente requiere acceso a varios tipos de información que sólo pueden ser relacionados por geografía. Sólo la tecnología SIG permite almacenar y manipular información usando geografía y para analizar patrones, relaciones y tendencias en la información, para ayudar a tomar mejores decisiones.

La tecnología SIG es más que sólo un sistema de computación; es también una industria importante y una disciplina académica. Desde su modesto origen hace casi 30 años, ha crecido para convertirse en una gran industria multimillonaria, empleando cientos de miles de personas alrededor del mundo.

El uso de tecnología SIG actualmente se enseña en los colegios y universidades alrededor del mundo. Los actuales jóvenes profesionales son cada vez más conscientes de las ventajas de pensar y trabajar desde un punto de vista geográfico.

SIG

El uso de los *Sistemas de Información Geográfica* (SIG) ha crecido en forma acelerada, convirtiéndose en algo común en negocios, universidades y gobiernos, donde ahora son usados para muchas y variadas aplicaciones. Consecuentemente, se han desarrollado muchas definiciones para SIG. Por ejemplo, una de esas definiciones es:

"Un conjunto organizado de hardware, software, datos geográficos y personal, diseñado para capturar, almacenar, actualizar, manipular, analizar y desplegar en forma eficiente todas las formas de información de orientación Geográfica".

Aunque esta definición es exacta, comprensiva y ampliamente aceptada, no le ayuda en gran forma a un principiante en SIG. Una definición más simple podría ser:

"Un sistema asistido por computador capaz de mantener, administrar y manejar datos que describen lugares sobre la superficie terrestre".

Otra definición un poco más extensa es la siguiente:

"Son un conjunto de recursos que permiten procesar, almacenar, analizar y producir información de tipo espacial (es decir, geométrica y geográficamente referenciada), y de información alfanumérica como es el caso de los atributos y las variables".

Si se utilizara una ecuación para resumir los elementos que constituyen el sistema, sería como sigue:

$$\text{SIG} = \text{SW} * \text{HW} * \text{DB} * \text{HR} * \text{P}$$

Donde:

SW: son los programas de computador.

HW: son los equipos de computación y periféricos.

DB: es la base de datos con toda la información pertinente.

HR: es el recurso humano capacitado.

P: son los procedimientos y procesos que se llevan a cabo.

Todos relacionados mediante el producto algebraico de tal manera que no pueda despreciarse ninguno de ellos.

Los SIG están constituidos por un conjunto de componentes informáticos físicos y lógicos que van a permitir la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelación, representación y salida de datos de cualquier territorio.

Algunas de las funciones típicas que un SIG puede desempeñar son: digitalización de mapas, edición de mapas digitales, estructuración topológica, despliegue de mapas y búsquedas, proyección de mapas, análisis de redes de flujo, análisis de superposición de vectores, generación de corredores (buffer), modelación basada en celdas, modelación superficial, composición e impresión de mapas.

La tecnología SIG integra operaciones típicas sobre bases de datos numéricas como por ejemplo búsquedas y análisis estadístico con los beneficios de la

visualización y análisis espacial que permiten generar los mapas. Esta habilidad es la que distingue a un SIG de otros sistemas de información y es lo que da un valor especial para los usuarios que lo utilizan para explicarse ciertos eventos, predecir resultados y planificar estrategias.

De las anteriores definiciones no queda demasiado claro el propósito práctico de este dispositivo, lo que es fundamental, ya que un Sistema de Información Geográfica se puede considerar esencialmente como una tecnología aplicada a la resolución de problemas territoriales. En principio, las áreas de uso práctico de un Sistema de Información Geográfica son muy variadas; desde el inventario de los recursos naturales y humanos hasta el control y la gestión de los datos catastrales y de propiedad urbana y rústica, la planificación y la gestión urbana y de los equipamientos, la cartografía y el control de grandes instalaciones.

TIPOS DE SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA

El término SIG engloba sistemas muy variados, aplicándose muchas veces a instalaciones que no son propiamente de un SIG. Se pueden distinguir tres tipos de programas que aunque puedan denominarse conjuntamente SIG tienen diferencias fundamentales en su ámbito de aplicación. En primer lugar distinguiremos un SIG propiamente dicho, como gran sistema informático que gestiona completamente una base de datos geográficos. Por otro lado delimitaremos las aplicaciones que se han dado en llamar Desktop Mapping (DM) sistemas de análisis y visualización integrados entre las aplicaciones Desktop de ordenador personal. Finalmente distinguiremos los sistemas de Diseño asistido por Ordenador (CAD) y sistemas afines.

Funcionalidad del SIG:

- Construir datos geográficos: Mediante datos geométricos existentes en CAD, o capturándolos por digitalización, vectorización de imágenes, GPS, etc., el sistema permite depurarlos y estructurarlos topológicamente, asociándolos con bases de

datos alfanuméricos. De esta forma se obtienen datos espaciales listos para su uso en el análisis.

- Modelado cartográfico: Creación de nuevos mapas a partir de mapas existentes; combinando atributos del terreno como pendiente, vegetación, tipo de suelo, etc., mediante un modelo matemático se pueden crear nuevas variables, como un índice de erodabilidad, de riesgo de incendios, etc.
- El SIG nos permite analizar los mapas estructurados en combinación con bases de datos asociadas. Se pueden interrogar para seleccionar los datos de interés, ver los resultados interactivamente eligiendo la simbología en función de los atributos asociados y producir cartografía de calidad.
- También se pueden preparar aplicaciones a medida, como un plan de control de incendios, de evaluación de impactos ambientales, un modelo que prevea la evolución de un incendio o de una inundación, aplicaciones verticales como un sistema de gestión municipal o una aplicación para una empresa agrícola, etc.

Limitaciones del SIG:

Un SIG es un gran sistema informático cuya implantación en una organización es siempre gradual y costosa. Se requiere siempre la adecuación del sistema al trabajo requerido, mediante programación (frecuentemente realizada por el suministrador del SIG) y recopilación de los datos necesarios (suministrados por otras organizaciones o introducidos por el cliente).

Para su explotación es necesaria la concurrencia de programadores junto con los profesionales del área del estudio en cuestión. No son pues, herramientas de usuario final, es decir, para profesionales no conocedores del SIG: *un SIG es una herramienta propia de una organización, no una herramienta personal.*

¿Para qué sirve un SIG?

Hasta ahora hemos descrito un SIG por medio de definiciones de tipo formal y por medio de su capacidad para satisfacer demandas espaciales, relacionando conjuntos de datos por medio de su localización geográfica. Igualmente un SIG puede

describirse también enumerando el tipo de demandas a las que puede responder. Un SIG suficientemente sofisticado puede responder a cinco preguntas genéricas:

Localización: ¿Qué hay en...?

La primera de las preguntas se refiere a identificar que es lo que se encuentra en una localización determinada. La localización puede describirse de varias formas, por ejemplo, por su topónimo, por su código postal, o por referencias geográficas como latitud y longitud.

Condición: ¿Dónde se encuentra?

La segunda demanda es la inversa de la primera y requiere un análisis espacial. En lugar de identificar lo que se encuentra en un punto. Lo que se busca es un lugar que reúna ciertas condiciones (por ejemplo, un terreno sin bosque, que tenga un área mayor de 2000 metros cuadrados, que esté a menos de 100 m. de una carretera y al que sus condiciones geotécnicas le permitan soportar edificios).

Tendencia: ¿Qué ha cambiado desde...?

Esta pregunta involucra a las dos anteriores y su respuesta establece que diferencias ocurren en un área determinada a través del tiempo.

Distribución: ¿Qué patrones de distribución espacial existen?

Esta pregunta es más compleja. Se plantea al querer determinar, por ejemplo, si el cáncer es una causa importante de mortalidad entre las personas que residen en las proximidades de una central nuclear. O también, al querer conocer cuántas situaciones anormales se producen en una determinada distribución espacial y donde se localizan.

Modelación: ¿Qué sucede si...?

Cuestión que se plantea al intentar conocer que pasa en un sistema cuando ocurre un hecho determinado, por ejemplo, qué le sucede a un sistema vial si construimos una carretera, o qué sucedería si se produjera un determinado vertido tóxico en la red de suministro de agua potable. Las respuestas requieren, además de la

información geográfica, otras informaciones adicionales, como pueden ser determinadas leyes científicas.

COMPONENTES DE UN SIG

Si se considera al SIG desde el punto de vista computacional, éste consta de un conjunto de periféricos y una unidad central (CPU), que se conoce como *hardware*, y del *software* o conjunto de programas que, coordinados por sistemas de gestión de bases de datos, permite la ejecución de funciones de entrada, análisis y salida de datos e información.

El **Hardware** está compuesto por periféricos de entrada y salida de datos, entre los periféricos de entrada podemos mencionar a la mesa digitalizadora, mouse, teclado, escáner. Entre los periféricos de salida de datos, tenemos Plotter, CD, discos, impresoras.

El **Software** es el conjunto de programas disponibles en el mercado, a los que se les conoce normalmente como SIG. Estos son variados en capacidad y pueden operar con datos en formato ráster o vectorial, variando también si operan en computadores personales o estaciones de trabajo. Las listas de software es larga y cada día se integran nuevas versiones, de acuerdo a las necesidades que los propios usuarios manifiestan a las empresas, en los encuentros y convenciones anuales que éstas realizan en distintos países del mundo.

Lo importante en todos estos software es que tengan la capacidad de localizar con precisión un elemento del territorio, ubicar y relacionar los elementos entre sí (relaciones topológicas) y asociar a cada elemento el conocimiento que se tiene de él, mediante atributos.

El componente más importante de un SIG son los **DATOS**. Primero y principalmente se requiere de buenos datos de base. Lograr esto frecuentemente absorberá el 60-80% del presupuesto de implementación de un SIG. Asimismo, recolectar buenos datos de base es un proceso largo, que frecuentemente demora el desarrollo de productos que pueden utilizarse para justificar la inversión. Un

compromiso a un alto nivel es indispensable para llevar la implementación de un SIG a través de esta fase.



Los Datos geográficos y los datos tabulares relacionados pueden obtenerse por levantamiento propio o adquirirse de un proveedor comercial de datos. La mayoría de los SIG emplean un SMBD (sistema de manejo de base de dato) para crear y mantener una base de datos para ayudar a organizar y manejar los datos.

El Personal en la tecnología SIG es de un valor limitado. Frecuentemente subestimado, sin gente, los datos se desactualizan y se manejan equivocadamente. El Hardware no se utiliza en todo su potencial y el Software se mantiene "misterioso".

En otras palabras, un SIG-Computacional, para ser tal, debe describir los objetos del territorio en términos de:

- **Localización:** se refiere a la ubicación de un fenómeno en el espacio mediante una serie de coordenadas con un origen en común. El sistema de coordenadas más

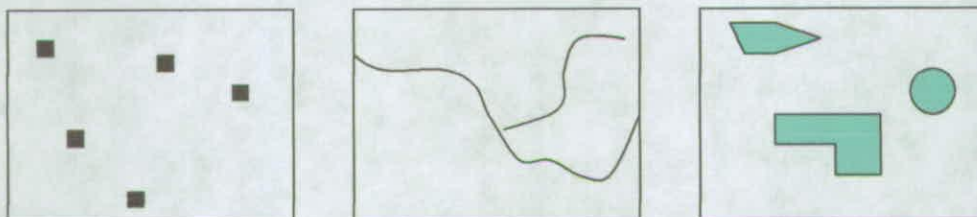
común es el cartesiano: par de ejes respecto al cual se define la posición relativa de cualquier punto en coordenadas X e Y.

- **Topología:** proceso matemático que reconoce las relaciones entre los elementos geométricos en un SIG, como contigüidad, continuidad y reconocimiento de áreas. Así se puede conocer la dirección y ubicación de los distintos elementos, permitiendo contestar preguntas como: ¿cuál es el punto más cercano a una casa?, ¿Qué elemento tengo a la izquierda o derecha?.
- **Atributos:** características de los elementos de un mapa descritas mediante un número de caracteres en forma de tablas relacionales; corresponden a datos externos que acompañan a la información espacial, a la geometría y topología, para definir el fenómeno en estudio. Por ejemplo, si una línea define un camino, el atributo de éste puede ser su calidad, ancho, nombre, etc.

DATOS Y ESTRUCTURAS DE UN SIG

Todos los fenómenos, procesos y elementos del territorio, pueden ser representados mediante elementos básicos los cuales se conocen como elementos geográficos, estos son:

- **Puntos:** elementos del mundo real que se asocian a una sola localización. Ej: pozos, postes, etc.
- **Líneas:** elementos que requieren de una secuencia de coordenadas espaciales. Ej: carreteras, redes de agua, etc.
- **Polígonos:** elementos que son representados por una secuencia de coordenadas que se encierran en un área. Ej.: zonas urbanas, zonas administrativas, cultivos, tranques, etc.



Todos ellos pueden ser localizados, relacionados, cuantificados y representados en un determinado nivel de resolución, de tal forma que gráficamente responda a los objetivos propuestos en forma implícita. Por ejemplo, si se necesita obtener información de superficie predial de una determinada comuna, el ingreso debe ser por ejemplo a escala 1:1.000 y no a una escala más pequeña que entregaría un dato erróneo.

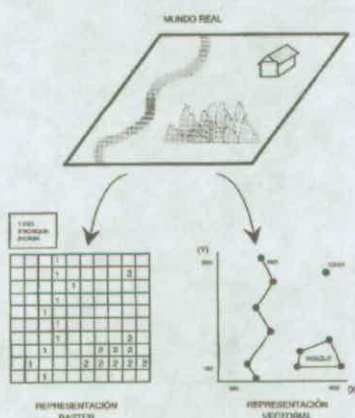
De igual forma, el territorio puede ser representado con un valor temático asignado a una unidad o superficie espacial mínima del territorio, la cual se define en función de la representación que se desee obtener. Esta unidad se conoce como celda, y la matriz continua de estas celdas, con los respectivos valores temáticos, representa la realidad que se quiere estudiar. Tal forma de representación se conoce como ráster.

ESTRUCTURA DE LOS DATOS

El almacenamiento y manejo de estos elementos del territorio constituyen los datos de un SIG, los que se manejan de acuerdo a determinadas estructuras (ráster o vectorial), las que a su vez definen las características y capacidades de los software. No obstante, hoy en día, ambos tipos de estructuras son amistosas, pudiéndose trabajar indistintamente con ambas, considerando las ventajas y desventajas de cada uno.

- **Estructura de datos vectorial:** secuencia ordenada de pares de coordenadas (x,y) referenciadas a ejes comunes, con las cuales se pueden generar puntos, líneas o polígonos. El modelo vector es extremadamente útil para describir características de variación continua, tal como tipo de suelo o costos de accesibilidad para hospitales, aplicación de modelos.
- **Estructura de celdas (ráster):** secuencia matricial de celdas con un origen común, definidas de acuerdo a un tamaño y por un número determinado de columnas y filas, el modelo ráster ha evolucionado para modelar tales características continuas. Una imagen ráster comprende una colección de celdas de una grilla más como un mapa o una figura escaneada.

Ambos modelos para almacenar datos geográficos tienen ventajas y desventajas únicas y los SIG modernos pueden manejar ambos tipos.



	VECTOR	RASTER
Ventajas	La información puede ser representada en su forma y resolución espacial original sin necesidad de ser generalizada	Debido a la forma y técnica de almacenamiento, el análisis espacial de la información es generalmente fácil de programar y rápido de ejecutar.
	La representación de los mapas vectoriales, es generalmente de una alta calidad gráfica.	La información de tipo discreta (Estaciones meteorológicas), se acomoda igual de bien que la información de tipo continuo (Información altimétrica), y facilita la integración de ambos tipos de información.
	Dado que la mayoría de la información disponible está en forma vectorial, no se requiere procesos de conversión posteriores.	
	Se mantiene una exacta localización geográfica de la información.	
Desventajas	Para un análisis efectivo, esta información debe ser convertida en una estructura topológica. Esto implica un procesamiento intensivo y un largo trabajo de limpieza y corrección de la información	El tamaño de la celda determina la resolución espacial a la cual la información es representada.
	Los algoritmos para las funciones de análisis y manejo de la información son complejos y pueden requerir un procesamiento intensivo, por lo tanto, el software tiende a ser de un costo más elevado.	Debido a la estructura de celdas, los análisis en redes (Network) son de difícil relación.
	Es complicado realizar análisis espacial e imposible aplicar técnicas de filtrados en el interior de los polígonos.	Dado a que la mayoría de la información cartográfica disponible se encuentra en formato vectorial, se debe realizar un proceso de conservación vector-ráster para trabajar con ellas; esto requiere un procesamiento intensivo y afecta la integridad de la información debido a la generalización que se produce.
		La representación de los mapas no es de una alta calidad gráfica.

Cuadro n°1, estructuras de datos

TAREAS DE UN SIG

Ingreso: Antes de que los datos geográficos puedan utilizarse en un SIG, deben ser convertidos a un formato digital adecuado. El proceso de convertir los datos de mapas analógicos en papel a archivos de computación se llama digitalización, las tecnologías modernas de SIG tienen la capacidad de automatizar este proceso completamente para grandes proyectos; proyectos menos importantes pueden requerir alguna digitalización manual.

Hoy en día, muchos tipos de datos geográficos existen en formas compatibles con SIG. Estos datos pueden obtenerse de proveedores y ser cargados en un SIG.

Manipulación: Es probable que los tipos de datos requeridos para un proyecto particular de SIG necesitarán ser transformados o manipulados de alguna forma para hacerlos compatibles al sistema. Por ejemplo, la información geográfica está disponible en diferentes escalas (archivos de ejes de calles pueden estar disponibles a una escala de 1:10.000; división predial a 1:1.000, y límites de áreas censales a 1:50.000). Previo a que estos puedan superponerse e integrarse, deben ser transformados a la misma escala. Esto puede ser una transformación temporaria con objetivos de visualización o una permanente requerida para análisis.

Manejo/Administración: Para proyectos menores de SIG, puede ser suficiente almacenar información geográfica como archivos de computación. Se llega a un punto, sin embargo, cuando los volúmenes de datos son grandes y el número de usuarios de los datos se convierte en más que unos pocos, en que es mejor usar SMBD para ayudar a almacenar, organizar y manejar la información.

Consulta: Una vez que se tiene un SIG en funcionamiento, conteniendo la información geográfica, puede comenzar a realizarse preguntas tales como:

¿Dónde se encuentran todos los sitios adecuados para construir nuevas casas?

¿Cuál es el tipo de suelo dominante para un bosque de determinado tipo?

Si se construye una nueva carretera en un determinado lugar, ¿cómo afectará al tránsito?.

Ambas consultas simples y sofisticadas, utilizando más de un nivel de datos, pueden proveer información necesaria a analistas y administradores por igual.

Análisis: Los SIG funcionan realmente en su terreno cuando se utilizan para analizar datos geográficos. Los procesos de análisis geográficos (frecuentemente llamado *análisis espacial o geoprocésamiento*) utilizan propiedades y características geográficas para buscar patrones y tendencias, para elaborar escenarios potenciales. Los SIG modernos tienen muchas herramientas analíticas poderosas, pero dos de ellas son especialmente importantes.

Análisis de proximidad: Los SIG se utilizan frecuentemente para contestar preguntas tales como:

¿Cuántas casas se encuentran a menos de 2 km. de un servicio policial?

¿Cuál es el número total de pacientes en un radio de 10 km. de un consultorio?

¿Qué proporción de niños viven en un radio de 500 m. del colegio?

Análisis de superposición: La integración de diferentes niveles de datos implica un proceso de superposición. En su forma más simple, esto podría ser una operación visual, pero operaciones analíticas requieren uno o más niveles de datos para ser unidos físicamente. Esta superposición, o unión espacial, puede integrar datos sobre suelos, pendiente, y vegetación, o posesión de tierras con análisis de impuestos.

Visualización: Para muchos tipos de operaciones geográficas, el resultado final se visualiza mejor como un mapa o gráfico. Los mapas son muy eficientes para almacenar y comunicar información geográfica. Mientras que los cartógrafos han creado mapas por milenios, los SIG proveen herramientas nuevas y emocionantes para extender el arte y la ciencia de la cartografía.

INTEGRACION Y MODELADO

El modelado es una de las funciones importantes dentro de un SIG, se refiere a un proceso geométrico, topológico, de integración de dos o más capas de información. De esta forma se genera un nuevo mapa, el cual se puede consultar de acuerdo a los objetivos previamente determinados.

Los tipos de modelamiento espacial se pueden realizar con mapas de puntos, en este caso que se busca la coincidencia de puntos; mapas de líneas, las situaciones son de búsquedas de puntos en líneas e intersección entre líneas; y lo que más se realiza es el modelado con capas de polígonos, en este caso se pueden encontrar las intersecciones entre punto en polígono, línea en polígono y entre polígonos.

SUPERPOSICION DE MAPAS

Mediante este procedimiento los mapas se integran bajo un estrato único para producir lo que se conoce como unidades Básicas de Análisis o Unidades Integradas de Territorio o Unidades Ecológicamente Homogéneas (Guevara J., 1988, Moreira y Azacarte, 1993). El hecho es, que al superponer varios estratos de información, se genera un nuevo mapa al cual se le pueden hacer consultas con criterios específicos y múltiples.

La superposición de mapas de polígonos se realiza mediante una fase geométrica y una temática. En la primera se trata de resolver qué polígonos de un mapa B intersectan un determinado polígono de un mapa A, determinar las coordenadas de intersección, identificar los polígonos de donde se derivan y finalmente elaborar la topología e identificarlos con un código único.

En la fase temática se trata de otorgarles valores a cada uno de ellos, los métodos para lograrlos depende del tipo de variable que contienen los polígonos originales, que pueden ser nominales u ordinales, o cuantitativas.

La superposición de mapas, además de ser una herramienta analítica, también es utilizada en una serie de procesos de manipulación de información.



HACIENDO MAPAS CON SIG

Los mapas tienen un lugar especial en un SIG. El proceso de hacer mapas con SIG es mucho más flexible que tradicionales aproximaciones cartográficas manuales o automáticas. Comienza con la creación de bases de datos. Pueden digitalizarse mapas existentes en papel y traducirse información computacional de distintos formatos al SIG. La base de datos cartográficas basada en el SIG puede ser continua y libre de escala. Los productos cartográficos pueden crearse centrados en cualquier localidad, a cualquier escala y mostrando información seleccionada simbolizada efectivamente para destacar características específicas.

CAMPOS DE APLICACION

Debido a que los SIG manejan datos espaciales, es objeto de varios usos en diferentes disciplinas humanas tales como:

Agricultura, planificación de uso del suelo, conservación de vida animal, planificación urbana, gestión forestal, industria pesquera, geología, arqueología, hidrología, gestión ambiental, estudios de monitoreo de los cambios climáticos, etc.



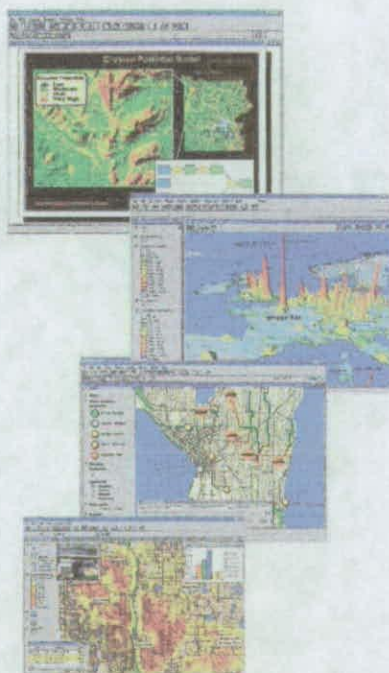
Un SIG almacena información sobre el mundo como una colección de coberturas temáticas asociadas a bases de datos que pueden ser relacionadas por su geografía, esto nos permite resolver problemáticas y a su vez crear un mejor desarrollo y

aprovechamiento de nuestros recursos. Este concepto simple pero muy poderoso ha resultado ser la clave para resolver muchos problemas de la vida real, desde diseñar rutas para recorridos de repartos hasta crear modelos de circulación atmosférica.

En el campo de los recursos naturales, especialmente en las disciplinas agroforestales, son utilizadas con diversos fines, que van desde la creación de cartografía de los recursos hasta la elaboración de modelos complejos y múltiples, los que debidamente integrados permiten la planificación agrícola y forestal: catastros de cultivos, catastros de bosques, distribución óptima de recursos, trazado de caminos, son algunos ejemplos.

CONSULTAS ESPACIALES

¿Cuánta gente trabaja con SIG en las mayores ciudades de Latinoamérica? ¿Qué ciudades están a 1000 km. una de la otra? ¿Cuál es la ruta terrestre más corta para llegar a ellas?. Estas son consultas espaciales que sólo pueden ser respondidas empleando los datos de latitud y longitud y otra información como el radio de la Tierra. Un sistema de Información Geográfica responde fácilmente tales preguntas.



TUTORIAL CORSIG



GOBIERNO DE CHILE
FUNDACIÓN PARA LA
INNOVACIÓN AGRARIA
FIA



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE AGRICULTURA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
AGROPECUARIAS
INIA

- Instalar Corsig
- Manual del Software Corsig
- Requerimientos de Sistema

Esta distribución de Corsig
instalará los softwares PostgreSQL, PostGIS y uDig



CONOCIENDO EL ENTORNO UDIG

Como se mencionó anteriormente, CORSIG es una distribución y personalización de software libre, que instala en su computadora herramientas de motor de bases de datos y sistemas de información geográfica. Esta última, conocida como SIG, mediante el programa uDig, con el cual trabajaremos frecuentemente para la visualización, consulta y análisis de información predial, de modo que permita gestionar dicha información para la toma de decisiones.

Como primer paso, nos familiarizaremos con el entorno de trabajo de uDig, para lograr fluidez en el manejo de las herramientas con las que cuenta por defecto y posteriormente con las implementadas por el Progap-INIA.

Sobre uDig

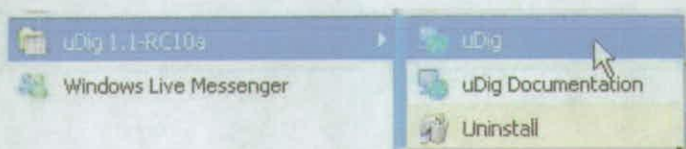
uDig (User-friendly Desktop Internet Gis) es un sistema de información geográfica de código fuente abierto desarrollado en Java sobre GeoTools, una librería (también de código fuente abierto) diseñada para proveer capacidad de manipular información geográfica a aplicaciones desarrolladas en Java. Se 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. El estar desarrollado en Java lo transforma en un software multiplataforma, pudiendo correr en sistemas operativos diversos como Windows, Linux, MacOS, etc. El 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, facilitando la masificación de estas tecnologías y poniendo al alcance de todos las herramientas fundamentales para el desarrollo e implementación de metodologías de agricultura de precisión.

Iniciar el programa

Para ejecutar uDig utilice el icono de acceso directo de su escritorio,



o desde "Inicio/Todos los Programas/ uDig 1.1-RC10a/uDig"






uDig se esta iniciando.

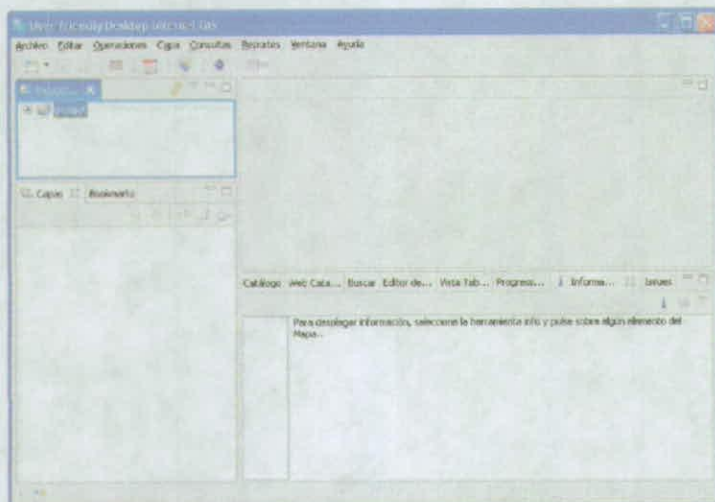
El entorno de trabajo

Al iniciar por primera vez uDig aparecerá una ventana de bienvenida.



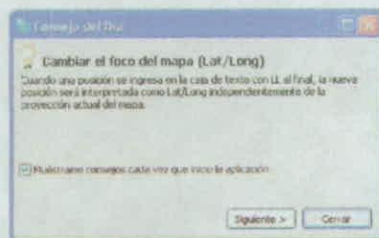
Si cuenta con acceso a Internet puede acceder al tutorial de introducción que provee el software (en inglés)  o visitar la página Web oficial de uDig .


Para cerrar esta bienvenida y acceder al entorno de trabajo haga click en la flecha . Puede volver a la vista Bienvenida en cualquier momento seleccionando el menú de Ayuda y escogiendo Bienvenido.



Vista del entorno de trabajo de uDig.

Generalmente, al iniciar el software, aparece una ventana con un mensaje llamado "Consejo del Día", esto es muy útil cuando se está aprendiendo a usar uDig. Puede ver más consejos usando el botón "Siguiente >", o cerrar la ventana para comenzar a usar el software. Si desea que no vuelvan a aparecer estos mensajes, quite la selección de la casilla de verificación que está al lado del mensaje "Muéstrame consejos..."



Como todo software que trabaja con ventanas, podemos minimizar, maximizar, redimensionar o cerrar uDig usando los botones de la esquina superior derecha . Se cuenta con un menú que permite acceder a las funciones del programa.

Archivo Editar Operaciones Capa Consultas Reportes Ventana Ayuda

Así como también cuenta con una barra de botones, para las funciones de uso frecuente.



También se cuenta con ventanas o vistas que permiten visualizar los mapas, ver los proyectos, capas, tablas, etc.

VISUALIZACIÓN DE INFORMACIÓN

Una de las características de los Sistemas de Información Geográfica es permitir la visualización de información que tiene un componente espacial, en la forma de mapas.

uDig es un software SIG que trabaja preferentemente con información vectorial, es decir, representa los componentes del paisaje en forma simplificada a través de elementos geométricos tales como puntos, líneas y polígonos.

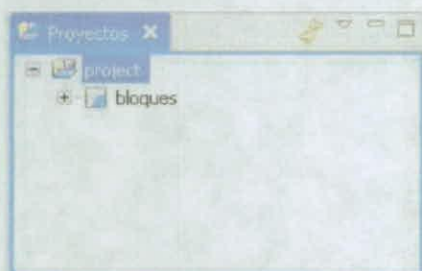
Para facilitar el manejo de la información, se separan los componentes del paisaje en temas comunes para ser representados por separado, así es que representamos por separado los ríos de los caminos, los predios, tipos de suelo, pozos, postes de la luz, etc.


Cada capa de información utiliza solamente un tipo de elemento geométrico para su representación, o sea, no podemos tener una capa que mezcle puntos y polígonos al mismo tiempo. Una capa o tema puede tener uno o muchos elementos, como por ejemplo puede tener 20 puntos, representando 20 pozos noria.

Visualizar información en uDig

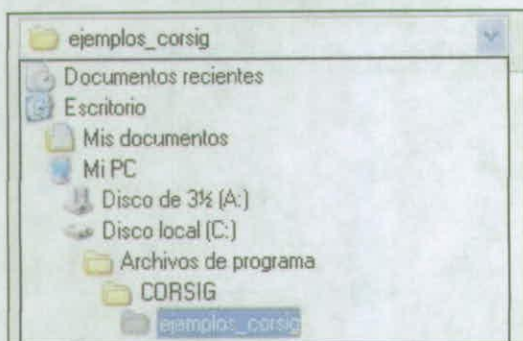
Inicie uDig para comenzar a trabajar con un proyecto nuevo.

Si tiene algún proyecto en la ventana "Proyectos", selecciónelo y presione la tecla suprimir para eliminarlo.

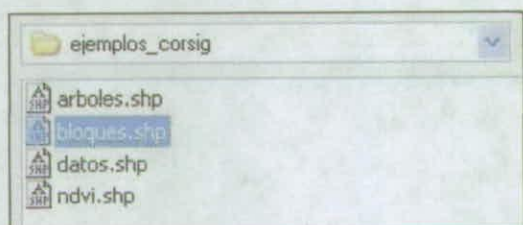


Presione el botón agregar  y aparecerá una ventana que le permite seleccionar el origen de los datos, seleccione la opción "Archivos" y presione el botón "Siguiente >", en la siguiente ventana seleccione la ruta en la que se encuentran los archivos que desea agregar a su mapa y luego los archivos deseados. En este ejercicio utilizaremos los

archivos que el Progap ha puesto a su disposición en la carpeta "C:/Archivos de Programa/CORSIG/ejemplo_corsig"

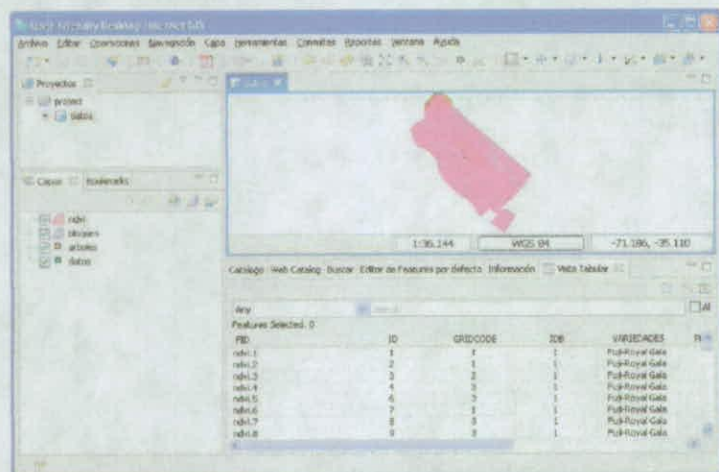


Una vez que se dirija a esa carpeta, podrá ver el contenido de ella y seleccionar los archivos de su interés.

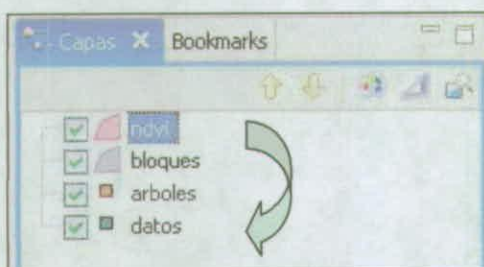


Para seleccionar más de un archivo puede dejar presionada la tecla "Ctrl" y dar click en otros archivos, en este caso seleccione todos los archivos de la carpeta y de click en el botón "Abrir", espere a que se muestren los temas en la ventana del mapa.

Ahora uDig debería verse más o menos así:

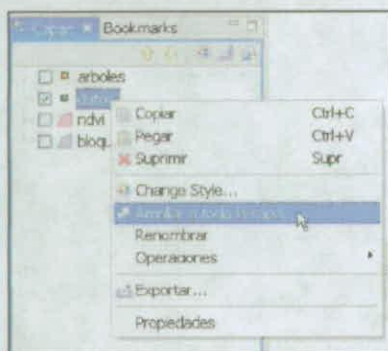


En la ventana "Capas" ordene los temas de modo que aquellos que están representados por polígonos (ndvi, bloques) queden en la parte inferior de la lista, por debajo de los puntos y, si los hubiera, de las líneas. Esto se consigue presionando y arrastrando cada capa a la posición deseada. De esta forma podremos visualizar en forma adecuada los elementos del mapa, ya que éstos se representan en el mismo orden que aparecen en la lista de "Capas" y si los polígonos se encuentran ubicados sobre los puntos, al estar rellenos con un color ocultarían los elementos que estén debajo.



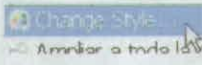
En la imagen anterior se puede ver que al lado del nombre de cada capa aparece un símbolo que indica el tipo de elemento geométrico con el que se representa. También se ve una casilla de verificación que cuando está encendida indica que la capa es "visible" en el mapa. La capa que está resaltada en azul corresponde a la capa que se encuentra "activa", es decir, sobre la cual se aplican las acciones que se realizan en las distintas ventanas o mediante los distintos menús o botones.

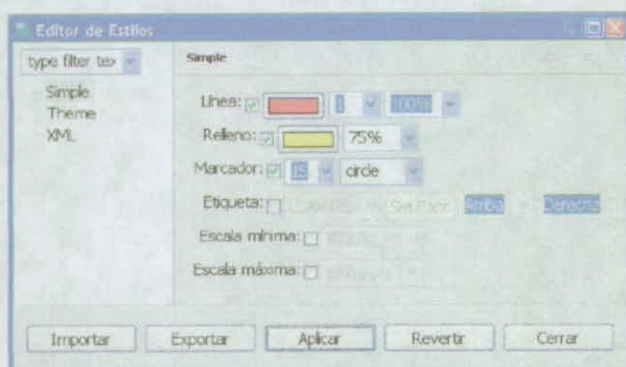
Apague todas las capas excepto "datos", haga clic en el nombre de la capa con el botón derecho del Mouse, aparece un menú contextual, seleccione la opción "Ampliar a toda la capa", en la ventana del mapa podrá ver que ocurre un redimensionamiento del área visible, ajustándose al tamaño de la capa seleccionada.



La capa de puntos llamada "datos" corresponde a un ejemplo de selección de algunos árboles de un cuartel, al que se le han agregado datos en el campo "Valor" de la tabla. Para ver la tabla debe pinchar en la lengüeta llamada "Vista Tabular".

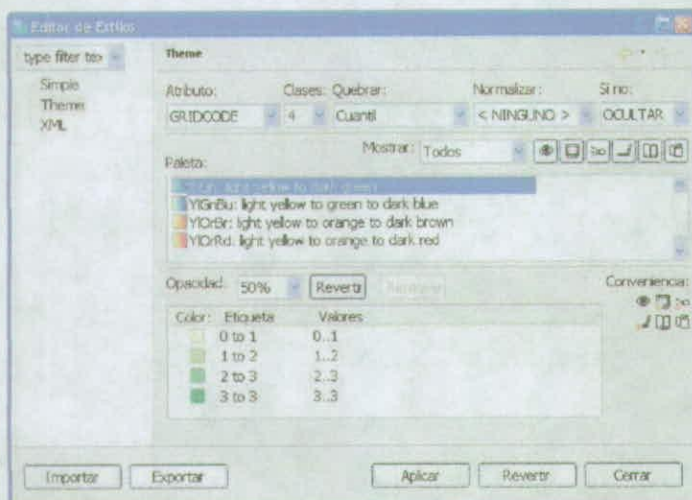
A continuación cambiaremos la forma de visualizar los puntos que representan a los árboles. Por defecto, al agregar una capa de información, el sistema asigna un símbolo de forma cuadrada a los puntos, con un color aleatorio. Haga click con el botón derecho

nuevamente, seleccione la opción "Change Style"  (Fíjese que en la ventana de Capas también aparece un icono que cumple la misma función, así como también se puede realizar este proceso desde la barra de menús, bajo el menú Capa"), en la ventana del "Editor de Estilos" note que al lado de "Marcador" aparece un tamaño "6" y forma "square", pruebe cambiando ambos parámetros y pinchando en el botón "Aplicar", hasta que encuentre una combinación de su agrado, pruebe cambiando, además, el color de relleno, el porcentaje de opacidad, el color y ancho de la línea que rodea al punto.



Ahora probaremos algo similar con una capa de polígonos, Haga visible la capa "ndvi" y de un click sobre el nombre para que se transforme en la capa activa (debe quedar resaltada en azul), note en la ventana del mapa que inicialmente todos los polígonos de una capa aparecen del mismo color.

Utilice alguna de las opciones mencionadas para iniciar el "Editor de Estilos". En la sección izquierda de la ventana, en lugar de la opción "Simple", escoja "Theme" y configure según la imagen que aparece a continuación:



La opción Atributo corresponde a los campos de la tabla o base de datos asociada a la capa de información, cualquier campo numérico nos permite realizar un degradado de colores para representar la capa, los campos alfanuméricos permiten asignar un color distinto a cada valor único de la tabla. Las paletas de colores pueden ser restringidas según su conveniencia de uso en distintas situaciones, como en el caso de uso en impresión, proyección con DataShow, para personas daltónicas y otros casos. Además de las paletas de colores que trae uDig por defecto, es posible personalizar los colores a utilizar, de un click en el color que desee modificar y aparecerá un botón con puntos suspensivos, pínchelo y podrá seleccionar un nuevo color básico o personalizado.



MÁS INFORMACIÓN

Para aprender más sobre la utilización de las herramientas de uDig puede comunicarse con el Programa de Agricultura de Precisión del Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Progap-INIA, a través de la plataforma de gestión del conocimiento ubicada en la URL <http://kms.progapinia.cl>
Esta plataforma se irá poblando con material tutorial, e-learning y foros de discusión del tema.

INIA-Quilamapu
Av. Vicente Méndez 515, Chillán
042-209750
042-209761
sbest@inia.cl