



Informe técnico de avance

Nombre del proyecto	“Servicio de detección, segmentación y de control sitio-específica de malezas en cultivos industriales, a través del uso de tecnologías de “remote-sensing” de alta precisión”
Código del proyecto	PYT-2013-0153
Nº de informe	FINAL
Período informado	desde el 22 de Mayo 2014 hasta el 30 de Mayo 2016
Fecha de entrega	30 Mayo 2016

INSTRUCCIONES PARA CONTESTAR Y PRESENTAR EL INFORME

- Todas las secciones del informe deben ser contestadas, utilizando caracteres tipo Arial, tamaño 11.
- Sobre la información presentada en el informe:
 - Debe estar basada en la última versión del Plan Operativo aprobada por FIA.
 - Debe ser resumida y precisa. Si bien no se establecen números de caracteres por sección, no debe incluirse información en exceso, sino solo aquella información que realmente aporte a lo que se solicita informar.
 - Debe ser totalmente consistente en las distintas secciones y se deben evitar repeticiones entre ellas.
 - Debe estar directamente vinculada a la información presentada en el informe financiero y ser totalmente consistente con ella.
- Sobre los anexos del informe:
 - Deben incluir toda la información que complemente y/o respalde la información presentada en el informe, especialmente a nivel de los resultados alcanzados.
 - Se deben incluir materiales de difusión, como diapositivas, publicaciones, manuales, folletos, fichas técnicas, entre otros.
 - También se deben incluir cuadros, gráficos y fotografías, pero presentando una descripción y/o conclusiones de los elementos señalados, lo cual facilite la interpretación de la información
- Sobre la presentación a FIA del informe:
 - Se deben entregar tres copias iguales, dos en papel y una digital en formato Word (CD o pendrive).
 - La fecha de presentación debe ser la establecida en el Plan Operativo del proyecto, en la sección detalle administrativo. El retraso en la fecha de presentación del informe generará una multa por cada día hábil de atraso equivalente al 2 por mil del último aporte cancelado.
 - Debe entregarse en las oficinas de FIA, personalmente o por correo. En este último caso, la fecha válida es la de ingreso a FIA, no la fecha de envío de la correspondencia.

CONTENIDO

1.	ANTECEDENTES GENERALES	4
2.	EJECUCIÓN PRESUPUESTARIA DEL PROYECTO.....	4
3.	RESUMEN DEL PERÍODO.....	5
4.	OBJETIVO GENERAL DEL PROYECTO	6
5.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS (OE)	6
6.	RESULTADOS ESPERADOS (RE)	7
7.	CAMBIOS Y/O PROBLEMAS	13
8.	ACTIVIDADES REALIZADAS EN EL PERÍODO	14
9.	HITOS CRÍTICOS DEL PERÍODO	16
10.	CAMBIOS EN EL ENTORNO	17
11.	DIFUSIÓN.....	17
12.	CONCLUSIONES	18
13.	ANEXOS	21

1. ANTECEDENTES GENERALES

Nombre Ejecutor:	SOCIEDAD LEICHTLE Y BEST LTDA
Nombre(s) Asociado(s):	ORAF TI CHILE S.A.
Coordinador del Proyecto:	Ronald Leichtle Cifuentes
Regiones de ejecución:	Biobío
Fecha de inicio iniciativa:	22 de Mayo 2014
Fecha término Iniciativa:	30 mayo 2016

2. EJECUCIÓN PRESUPUESTARIA DEL PROYECTO

Costo total del proyecto			
Aporte total FIA			
Aporte Contraparte	Pecuniario		
	No Pecuniario		
	Total		

Acumulados a la Fecha		Monto (\$)
Aportes FIA del proyecto		
1. Aportes entregados	Primer aporte	
	Segundo aporte	
	Tercer aporte	
	n aportes	
2. Total de aportes FIA entregados (suma N°1)		
3. Total de aportes FIA gastados		
4. Saldo real disponible (N°2 – N°3) de aportes FIA		
Aportes Contraparte del proyecto		
1. Aportes Contraparte programado	Pecuniario	
	No Pecuniario	
2. Total de aportes Contraparte gastados	Pecuniario	
	No Pecuniario	
3. Saldo real disponible (N°1 – N°2) de aportes Contraparte	Pecuniario	
	No Pecuniario	

2.1 Saldo real disponible en el proyecto

Indique si el saldo real disponible, señalado en el cuadro anterior, es igual al saldo en el Sistema de Declaración de Gastos en Línea (SDGL):

SI	X
NO	

2.2 Diferencia entre el saldo real disponible y lo ingresado en el SDGL

En el caso de que existan diferencias, explique las razones.

No aplica

3. RESUMEN DEL PERÍODO

Informar de manera resumida las principales actividades realizadas y los principales resultados obtenidos en el período. Entregar valores cuantitativos y cualitativos.

Durante este cuarto periodo de ejecución de la actual iniciativa, las actividades de investigación y desarrollo asociadas al mismo han estado focalizadas en avanzar sobre los siguientes aspectos: (1) inicio segunda temporada (validación) de la experiencia inicial guiada para la discriminación de malezas en condiciones de terreno, usando equipamiento Vis/NIR de punto (una curva espectral a la vez), considerando un diseño experimental que por una parte sigue el planteamiento experimental inicial y, por otra se prepara un segundo ensayo en condiciones de campo y ante una variación en las proporciones maleza/cultivo. El acento ha continuado siendo la discriminación temprana de la respuesta de las plantas ante aplicaciones de distintos herbicidas al follaje. (2) el otro punto de interés asumido ha correspondido a la continuación del proceso puesta a punto de equipo hiperespectral, incluyendo, test en laboratorio y entrenamiento, feedback con equipos técnicos de Norteamérica, actualizaciones de software y hardware entre otros. (3) se continúa con la recopilación y puesta a punto de algoritmos y programas necesarios para la discriminación de imágenes hiperespectrales. Por los hitos logrados en los puntos antes mencionados, se pueda hacer un buen balance a la fecha de las actividades desarrolladas en relación a los objetivos planteados en el proyecto.

Los pasos a seguir corresponden a la etapa de captura en condiciones de terreno de equipamiento multiespectral, en cultivos de invierno para junio-agosto 2015 y analítica asociada a las actividades, que incluirá selección de rangos y filtros espectrales para su uso en la discriminación maleza / cultivo.

4. OBJETIVO GENERAL DEL PROYECTO

Desarrollar y validar comercialmente un servicio de detección, segmentación y de control sitio-específica de malezas presente en cultivos industriales, a través de la integración de un sistema hiper y multiespectral de imágenes.

5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS (OE)

5.1 Porcentaje de Avance

El porcentaje de avance de cada objetivo específico se calcula luego de determinar el grado de avance de los resultados asociados a éstos. El cumplimiento de un 100% de un objetivo específico se logra cuando el 100% de los resultados asociados son alcanzados.

Nº OE	Descripción del OE	% de avance a la fecha
1	Implementar un sistema aéreo de identificación de longitudes de onda relevantes para el reconocimiento y discriminación de malezas en cultivos e integración de esta información con un sistema multiespectral de captura de imágenes.	100%
2	Desarrollar los sistemas de cálculo para estimación espacial del nivel de infestación y discriminación de los tipos de malezas presente en cultivos e integración con sistema informático para generación de mapas de aplicación sitio-especifica de herbicidas.	100%
3	Difundir técnicamente y comercialmente los resultados del proyecto	100%

6. RESULTADOS ESPERADOS (RE)

6.1 Cuantificación del avance de los RE a la fecha

Nº OE	Nº RE	Resultado Esperado (RE)	Indicador de Resultados (IR)					% de avance a la fecha
			Nombre del indicador	Fórmula de cálculo	Estado actual del indicador	Meta del indicador (situación final)	Fecha alcance meta	
1	1	Definición exitosa de las longitudes de onda que discriminan malezas con un 90% de precisión	Numero de malezas que son discriminadas exitosamente	Nº de malezas	0	4 malezas	Diciembre 2015	100%
Descripción y justificación del avance de los resultados esperados a la fecha.								
A la fecha de cierre del proyecto ya se había ejecutado el 100% de las actividades asociadas al Resultado Esperado 1 del OE 1, lográndose los objetivos propuestos de discriminar a lo menos cuatro malezas con un 90% de precisión.								
Documentación de respaldo (indique en que nº de anexo se encuentra)								
ANEXO 1								

Nº OE	Nº RE	Resultado Esperado (RE)	Indicador de Resultados (IR)				% de avance a la fecha	
			Nombre del indicador	Fórmula de cálculo	Estado actual del indicador	Meta del indicador (situación final)		Fecha alcance meta
1	2	Integración exitosa del sistema hiper y multiespectral sobre una plataforma aérea	Sistema aéreo de captura de imágenes multiespectral funcionando con filtros adecuados	Nº Sistema funcionando sobre plataforma aérea	0	1	Febrero 2016	100%
Descripción y justificación del avance de los resultados esperados a la fecha.								
<p>Al cierre de este proyecto se habían ejecutado el 100% de las actividad asociadas al resultado esperado 2 del OE1, pudiéndose integrar exitosamente las tecnologías de captura de imágenes hiperespectral y multiespectral sobre una plataforma aérea tripulada. Esta integración consistió en definir con la tecnología hiperespectral las bandas de luz sobre las cuales se pueden discriminar las malezas del cultivo y cuya información sirvió para definir los filtros ópticos que se instalaron en la cámara multiespectral y que irían sobre la plataforma aérea.</p>								
Documentación de respaldo (indique en que nº de anexo se encuentra)								
ANEXO 2								

Nº OE	Nº RE	Resultado Esperado (RE)	Indicador de Resultados (IR)					% de avance a la fecha
			Nombre del indicador	Fórmula de cálculo	Estado actual del indicador	Meta del indicador (situación final)	Fecha alcance meta	
2	3	Los algoritmos de cálculo para la estimación del nivel de infestación de malezas a nivel espacial funcionan correctamente	Algoritmos probados y funcionando	Existen / no existe	0	existe	Febrero 2016	100%
Descripción y justificación del avance de los resultados esperados a la fecha.								
A la fecha de termino del proyecto se habían ejecutado el 100% de las actividad asociadas al resultado esperado 3 del OE2, resultando de su ejecución la definición de los algoritmos que permiten calcular el nivel de infestación de malezas en una parcela.								
Documentación de respaldo (indique en que nº de anexo se encuentra)								
ANEXO 3								

Nº OE	Nº RE	Resultado Esperado (RE)	Indicador de Resultados (IR)					% de avance a la fecha
			Nombre del indicador	Fórmula de cálculo	Estado actual del indicador	Meta del indicador (situación final)	Fecha alcance meta	
2	4	Desarrollo exitoso de un sistema informático de prescripción sitio-especifica.	Sistema de mapeo sitio-especifico funcionando	Nº sistemas de mapeo sitio-especifico	0	1	Marzo 2016	100%
Descripción y justificación del avance de los resultados esperados a la fecha.								
A la fecha de termino del proyecto se habían ejecutado el 100% de las actividad asociadas al resultado esperado 4 del OE2, donde se obtuvo una integración efectiva de los algoritmos de discriminación a un sistema informático que permitiera identificar y localizar las malezas, así como también de calcular las dosis variables de aplicación de herbicidas en función del tipo de maleza y la biomasa existente de estas en el potrero.								
Documentación de respaldo (indique en que nº de anexo se encuentra)								
ANEXO 4								

Nº OE	Nº RE	Resultado Esperado (RE)	Indicador de Resultados (IR)				% de avance a la fecha	
			Nombre del indicador	Fórmula de cálculo	Estado actual del indicador	Meta del indicador (situación final)		Fecha alcance meta
3	5	Realización de días de campo con agricultores para presentación del nuevo servicio	Días de campo desarrollados exitosamente	Nº de días de campo	0	2	Mayo 2016	100 %
Descripción y justificación del avance de los resultados esperados a la fecha.								
A la fecha de cierre del proyecto ya se había ejecutado el 100% de las actividades asociadas al Resultado Esperado 5 del OE 3, con la realización de los días de campo con agricultores para la difusión de los resultados del proyecto.								
Documentación de respaldo (indique en que nº de anexo se encuentra)								
ANEXO 5								

Nº OE	Nº RE	Resultado Esperado (RE)	Indicador de Resultados (IR)					% de avance a la fecha
			Nombre del indicador	Fórmula de cálculo	Estado actual del indicador	Meta del indicador (situación final)	Fecha alcance meta	
3	6	Realizar convenios y alianza comercial para el nuevo servicio.	Alianzas y convenios realizados	Nº de convenios y alianzas	0	4	Marzo 2016	100%
Descripción y justificación del avance de los resultados esperados a la fecha.								
A la fecha de término del proyecto se habían ejecutado el 100% de las actividades asociadas al Resultado Esperado 6 del OE3, generándose alianzas comerciales y técnicas con empresas importantes de la agroindustria (Orafti Chile S.A., Coopeval S.A. y Bionutrición Ltda) y de producción de agroquímicos (Bayer Chile).								
Documentación de respaldo (indique en que nº de anexo se encuentra)								
ANEXO 6								

7. CAMBIOS Y/O PROBLEMAS

Especificar los cambios y/o problemas en el desarrollo del proyecto durante el período informado.

Describir cambios y/o problemas	Consecuencias (positivas o negativas), para el cumplimiento del objetivo general y/o específicos	Ajustes realizados al proyecto para abordar los cambios y/o problemas
<p>Existió un retraso en el inicio del proyecto debido a dificultades administrativas asociadas al otorgamiento de las pólizas de garantías del proyecto</p>	<p>El proyecto se inicio con un retraso de 2 meses ya que no se disponían de los recursos para la compra de los equipos de medición óptica. Lo anterior desencadeno que las mediciones que debían realizarse en el mes de Septiembre (2014) no pudieron ser realizadas lo cual obligo a trasladar estas mediciones para Marzo y Septiembre de 2015.</p>	<p>Se realizo una solicitud de ajuste de las fechas de alcance de metas, la cual fue aprobada por FIA.</p>
<p>Producto de unas modificaciones que debían realizarse a la configuración de la cámara Hiperespectral, esta debió ser enviada al fabricante (BaySpec) en USA, para los correspondientes Upgrade del sistema.</p>	<p>Esto produjo un retraso en las mediciones que se habían programado realizar durante el mes de Junio del 2015.</p>	<p>Se realizo una solicitud de ajuste de la fecha de alcance de metas en los referido a la definición de las longitudes de onda de discriminación. Esta solicitud fue aprobada por FIA.</p>
<p>No existe claridad sobre los servicios post-venta que pude ofrecer el proveedor del sistema inercial que se integrara a la cámara</p>	<p>Dado que el proveedor es de USA y no cuenta con representante en Chile para su sistemas de IMU, existe la probabilidad de que ante cualquier problema técnico con el sistema no se tendrá una respuesta oportuna para dar solución y asistencia</p>	<p>Se solicita poder cambiar el proveedor del sistema inercial que en un inicio era GeoSnap Co, por la empresa Nacional Loiter System, quienes tienen una gran experiencia en integración de sistemas de navegación en aeronaves no tripuladas. Esta solicitud fue aprobada por FIA.</p>

multiespectral.	técnica.	

8. ACTIVIDADES REALIZADAS EN EL PERÍODO

8.1 Actividades programadas en el plan operativo y realizadas en el período del informe

Las actividades realizadas durante el periodo comprendido entre el 22 de Mayo 2014 y el 30 de Mayo 2016 fueron las siguientes:

Definición exitosa de las longitudes de onda que discriminen malezas con un 90% de precisión.

- Confección de base de datos inicial para establecimiento de puntos de monitoreo en prueba piloto, en función de información preexistente.
- Análisis multivariado de clusters y segmentación de área en función de información de suelo y topografía del área de la prueba piloto.
- Desarrollo de metodología de recopilación de información mediante equipamiento hiperespectral.
- Organización de base de cubos hiperespectrales obtenidos a partir de los sitios definidos para la prueba piloto.
- Definición de los distintos niveles de daño e infestación de malezas en las imágenes hiperespectrales, según información capturada en terreno.
- Despliegue de información contenida en cubos hiperespectrales según los distintos niveles de infestación en matrices de dos dimensiones y rotulación de la información según nivel de infestación, tipo de maleza y % de la población total asociada.
- Determinación de las longitudes espectrales de interés usando algoritmos de segmentación (métodos de ipls y algoritmos genéticos).

Integración exitosa del sistema hiper y multiespectral sobre una plataforma aérea.

- Búsqueda de opciones de filtros (bandpass) en base de datos de proveedores internacionales según las longitudes de onda definidas.
- Adquisición de filtros adecuados que puedan ser acoplados o adaptados en cámara multiespectral Tetracam.
- Realizar prueba de funcionamiento del sistema en una plataforma aérea.

Los algoritmos de cálculo para la estimación del nivel de infestación de malezas a nivel espacial funcionan correctamente.

- Desarrollo y evaluación de modelo de cálculo, que incluya (a) solo variables asociadas a los filtros escogidos, esto es, mediante el uso de la información multiespectral recopilada y (b) dichas longitudes de onda en conjunto a variables de cultivo y suelo.

- Despliegue de la información en planillas de cálculo para su posterior representación espacial

Desarrollo exitoso de un sistema informático de prescripción sitio-específica.

- Diseño de sistema informático que integre (a) los algoritmos de cálculo para la estimación de nivel de infestación de malezas (b) algoritmo de aplicación variable de herbicida en función de tipo de maleza, nivel de infestación, ingrediente activo para el control y materia orgánica del suelo (c) variables espaciales.

Realización de días de campo con agricultores para presentar el nuevo servicio.

- Organizar día de campo con agricultores.

8.2 Actividades programadas y no realizadas en el período del informe

No aplica

8.3 Actividades programadas para otros períodos y realizadas en el período del informe

No aplica

8.4 Actividades no programadas y realizadas en el período del informe

No aplica

9. HITOS CRÍTICOS DEL PERÍODO

Hitos críticos	Fecha programada de cumplimiento	Cumplimiento (SI / NO)	Documentación de respaldo (indique en que nº de anexo se encuentra)
Definir las longitudes de onda específicas que permiten la discriminación de a los menos 4 malezas.	Diciembre 2015	Si	Anexo 1
Integración exitosa de los sistemas hiper y multiespectral en plataforma aérea	Febrero 2016	Si	Anexo 2

9.1 En caso de hitos críticos no cumplidos en el período, explique las razones y entregue una propuesta de ajuste y solución en el corto plazo.

No aplica

10. CAMBIOS EN EL ENTORNO

Indique si han existido cambios en el entorno que afecten el proyecto en los ámbitos tecnológico, de mercado, normativo y otros

Existe por parte de la industria elaboradora de agroquímicos una nueva mirada frente al uso racional de herbicidas, producto de la diseminación descontrolada de malezas resistentes a moléculas específicas de herbicidas. Lo anterior a traído como consecuencia que muchas de estas industrias estén interesadas en el uso sitio-especifico de los herbicidas para de esta forma reducir las posibilidades de apariciones de nuevas resistencia, así como también para desarrollar estrategias de uso racional de los agroquímicos en los campos.

11. DIFUSIÓN

11.1 Describa las actividades de difusión programadas durante el período:

Fecha	Lugar	Tipo de Actividad	Nº participantes	Documentación Generada
29/11/2015	Fundo Las Aostas	Día de Campo	24	Anexo 6 (Listado)
27/05/2016	Fundo San Isidro	Día de Campo	13	Anexo 6 (Listado)

11.2 Describa las actividades de difusión realizadas durante el período:

Fecha	Lugar	Tipo de Actividad	Nº participantes*	Documentación Generada*

*Debe adjuntar en anexos material de difusión generado y listas de participantes

12. CONCLUSIONES

12.1 ¿Considera que los resultados obtenidos hasta la fecha permitirán alcanzar el objetivo general del proyecto?

Al finalizar el proyecto podemos decir que los objetivos planteados en un inicio en este proyecto fueron alcanzados plenamente pese a los inconvenientes encontrados durante su desarrollo. Es así como se logro identificar exitosamente las bandas dentro de las curvas de refracción que permiten la segregación óptica de las malezas bajo estudio con respecto a diferentes cultivos. También se pudo integrar de buena forma, los resultados obtenido del uso de la cámara hiperespectral con una cámara multiespectral, mediante el uso de filtros específicos que dieran a este último equipo la capacidad de poder discriminar malezas del cultivo, todo esto integrado para ser usado en una aeronave tripulada que de una mayor eficiencia en la captura de este tipo de imágenes y lograr con ello bajos costos para el cliente. También se logro integrar exitosamente a una plataforma informática los algoritmos desarrollados para la discriminación de malezas, junto con el desarrollo de una herramienta para el cálculo y distribución espacial de dosis variable de herbicida. En general la recepción de los potenciales clientes a este nuevo servicios ha sido muy positiva dadas las repercusiones económicas que esto puede tener en su negocio, tomando en cuenta que prácticamente el 20% de los costos totales de los cultivos tienen relación con el uso de herbicidas.

12.2 ¿Considera que el objetivo general del proyecto se cumplirá en los plazos establecidos en el plan operativo?

Al la fecha de termino del proyecto se ha cumplido exitosamente con los establecido en el plan operativo.

12.3 ¿Ha tenido dificultades o inconvenientes en el desarrollo del proyecto?

Las dificultades que se tuvieron en el desarrollo del proyecto tienen relación con el atraso en la partida del proyecto y con la necesidad de realizar un upgrade de la cámara hiperespectral para su correcta operación. Ambas situaciones fueron informadas debidamente en el informe 2 y 3 del proyecto y no tuvieron mayores repercusiones en los resultados finales de esta iniciativa.

12.4 ¿Cómo ha sido el funcionamiento del equipo técnico del proyecto y la relación con los asociados, si los hubiere?

En relación al equipo técnico involucrado en el proyecto podemos indicar que su desempeño durante la ejecución del programa fue exitosa, donde su aporte en conocimientos y destrezas para la búsqueda de las bandas específicas de discriminación, la integración de los sistemas y desarrollo de plataforma y software, fueron valiosas y efectivas para el desarrollo de un servicio altamente eficiente y a bajo costo.

En cuanto al asociado al proyecto (Orafti), su aporte fue muy necesario para el éxito del proyecto. Por una parte, aportó con los recursos necesarios para montar los ensayos de campo y su mantenimiento, y por otra parte la entrega de valiosa información de cómo interactúan las malezas en los diferentes cultivos.

12.5 En relación a lo trabajado en el período informado, ¿tiene alguna recomendación para el desarrollo futuro del proyecto?

No existen recomendaciones para futuros proyectos.

12.6 Mencione otros aspectos que considere relevante informar, (si los hubiere).

- Se encontró una importante mejora técnica para la generación de cubos hiperespectrales de los vuelos desarrollados en condiciones de viento. Al mismo tiempo, se estandarizó la captura de imagen a una altura de 300 m.
- En base a los resultados, se puede señalar que en las condiciones experimentales se pudo discriminar estos dos tipos de ballica (R y no R) y entre trigo y ballica-R por lo cual se pudo proceder a desarrollar la búsqueda de las bandas que más aportan a dicha discriminación.
- Los intervalos candidatos a constituirse en bandpass filter para la discriminación de estas especies corresponden a los de 650, 730, 751 y 792 nm. La primera longitud de onda está en el rango visible (anaranjado), 730 nm al intervalo conocido como "límite rojo " mientras que 751 y 792 nm a infrarrojo cercano. El set de filtros puede ser completado con una banda centrada en el verde, (550 nm) y en rojo (700 nm) del espectro visible.
- Se logra una correcta integración de los filtros que se determino por el estudio de bandas espectrales y la cámara multiespectral Tetracam. También se integra exitosamente el sistema IMU de navegación a la cámara.
- Los Algoritmos desarrollados son efectivos para detectar digitalmente y espacialmente los niveles de infestación y su localización de manera eficiente y efectiva.

13. ANEXOS

ANEXO 1

1 Definición exitosa de las longitudes de onda que discriminen malezas.

1.1 Confección de base de datos

A inicios del proyecto se elaboro un registro de datos del lugar de medición y que contemplaba información sobre rotación de cultivos en el área de ensayo, herbicidas utilizados anteriormente, manejos culturales y datos climáticos de la zona.

Tabla 1. Datos relevantes para selección del área de trabajo del proyecto

Rotación de cultivo	Achicoria - Trigo - Maíz - Remolacha - Trigo
Herbicidas utilizados en cultivo anterior con efecto residual.	Pyramin (BASF) utilizado en dosis bajas por lo cual no represento una amenaza para el cultivos y las malezas que se medirían con el proyecto
Datos climático ultima temporada.	2015/2016: primavera lluviosa con temperaturas moderadas y periodo estival con temperaturas altas

1.2 Análisis multivariado de clusters y segmentación de área.

Se integraron los datos obtenidos de la topografía de suelo, mapa de conductividad y compactación para definir e lugar específico donde se montaría las pruebas del proyecto, a objeto de evitar ruido en las mediciones por efecto de excesos de humedad o menor capacidad de enraizamiento de las plantas. Para ello se levanto información con equipos de medición en terreno (figura 1) y posteriormente se procedió a realizar un análisis multivariado de cluster con dicha información (figura 2).

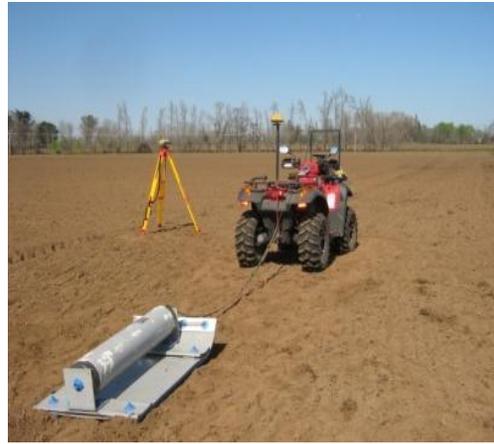
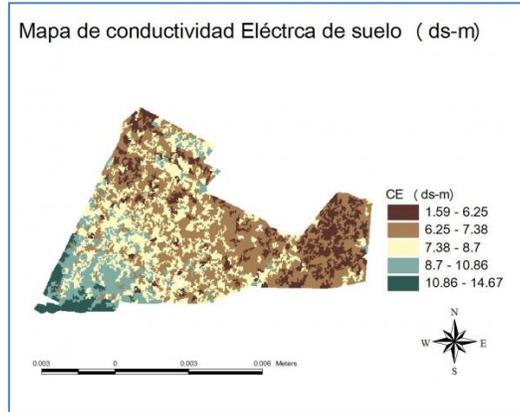
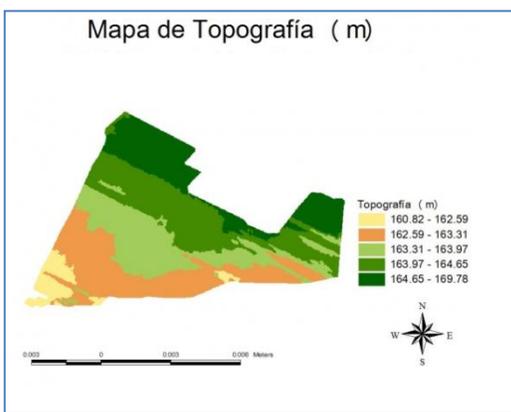


Figura 1. Instrumento utilizados para caracterizar la zona de prueba del proyecto.



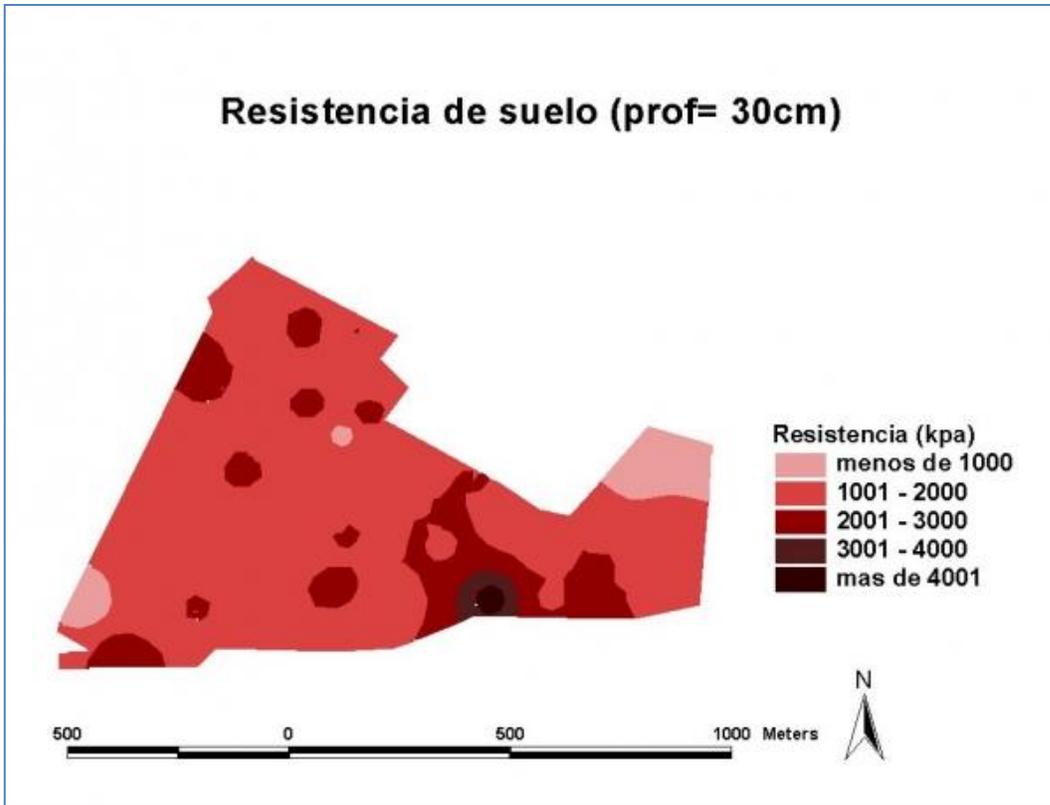


Figura 2. Resultados de mediciones en terreno



Figura 3. Resultado de clusterización de información recogida en terreno para definición de zona de prueba

1.3 Desarrollo de metodología de recopilación de información mediante equipamiento hiperespectral.

La metodología desarrollada para la integración de tecnologías ópticas multi e hiper espectrales, que permitan una discriminación eficiente de malezas, fue desarrollada siguiendo los principios de la energía reflejada por un cuerpo y que de acuerdo a su características químicas y físicas pueden estar reflejando mayor o menor cantidad de un rango de longitud de onda de energía (ver figura 4)

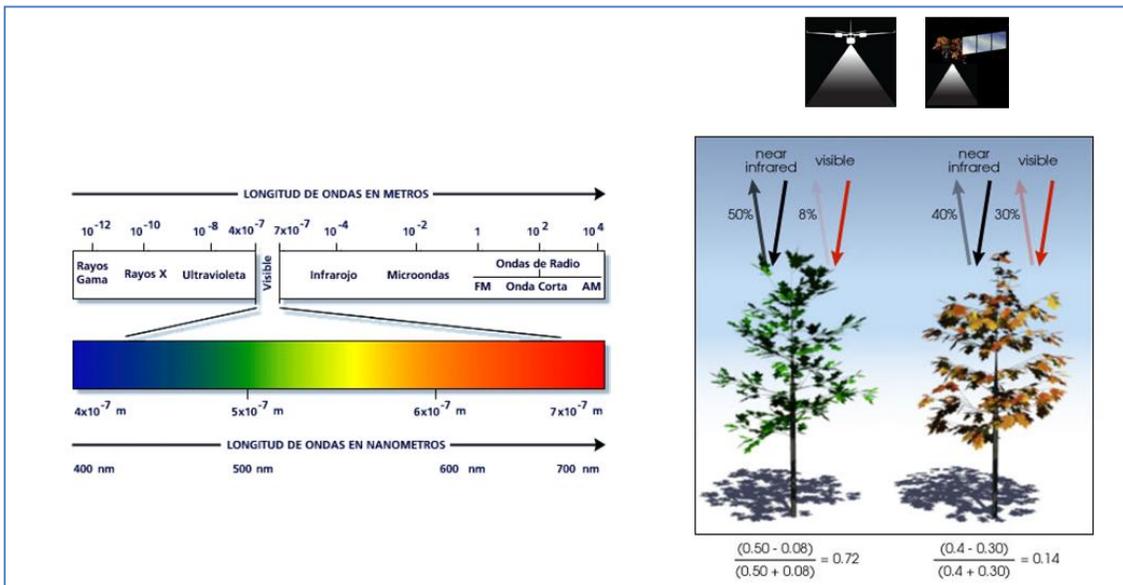


Figura 4. Principio de refracción de energía de un cuerpo y que son captados por sensores remotos.

La cantidad y tipo de energía refractada por una planta dependerá en gran medida de la especie y cultivar que se desarrolla. Cada planta tiene su propia "huella espectral" que la caracteriza de otras especies y que permite por tanto discriminar un tipo de planta de otra (figura 5). Este principio está siendo cada vez mas utilizando por empresas y organismos gubernamentales para dimensionar las superficies de siembra y de plantación año a año.

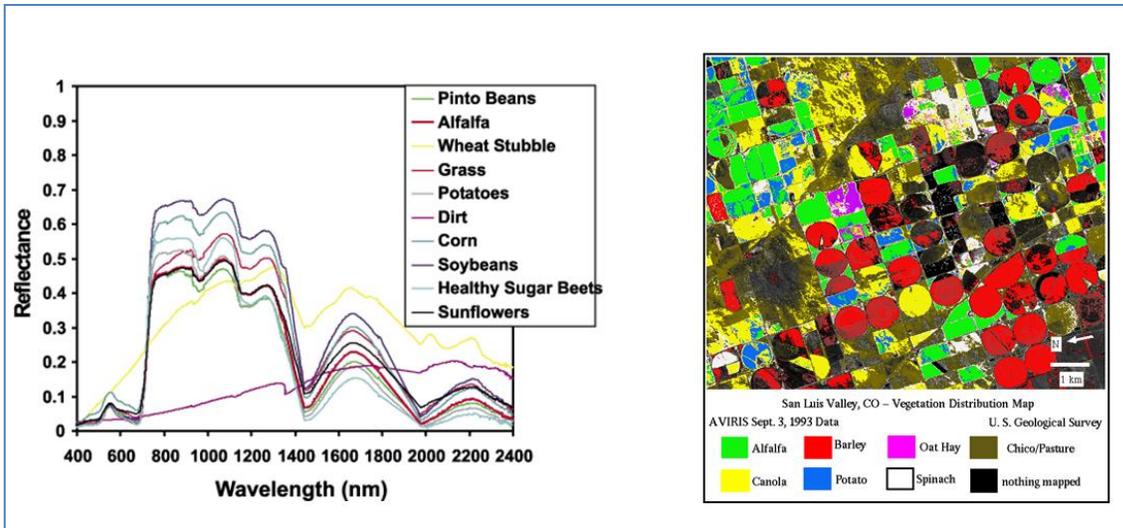


Figura 5. diferentes huellas espectrales asociadas a distintas especies de plantas y que permiten su discriminación.

El uso de tecnologías de "remote sensing" permite capturar la luz reflejada por una planta y cuantificar las longitudes de ondas específicas, por lo cual es factible diferenciar una planta de otra en términos espectrales. Entre estas tecnologías se encuentran las cámaras hiperespectrales que registran la luz reflejada por una hoja y son capaces de cuantificar en pequeñas bandas cuanto de éstas están siendo reflejadas para su mejor discriminación.

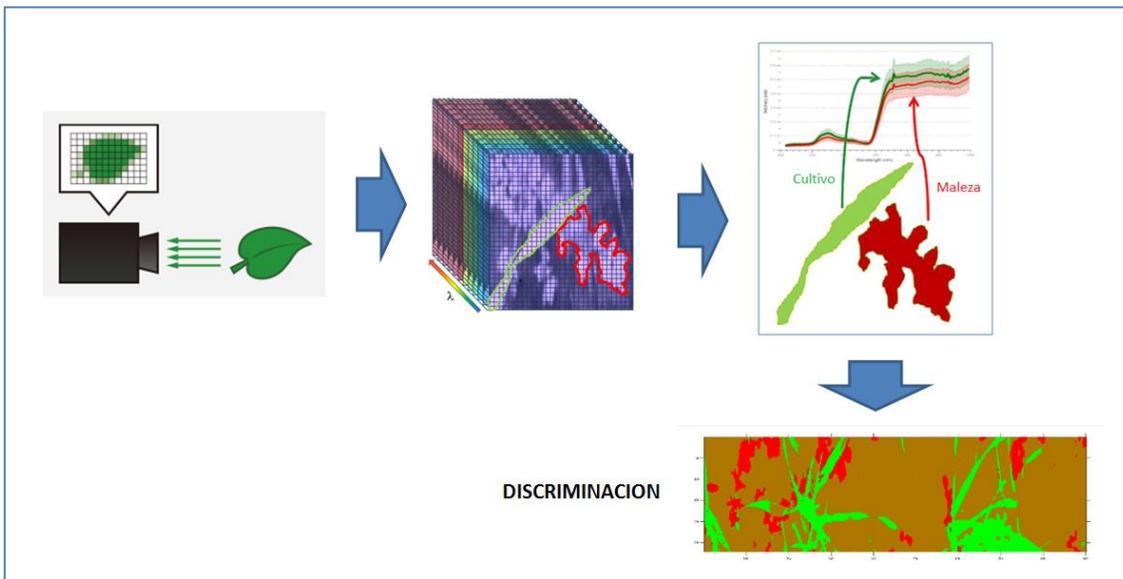


Figura 6. Esquema de cómo funciona una cámara hiperespectral para discriminación entre malezas y cultivo.

Para ello la empresa LB-Track adquirió con el apoyo de FIA una cámara hiperespectral y un sistema de anclaje que permite operar este equipo bajo plataformas de UAV o de aviones tripulados. El equipo adquirido corresponde a una cámara BaySpec modelo OCI 2000 y es hoy la

cámara hiperespectral más pequeña del mundo. Entre sus características es que este equipo puede captar la energía entre las longitudes de onda de 400 a 980 nm y con una resolución espectral de 4 nm lo cual es muy apropiado para lo que se quiere medir en el proyecto.

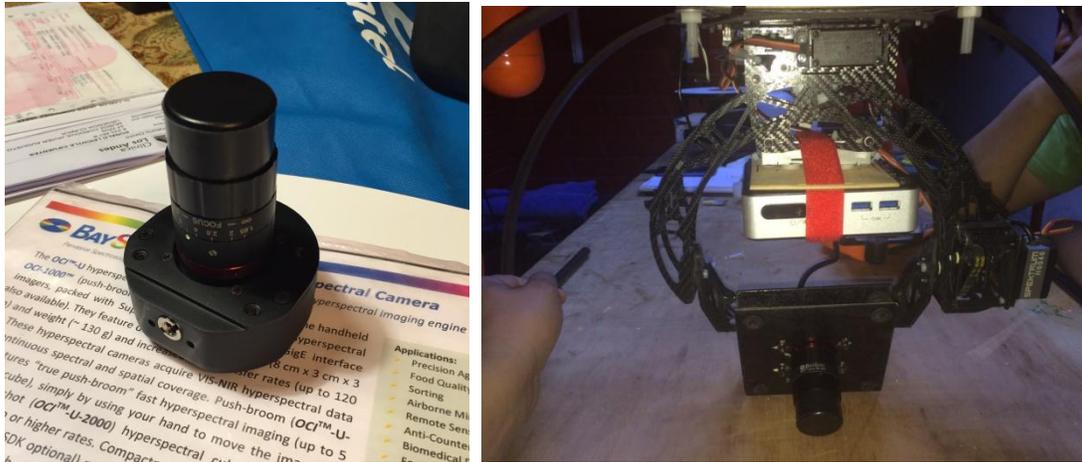


Figura 7. a). cámara hiperespectral BaySpec OCI 2000; b). Soporte cámara para montar en UAV y avión tripulado.

Para las mediciones de campo se definió que el cultivo y la maleza estuvieran en una fase temprana de desarrollo (4 hojas verdaderas), periodo en el cual se realizarían los vuelos con un UAV que permite levantar hasta 3 kg de peso. En esta plataforma se monto la cámara hiperespectral y se realizaron mediciones sobre el cultivo con malezas a diferentes alturas, con diferentes grados de infestación y diferentes tratamientos de herbicidas a objeto de poder definir posteriormente las curvas espectrales y con ello la porción del espectro de luz que permite la discriminación del cultivo de las malezas bajo diferentes condiciones.



Figura 8. Esquema de mediciones realizadas en terreno entre los meses de Abril a Agosto del 2015.

2. Determinación de las longitudes espectrales para la discriminación

2.1 Captura de Datos en Terreno

Con el propósito de extraer información de campo en condiciones ambientales reales, (viento, iluminación, etc.), y a partir de distintos biotipos de malezas (resistentes vs no resistentes) y trigo, el vuelo de medición con la cámara hiperspectral fue desarrollado en julio de 2015 que simula las condiciones en las cuales se tendrá que realizar los servicios.



Figura 9. Preparación de sistema de captura hiperspectral en UAV Microdrone.

En la figura 10 se puede apreciar una vista panorámica del sitio de medición y también la organización general de la trayectoria de los vuelos y la distribución espacial de los cultivos y malezas escaneados. Para tres (323, 412, 440) biotipo de malezas de interés se posiciono en terreno un par de estacas en el testigo y tratamiento 9.

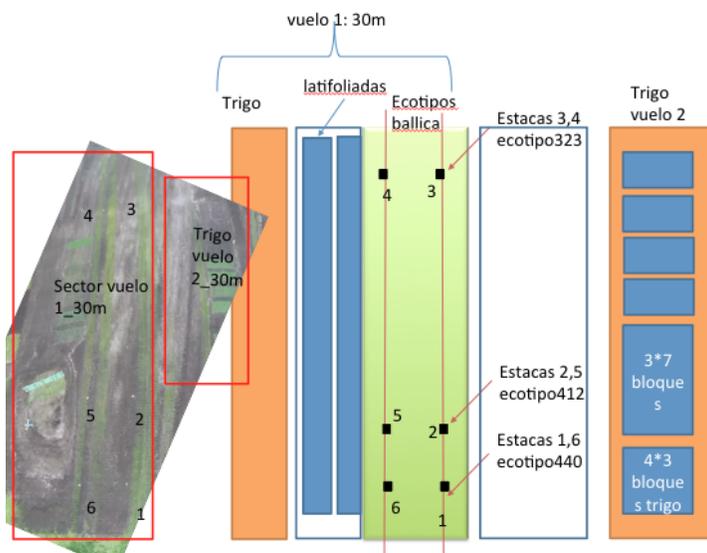


Figura 10. Esquema de ruta de vuelo y distribución de cultivo y malezas



Figura 11. Distintos grados de ataque de malezas en el cultivo de trigo durante las mediciones.

A partir de esta captura, se desarrollaron los respectivos cubos hiperespectrales. Al respecto es necesario mencionar que un trabajo previo debió ser desarrollado en conjunto a la empresa proveedora del software/hardware, en orden a establecer un protocolo de analítica, haciendo además uso de una nueva versión del software de ensamblaje de cubos. Lo anterior fue necesario debido a las condiciones de fuerte viento al momento de la captura, lo que hizo difícil el establecer los cubos. Así, los primeros resultados de la estructuración de cubos y base de datos asociada presentaban importantes distorsiones, las que hacían muy dificultoso su análisis.

Para solucionar los inconvenientes surgidos en las mediciones se realizó contacto con la empresa proveedora para revisar los siguientes aspectos: Características del software de captura, uso de estándares blanco y negro de calibración; tasas de captura; movimiento del encuadre "pushbroom"; tiempos de exposición; almacenamiento de imágenes "raw" o crudas y distintos elementos relativos a la conformación de la información para la generación de un cubo hiperespectral. Dichas imágenes finalmente fueron exitosamente adquiridas a partir de distintas muestras en el entrenamiento proporcionado, habiéndose probado distintas opciones de setting bajo condiciones de luz constante en laboratorio. Las imágenes fueron guardadas en formato "envi" el cual tiene como característica principal el ser un formato estándar en imágenes multiespectrales, con lo que estas pueden ser leídas a partir de distintos softwares para el post proceso de los cubos desarrollados.

2.2 Análisis de datos Hiperespectrales

A partir de la información antes descrita se seleccionó secciones representativas de cada imagen hiperespectral a partir de las cuales se extrajeron curvas individuales (por pixel) para la respectiva conformación de las matrices para el análisis discriminante de especies, biotipos y tratamientos aplicados. Un ejemplo de un conjunto de curvas, con su media y distribución estándar se puede apreciar en la figura 12.

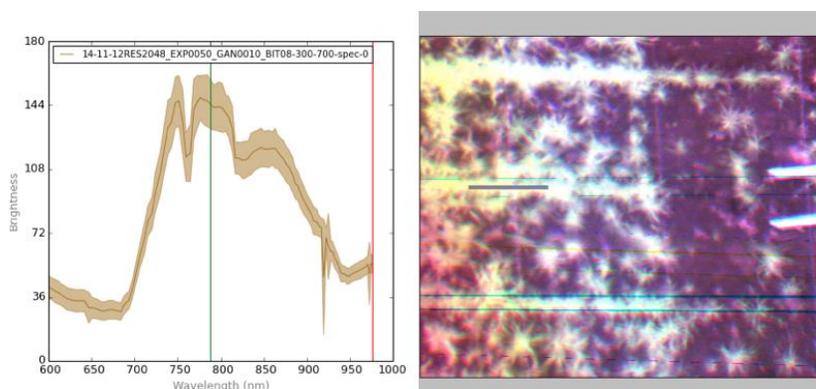


Figura 12.
curvas

espectrales y distribución estándar para una sección representativa de un cubo hiperespectral.

Posteriormente, a partir de la información capturada y seleccionada (fig. 12), esta fue sometida a un análisis de PLS-DA, para separar el material vegetal entre (i) ballica susceptible-resistente y (ii) ballica resistente a herbicida vs trigo.

(i) Ballica susceptible vs resistente. En la Fig. 8 se aprecia el análisis discriminante desarrollado a partir de las muestras representativas obtenidas desde de los cubos hiperespectrales. En ella, se aprecia que para la clase 1 (ballica resistente), se diferencia ampliamente de la clase 2 (ballica susceptible), con una clara separación que se expresa en que los grupos cruzan solo escasamente la línea segmentada roja del centro del grafico. En base a este resultado, se puede señalar que en las condiciones experimentales se pudo discriminar estos dos tipos de ballica (R y no R) y por lo cual se puede proceder a desarrollar la búsqueda de las bandas que más aportan a dicha discriminación.

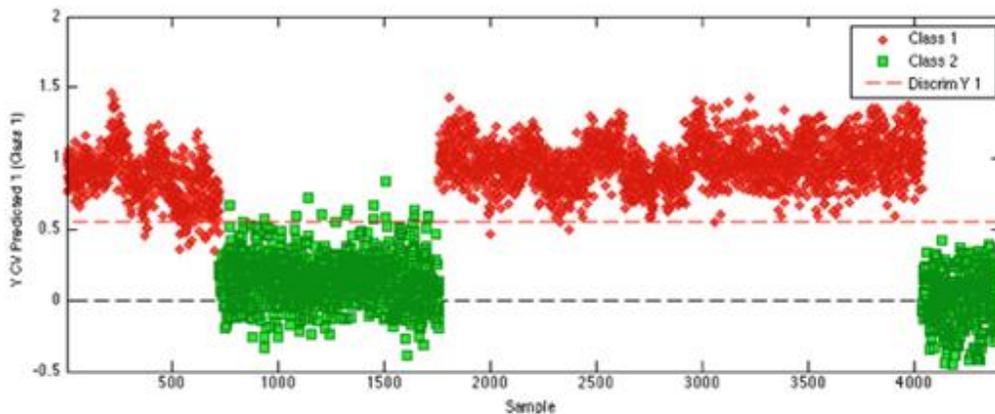


Figura 13. Análisis discriminantes PLS-DA de ballica resistente (clase 1), frente a aquella susceptible a herbicidas (clase 2). Se aprecia una clara separación entre ambas clases.

(ii) Ballica resistente vs trigo. Análogamente a la figura 12, en la figura 13 se puede apreciar el análisis discriminante desarrollado a partir de las muestras representativas obtenidas a partir de los cubos hiperespectrales. En ella, se observa que para la clase 1 (ballica resistente), se diferencia ampliamente de la clase 2 (trigo), con una clara separación que se expresa en que grupos en este caso no cruzan la línea segmentada roja del centro del gráfico. En base a este resultado, se puede señalar que en las condiciones experimentales se pudo discriminar entre trigo y ballica (R), por lo cual se puede proceder a desarrollar la búsqueda de las bandas que más aportan a dicha discriminación.

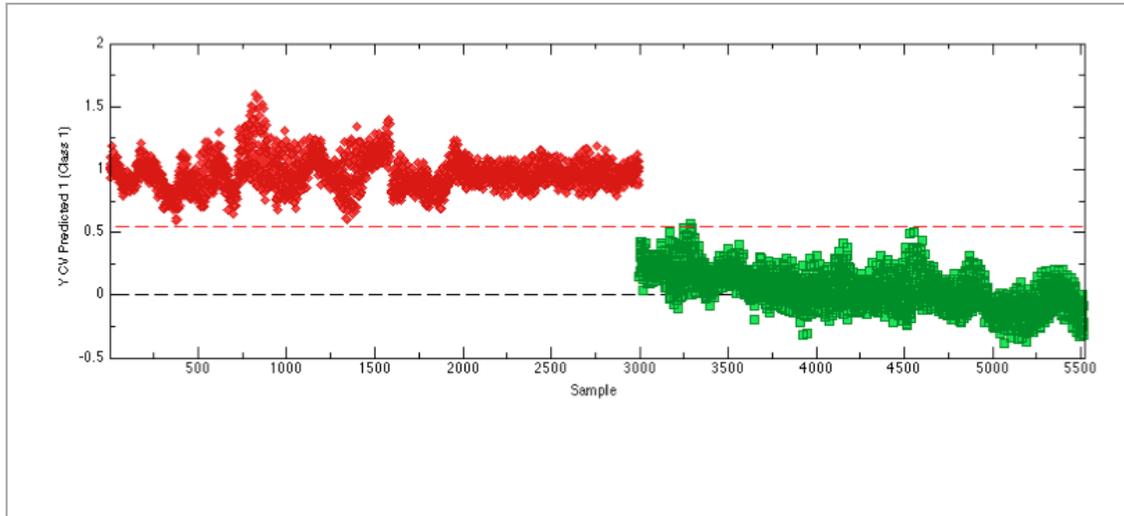


Figura 14. Análisis discriminantes PLSDA de ballica resistente (clase 1, en rojo), frente trigo (clase 2, en verde). Se aprecia una clara separación entre ambas clases.

Para ambos casos mostrados anteriormente (ballica susceptible vs resistente; Ballica resistente vs trigo) se desarrolló un procedimiento de análisis de plsda por intervalos o i-plsda, con la finalidad de encontrar bandas de interés que puedan servir para una discriminación mediante un sistema simplificado multispectral (filtros).

(i) Ballica susceptible vs resistente. En este caso se pudo establecer que las bandas con centro en 650 nm, 730 nm y 751 nm (marcadas en verde en la figura 15), mostraron ser las que presentaron un mayor peso al hacer un análisis discriminante por intervalos para ballicas R y no R, por lo cual pueden ser consideradas como las primeras candidatas a la obtención de filtros para discriminar ambas categorías.

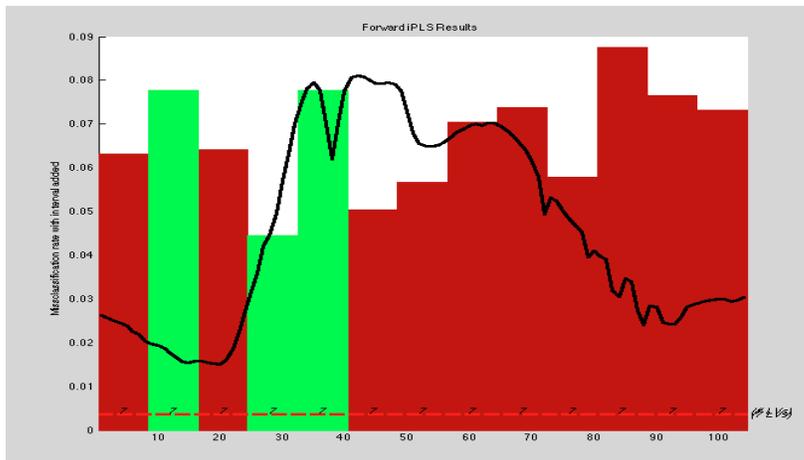


Figura 15. Selección de rangos espectrales (en verde) de importancia para la obtención de la discriminación

entre biotipos de malezas.

(ii) Ballica susceptible vs trigo. Por otra parte, se pudo establecer que las bandas con centro en 684nm, 730 nm, 751 nm y 792 nm (marcadas en verde en la figura 16), mostraron ser las que presentaron un mayor peso al hacer un análisis discriminante por intervalos, para trigo vs Ballica R por lo cual pueden ser consideradas como las primeras candidatas a la obtención de filtros para discriminar ambas categorías.

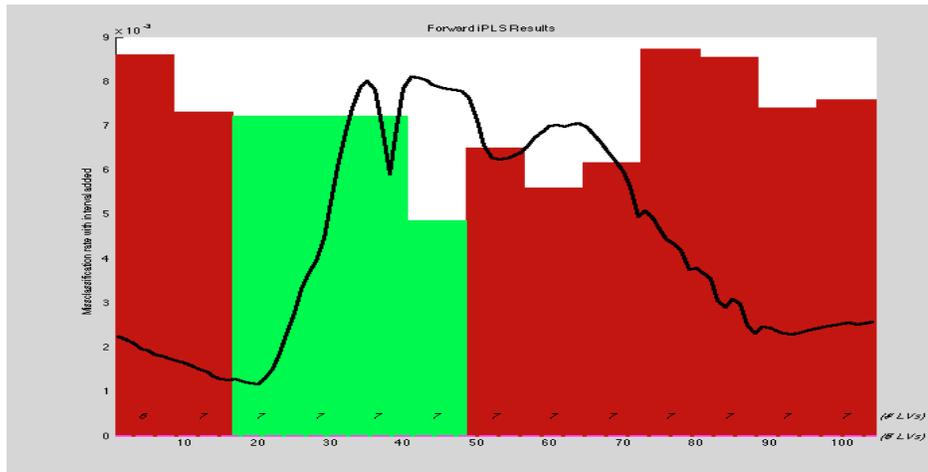


Figura 16. Selección entre rangos espectrales (en verde) de

importancia para la obtención de la discriminación entre los biotipos de malezas y el trigo

En definitiva, los intervalos candidatos a constituirse en bandpass filters para la discriminación de estas especies corresponden a los de 650, 730, 751 y 792 nm. La primera longitud de onda está en el rango visible (anaranjado), 730 nm al intervalo conocido como "límite rojo" mientras que 751 y 792 nm a infrarrojo cercano. El set de filtros puede ser completado con una banda centrada en el verde, (550 nm) y en rojo (700 nm) del espectro visible.

ANEXO 2

1. Integración exitosa del sistema hiper y multispectral sobre una plataforma aérea tripulada.

Con la definición de las bandas espectrales específicas para la discriminación de malezas sobre cultivo, se procedió a adquirir los filtros adecuados que luego fueron integradas a la cámara multispectral Tetracam que ya poseía LB-Track. Para ello se adquirieron los filtros fabricados por la empresa Andover Corp de USA mediante un proveedor nacional que contaba con los permisos necesarios para adquirir materiales de este tipo muy asociados a la industria militar.

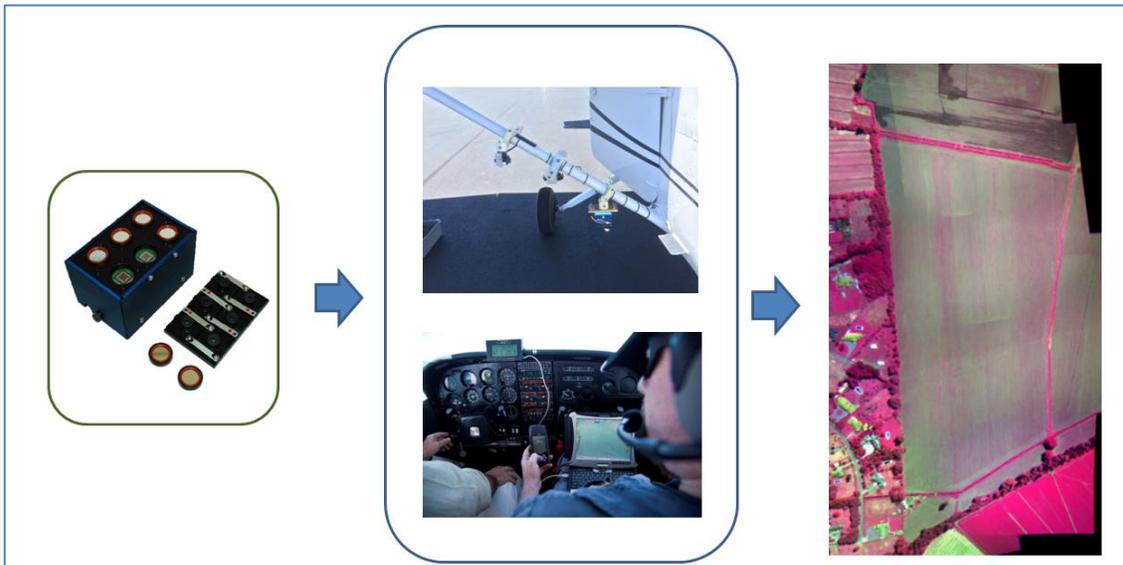


Figura 17. Integración de filtros bandpass a cámara Tetracam y luego a plataforma área tripulada (Cessna 172).

También se realizó la integración de un sistema de IMU para corregir las imágenes de la cámara producto de las distorsiones de los movimientos pitch, roll y yaw del avión. Con estas correcciones es posible realizar ortorectificaciones eficientes en cuestión de 30 minutos, cuando antes tomaban tres horas.

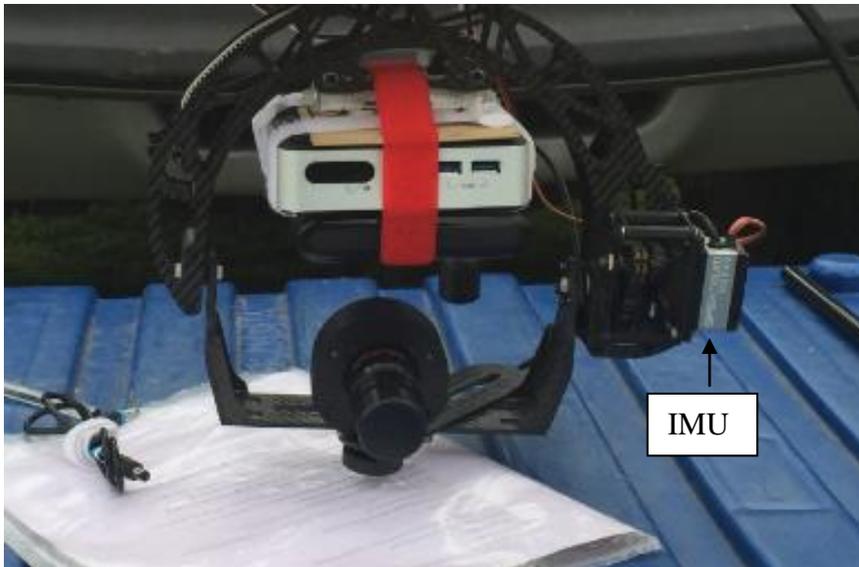


Figura 18. Integración de sistema IMU de navegación para corrección posterior de fotos

Durante el mes de abril de 2016 se realizaron los vuelos de prueba en un avión cessna 172 de la ciudad de Los Ángeles y se pudo detectar de manera exitosa la presencia de malezas respecto del cultivo con una discriminación exitosa del 82% (según literatura con un 75% es considerado exitoso), ver figura 19.

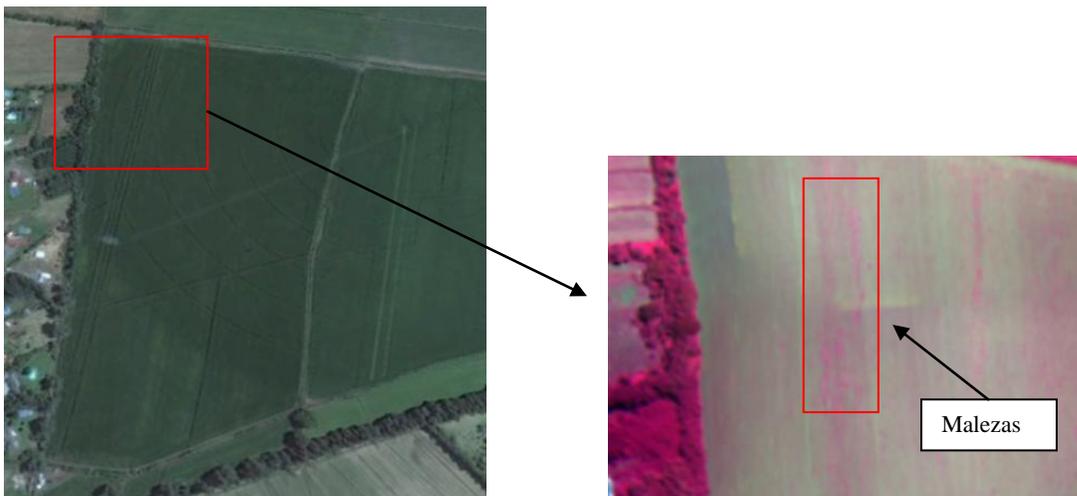


Figura 19. detección de maleza de ballica en cultivo de trigo (Predio San Isidro de propiedad de Roberto Ruff G - Los Ángeles)

ANEXO 3

1. Desarrollo de algoritmos para estimación del nivel de infestación de malezas a nivel espacial.

Se desarrollo con el apoyo del ingeniero agrónomo (MSc, PhD) Lorenzo León los algoritmos necesarios para que los datos captados por las cámara multiespectral y sus respectivas bandas, puedan ser procesados y transformados en datos digitales para la cuantificación y localización de las malezas en el espacio. Para ello se utilizó un modelo de PLS que incorpora como variable de entrada los valores de reflectancia obtenidos de la cámara multiespectral y que luego son contratados con la base de dato de curva de longitudes de onda obtenidas con la cámara hiperespectral, lo cual permitió discriminar las malezas bajo estudio con respecto al cultivo, generando así una estimación del grado de infestación en el potrero.

En las figuras 20 y 21 se pueden apreciar los resultados del proceso de los algoritmos los cuales permiten una clara discriminación digital y espacial de las malezas y el cultivo, factor clave para el cálculo de la dosis de control variable con agroquímicos.

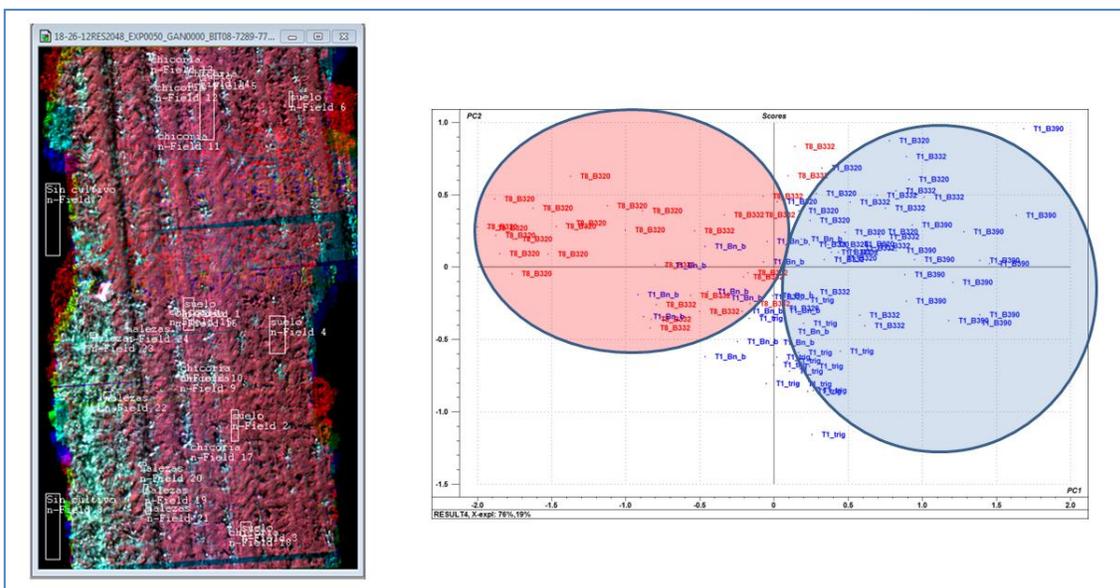


Figura 20. Algoritmo y software desarrollado por LB-Track para generar reconocimiento digital de malezas y de cultivo (en achicoria).

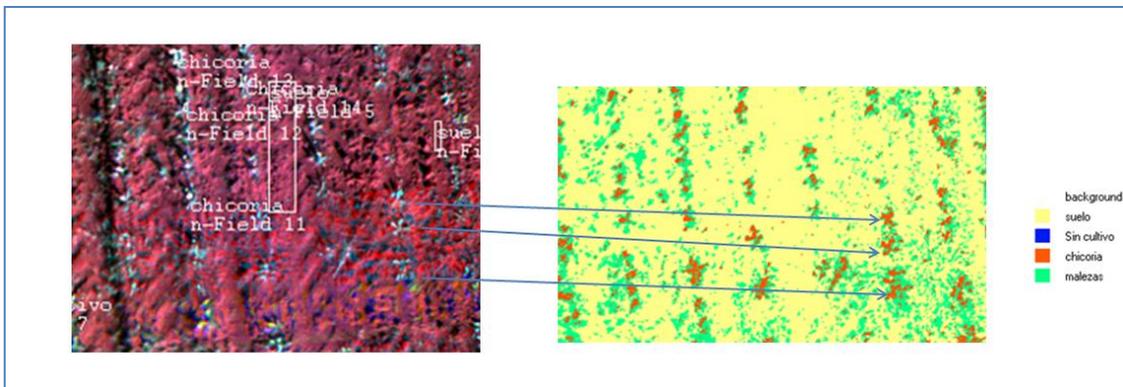


Figura 21. Resultados de discriminación digital de malezas, cultivo y suelo.

ANEXO 4

1. Desarrollo exitoso de un sistema informático de prescripción sitio específica.

Con el apoyo de un informático (Pablo Thomas) se desarrolló un software que identifica la información digital descrita en el punto anterior de infestación de malezas y luego con el ingreso de algunos parámetros de dosis de herbicidas, este construye los mapas de aplicación variable que son necesarios para guiar las fumigaciones en campo.



Figura 22. Vista general del software para desarrollar prescripción variable de herbicida

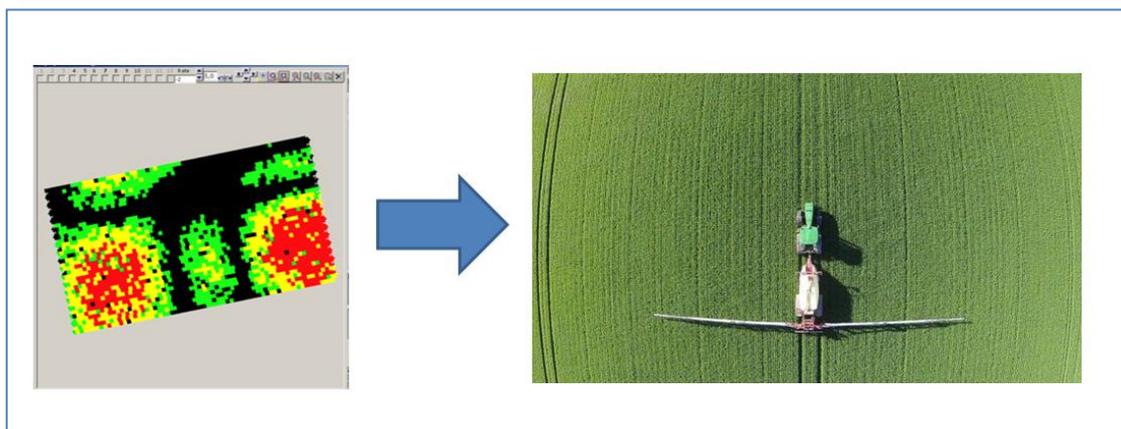


Figura 23. Software desarrollado por LB-Track para la prescripción variable de agroquímico. a). mapa de aplicación variable de herbicida: b). Fumigadora con sistema de aplicación variable guiada por GPS.

ANEXO 5

5. Realización de día de campo



Figura 24. Día de campo en predio San Isidro (Los Ángeles) para ver demostración de uso de Drone con cámara Multiespectral para detección de malezas

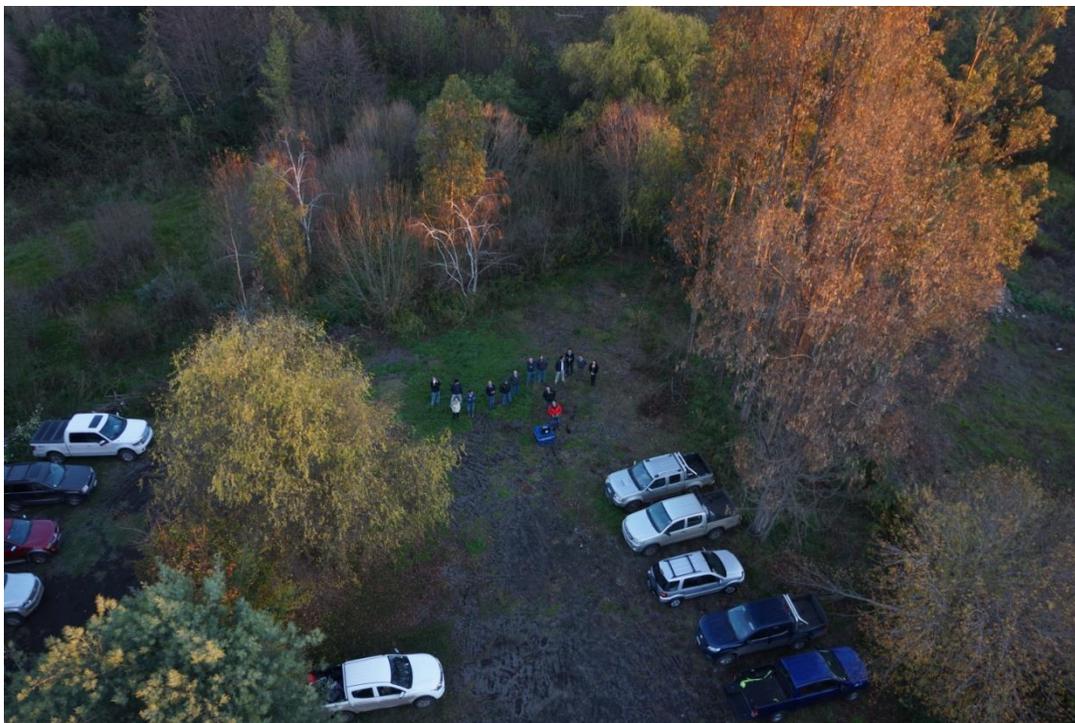


Figura 24. Vista aérea del día de campo



Figura 24. Día de campo Ñuble

ANEXO 6

6.1 Realizar convenios y alianza para el nuevo servicio.

Se realizaron tres alianzas para operar el servicio con experiencias pilotos en proveedores asociados a las agroindustrias de Orafti Chile S.A., Copeval S.A. y Bionutricion. Este trabajo consiste en monitorear durante los periodos críticos de los cultivos de achicoria, maíz grano y trigo, las malezas que aparecen durante los primeros estados de desarrollo de estos cultivos y que condicionan una buena parte de su productividad. Para ello, se establecieron contacto con las siguientes personas y que son responsables de que estas iniciativas tengan éxito en sus respectivas empresas:

- Demesio Contreras Ortiz, Ingeniero Agrónomo y encargado de proveedores de la agroindustria Copeval de la Región del Biobío.
- Peter Guhl, Ingeniero y Gerente de Agronomía de Orafti Chile S.A.
- Roberto Ruff G, Ingeniero Agrónomo y director de Bionutricion Ltda.

También se realizó un convenio de cooperación entre LB-Track y Bayer Chile para desarrollar un trabajo conjunto de discriminación de malezas de interés para el cultivo del trigo y raps. Este trabajo tiene como responsable de la empresa contraparte a:

- Gonzalo Busto, Ingeniero Agrónomo y encargado técnico de nuevos productos de Bayer Chile S.A.