



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE

Asentamiento Universitario San Martín de los Andes

Práctica Laboral

“Protocolo de muestreo preliminar para la detección de
árboles afectados por plagas en plantaciones”



Estudiante: Maciel, Sebastián

Supervisor: Téc. Ftal. Gonzalez Musso, Romina

San Martín de los Andes

Junio 2017

Índice

Índice.....	2
Introducción.....	1
Objetivos.....	2
Objetivo general.....	2
Objetivos particulares.....	2
Cronograma de actividades.....	3
Materiales y métodos.....	3
Área de estudio.....	3
Materiales.....	5
Vehículo aéreo no tripulado (VANT).....	5
Software.....	6
Actividades de campo.....	7
Vuelo de dron.....	7
Censo.....	7
Muestreo.....	8
Constatación.....	8
Procesamiento de imágenes aéreas del VANT.....	8
Análisis de mosaicos.....	9
Análisis de datos dasométricos: parcelas y censo.....	9
Resultados.....	9
Desempeño general de los VANT.....	9
Sitio 1.....	9
Sitio 2.....	10
Ensayo de alturas.....	10
Procesamiento de imágenes.....	11
Sitio 1.....	12
Sitio 2.....	12
Estimación de la proporción de afectación.....	14
Sitio 1.....	14
Sitio 2.....	16

Conclusiones 18

Grado de aprovechamiento alcanzado 21

Agradecimientos 22

Bibliografía 23

Anexo 25

Introducción

Debido a que la sanidad de las plantaciones está directamente relacionada con la calidad del producto final, la detección y estimación temprana de la infestación por plagas y enfermedades es muy importante para lograr un control efectivo de éstas.

Un insecto o un animal es considerado como plaga forestal cuando su crecimiento poblacional afecta ecológica, económica y socialmente a los valores asociados al bosque. Desde un punto de vista económico, se considera plaga a aquellos organismos que generan pérdidas durante la utilización de recursos.

En Patagonia, la principal plaga que afecta las plantaciones de exóticas es *Sirex noctilio* (Fabricius) (Hymenoptera: Siricidae), conocida como “la avispa de los pinos” o “avispa barrenadora de los pinos”, es un insecto originario del viejo continente que ataca y desarrolla su ciclo de vida en la madera de especies del género *Pinus*. En su lugar de origen no produce daños serios, sin embargo, en plantaciones comerciales de otros países produce pérdidas económicas considerables. Ej. Australia y Nueva Zelanda.

En Argentina, se detectó su presencia durante la década del 80 y actualmente afecta a todas las provincias con plantaciones comerciales de pinos, tales como Misiones, Corrientes, Entre Ríos, Córdoba, Tucumán, Salta, Jujuy, Buenos Aires, Neuquén, Río Negro y Chubut (Eskiviski, 2005).

Según el Ministerio de Agroindustria la cantidad de hectáreas forestadas con coníferas en la provincia de Neuquén es de 63.867,45 ha, siendo *Pinus ponderosa* y *P. murrayana* las especies más plantadas y a la vez las más susceptibles a ser atacadas por esta avispa.

Los árboles afectados presentan un rápido cambio de coloración del follaje, tornándose castaño rojizo, comenzando en el ápice y luego en pocas semanas a toda la copa. Junto a esta sintomatología también pueden observarse gotas de resina, chorreaduras y orificios perfectos en los troncos.

Debido a su dinámica poblacional de ciclos eruptivos, es de suma importancia poder realizar detecciones tempranas y un rápido control para evitar que alcance densidades endémicas. La proporción de infestación en una plantación, podría estimarse mediante la utilización de prospecciones aéreas siempre cuando los daños sean visibles.

Los daños de naturaleza más o menos conspicua, que afectan a una parte significativa de la copa, pueden ser observados fácilmente desde alturas de vuelo comprendidos entre 160 y 500 metros sobre el suelo. (W. M. Ciesla, D. Cadahía y F. Robredo, 1976). Estas prácticas pueden ser de particular valor para las regiones forestales lejanas e inaccesibles donde la posibilidad de una vigilancia de campo es limitada. Por lo tanto, el presente trabajo pretende generar antecedentes en Patagonia sobre prospecciones aéreas mediante el uso de nuevas tecnologías (drone, vant) para posteriormente desarrollar metodologías que permitan alcanzar una temprana detección de plagas en plantaciones forestales.

De acuerdo con el Instituto Americano de Aeronáutica y Astronáutica (AIAA por sus siglas en inglés) un VANT se define como “una plataforma aérea que está diseñada o modificada, que

no transporta piloto humano y es operada a través de mando electrónico por el controlador de vuelo o por un sistema administrador de vuelo autónomo que no requiere intervención” (Nonami, Kendoul, Susuki, Wang, & Nakazawa, 2010).

Originalmente, dicha tecnología fue diseñada, construida y utilizada con fines militares; sin embargo, paulatinamente se ha incorporado como una potente herramienta para el apoyo y manejo de los recursos territoriales (López Granados, 2013).

Actualmente, gracias a las mejoras tecnológicas que se le asociaron (GPS, cámaras fotográficas de alta resolución, etc.) y su disponibilidad en el mercado, el uso y aplicación de VANT pueden convertirse en una herramienta de gran importancia a la hora de realizar prospecciones aéreas con fines sanitarios, entre otros. Ya que sería posible relevar grandes superficies con un menor costo y en forma rápida y expeditiva. Esto representaría una ventaja con respecto a los muestreos, prospecciones o censos tradicionales que implican mucho tiempo de desarrollo, altos costos y capacidad operativa.

Este trabajo se realizó en el marco de un convenio entre el Asentamiento Universitario San Martín de los Andes (AUSMA) y el Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria de esta localidad (SENASA). A través de la cátedra de Dasometría y con la colaboración del inspector fitosanitario de SENASA, Ingeniero Agrónomo Francisco Azzaro, se visitaron distintas plantaciones con afecciones sanitarias de interés para la práctica.

Objetivos

Objetivo general

Participar en la confección de un protocolo donde se detalle la metodología de prospección preliminar de síntomas ocasionados por plagas a través del uso de VANTS.

Objetivos particulares

- Elaboración de guía orientativa para muestreos preliminares.
- Analizar la eficiencia de VANTS con respecto a otros métodos tradicionales prospectivos (ej: observación, recorridas, censos).
- Optimización de la utilización de VANTS para muestreo (plan de vuelo, condiciones de vuelo, solapamiento de la toma de imagen, etc.).
- Evaluar el rendimiento del uso del VANT como herramienta de prospección temprana para cuantificar niveles de infestación.

Cronograma de actividades

Actividades	Semana								Horas
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Revisión bibliográfica	X	X							40
Trabajo de campo		X	X	X	X				40
Procesamiento de datos					X	X	X		50
Escritura proyecto							X	X	30
Total horas									160

Materiales y métodos

Área de estudio

Para llevar a cabo este trabajo se debían identificar rodales que cumplieran con la condición de tener presencia de árboles con síntomas de infestación por *S.noctilio* (u otra plaga) y que presentaran distintas proporciones de infestación. Se seleccionaron dos sitios ubicados en la zona de cordillera de la Provincia de Neuquén:

- SITIO 1: Plantación municipal. Paraje Las Horquetas, Poi Pucón. A 15 Km de la localidad de Aluminé. Departamento Aluminé. (39°15'01.3"S 70°58'41.2"O)
- SITIO 2: "Estancia San Pedro". Sobre ruta N° 62, a 24 km de Junín de los Andes. Departamento Huiliches. (39°55'38.3"S 71°15'49.2"O)

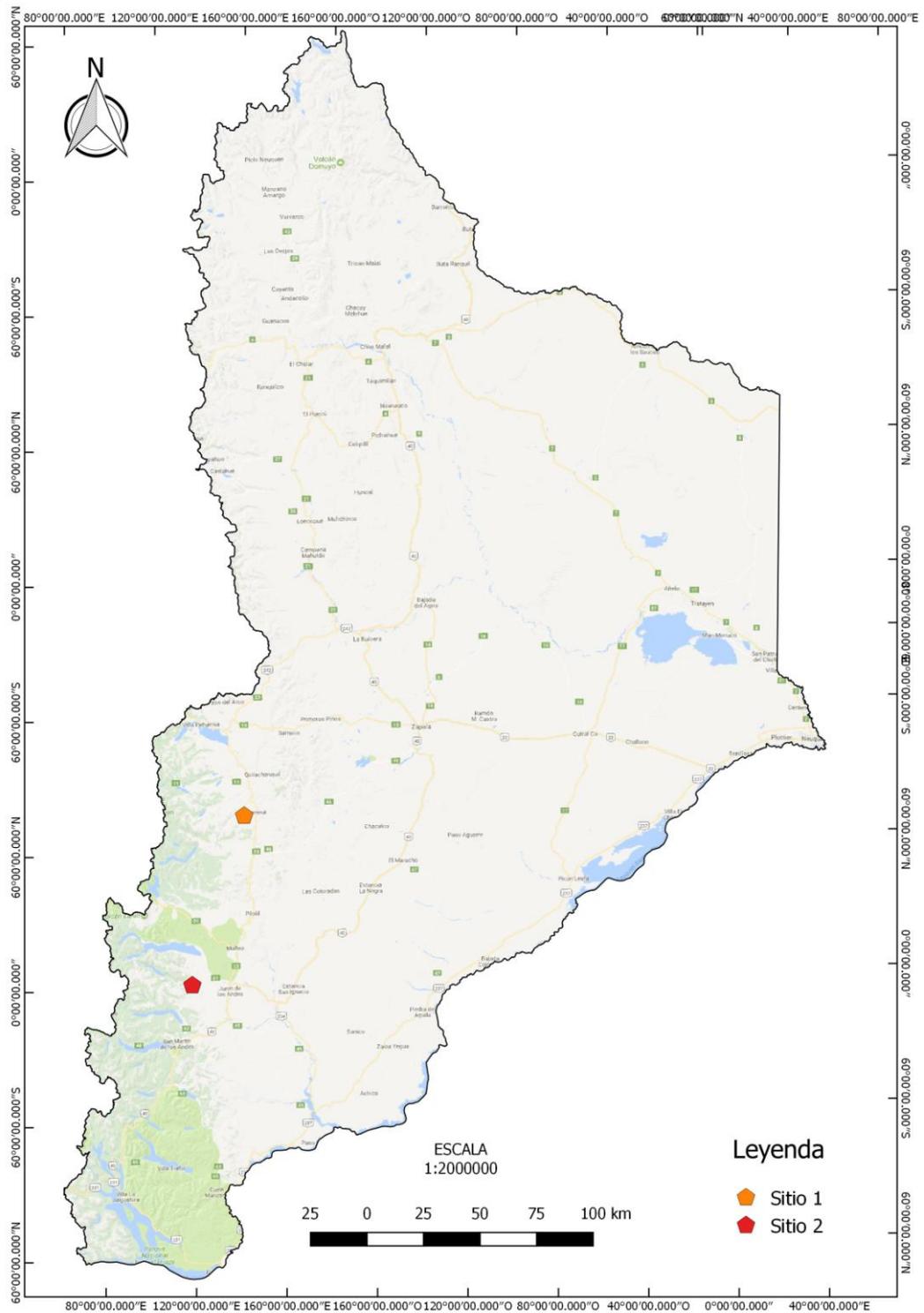


Figura 1. Mapa de la ubicación de los Sitios dentro de la provincia de Neuquén.

Materiales

1. Drone (Phantom 3 pro y Phantom 4 pro), baterías, tableta, control remoto (este material fue un aporte privado que permitió la realización de la práctica).
2. Software
 - 2.2. De programación de vuelos
 - 2.2.1. DRONE DEEPLOY (licencia paga con 30 días de prueba)
 - 2.2.2. PIX4D (licencia gratuita)
 - 2.3. De procesamiento de imágenes
 - 2.3.1. DRONE DEEPLOY (licencia paga con 30 días de prueba)
 - 2.3.2. PIX4D (licencia paga con 15 días de prueba)
 - 2.3.3. PRECISION MAPPER (licencia gratuita)
 - 2.4. De sistemas de información geográfica
 - 2.4.1. QGIS (licencia gratuita)
3. Instrumental de campo
 - 3.2. Planillas
 - 3.3. Cinta métrica
 - 3.4. GPS
 - 3.5. Tabletas
4. Procesamiento de datos
 - 4.2. Computadora
 - 4.3. Imágenes capturadas por el drone
 - 4.4. Software de procesamiento (planillas de cálculo)

Vehículo aéreo no tripulado (VANT)

Teniendo en cuenta los objetivos y la disponibilidad del equipo, para la obtención de imágenes se utilizaron dos VANT:

Phantom 3 pro. Se utilizó para los vuelos del Sitio 1. La cámara de a bordo utiliza el sensor CMOS de 1/2,3 pulgadas para capturar imágenes fijas de 12 megapíxeles.

Phantom 4 pro. Se utilizó para los vuelos realizados en el Sitio 2. La cámara incorporada utiliza un sensor CMOS de 1 pulgada para capturar imágenes fijas de 20 megapíxeles.

Ambos tienen integrado el gimbal de 3 ejes que proporciona una plataforma estable para la cámara, lo que le permite capturar imágenes y vídeo estabilizados.

Estos equipos cuentan con diferentes modos de vuelo que dependen de las necesidades del usuario y los objetivos. En este trabajo, los drones se utilizaron de la siguiente manera:

- **Vuelo Manual:** el piloto siempre tiene el control del drone mediante el radio control.

- **Vuelos Programados:** el drone lleva a cabo misiones pre-cargadas para relevar la superficie que el usuario le asigna. Se desplaza de forma autónoma.

Para poder realizar un vuelo se debe comenzar conectando el Smartphone o tableta al control remoto mediante un cable USB. Se encienden el control remoto y el drone por separado, cada cual tiene su botón de encendido. Se vinculan ambos dispositivos mediante conexión inalámbrica (control remoto y drone). Una vez vinculados, se debe calibrar la brújula para cada nueva ubicación de vuelo. La brújula es muy sensible a las interferencias electromagnéticas, lo que puede generar datos de brújula anómalos y afectar al vuelo o impedirlo. Es necesario realizar la calibración con regularidad para obtener un rendimiento óptimo. Luego para realizar un vuelo programado en modo automático se envía la misión del Smartphone al drone y al cabo de unos minutos este estará listo para iniciar el vuelo. Esto último no será necesario en caso de modo manual.

Software

Tanto para la planificación como para la ejecución de vuelos programados se utilizarón los software DRONE DEPLOY y PIX 4D CAPTURE. Se determinó la superficie a cubrir, altura de vuelo, porcentaje de solapamiento de las imágenes y velocidad de desplazamiento. Con estos parámetros cargados el software calculó automáticamente el tiempo de vuelo, resolución espacial, etc. Además se realizaron vuelos manuales, los cuales no requirieron de ninguna programación previa.



Figura 2. Captura de pantalla durante la programación de un vuelo con el software PIX4D.

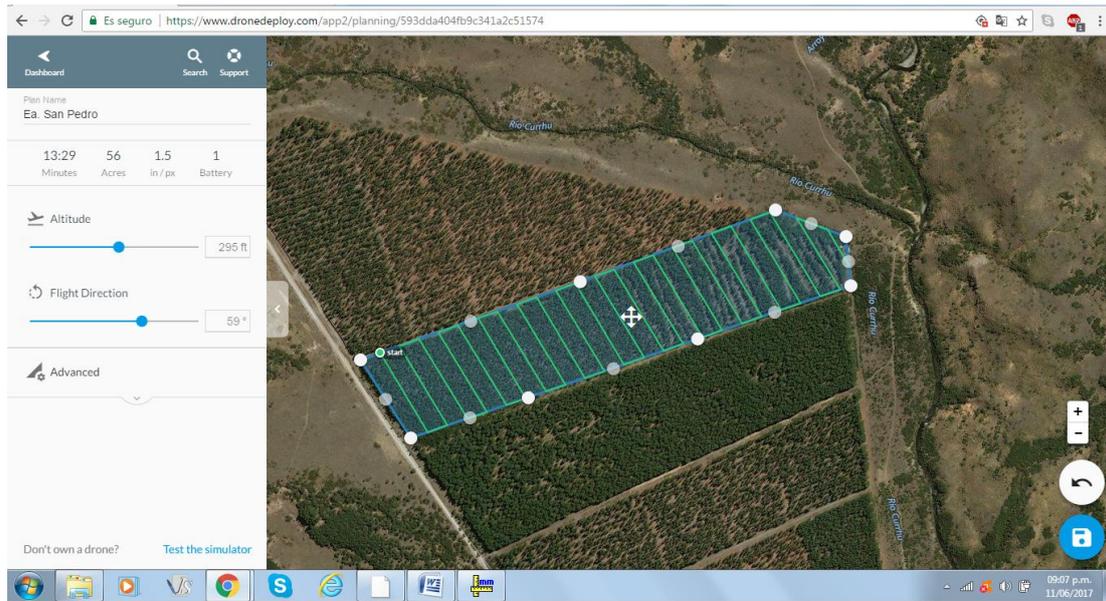


Figura 3. Captura de pantalla durante la programación de un vuelo con el software DRONE DEPLOY.

Actividades de campo

Vuelo de drone

El primer paso para planificar la actividad de campo vinculada al vuelo del drone, fue verificar las previsiones climáticas por las limitaciones que presenta el equipo. En este sentido, se debían seleccionar los días con condiciones climáticas aptas para los vuelos. Estas condiciones son las especificadas por los fabricantes y siempre fueron respetadas (lluvias, temperaturas mínimas y velocidad del viento).

Se realizaron vuelos manuales sobre un mismo punto para tomar imágenes a distintas alturas con el fin de determinar la altura óptima para programar la misión de vuelo. Esta decisión se basara en la calidad final de la imagen y la posibilidad de poder realizar interpretaciones consistentes (identificación de árboles con síntomas). Se realizaron fotografías a 40, 65, 80, 105, 115 y 120 metros de altura.

Posteriormente, se planificaron las misiones de vuelo programadas de las cuales se obtendrán los mosaicos georreferenciados. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos del punto anterior, se estableció a qué altura programar los vuelos.

En el sitio 1 se realizó un vuelo programado a 90 metros de altura cubriendo una superficie de 11.6 ha. de plantación.

En el sitio 2 también se programó un vuelo a 90 metros de altura. En este caso, se cubrió una superficie total de 21.8 ha de plantación por lo cual fue necesario realizar la misión en dos vuelos: 9.2 ha en el primer vuelo y 12.6 ha en el segundo.

En ambos sitios se registraron el tiempo de duración de los vuelos, las condiciones climáticas y se se evaluó el rendimiento y comportamiento del drone.

Censo

El censo se realizó para obtener la cantidad real de árboles infectados por *S.noctilio*. Este dato es de gran importancia para contrastar con los datos obtenidos mediante los otros métodos, particularmente con la prospección aérea que es lo que se evalúa en este trabajo. Además se podrá estimar una proporción de arboles infestados en función de la densidad obtenida en el muestreo. Para llevarlo a cabo se definieron las categorías utilizadas con el fin de unificar criterios al momento de contabilizar.

Para el censo, se establecieron tres categorías de registro:

1. Muertos: árboles necróticos, sin acículas en las ramas y con perforaciones de emergencia.
2. Cloróticos: árboles con clorosis en toda la copa y con acículas en las ramas.
3. Verdes enfermos: árboles con síntomas de clorosis en parte de la copa, resinación y orificios de emergencia en el fuste.

En el sitio 1, el censo se realizó con cuatro personas caminando en sentido Este-Oeste. Se recorrió la plantación haciendo dos pasadas en este sentido y una en el sentido opuesto. Cada censista abarcó en cada pasada una faja de 25 metros aproximadamente.

En el sitio 2 se realizó con seis personas. Se caminó en sentido Este-Oeste. Se recorrió la plantación en una única pasada, abarcando cada uno una faja de 33 metros aproximadamente.

Muestreo.

El muestreo se realizó con el fin de poder determinar la frecuencia de árboles del rodal (árboles/ha), así como la cantidad de árboles enfermos (árboles enfermos/ha). Estos valores serán luego utilizados para determinar la proporción de infestación.

Para el muestreo, se generaron grillas de puntos equidistantes mediante la utilización del software QGIS y fueron cargados en un navegador GPS para relevar los puntos a campo. En las parcelas, se utilizó una cinta métrica para materializar el radio en terreno y se registraron las variables en planillas. Las variables registradas fueron número de árboles totales, árboles sanos y árboles enfermos.

En el sitio 1 se establecieron 10 parcelas de radio variable dependiendo de la densidad.

En el sitio 2 se establecieron 10 parcelas de radio fijo (10 metros). Se trabajó con dos densidades de bosque distintas, un estrato abierto con 4 parcelas y un estrato cerrado con 6 parcelas. La determinación de los estratos se realizó mediante la interpretación de la imagen satelital de la plantación obtenida del software Google Earth.

Constatación

Esta actividad se realizó para poder verificar lo identificado en la imagen con lo que realmente existe en el campo. Esta instancia se llevó a cabo solo en el Sitio 1, ya que por la alta proporción de infestación encontrada en el Sitio 2 no parecía relevante llevarlo a cabo.

Para esta actividad, se verificaron en terreno los focos detectados en el mosaico obtenido por el drone (se muestran los resultados más adelante) y se contabilizaron los árboles identificados con el drone vs. los árboles presentes en terreno.

Procesamiento de imágenes aéreas del VANT

El procesamiento de las imágenes del dron se realiza a través de software específico, que fusiona las fotos aéreas obtenidas en las misiones de vuelo generando un ortomosaico georreferenciado con corrección ortogonal.

A fin de comparar algunos de los softwares disponibles en el mercado, las fotos se procesaron en:

- PRECISION MAPPER
- DRONE DEEPLOY
- PIX4D

Este proceso es automático: se cargan las fotos pertenecientes a cada vuelo en el software y se generará el mosaico correspondiente. El tiempo de procesamiento varía de acuerdo al software, la velocidad de internet (en caso de que la carga sea online) o los recursos informáticos disponibles.

Análisis de mosaicos

El análisis de los mosaicos consistió en la detección e identificación de los árboles con síntomas (clorosis) o árboles muertos, los cuales se consideran afectados por plagas. Este proceso de diferenciación, reconocimiento e identificación de objetos sobre una imagen se denomina interpretación visual.

El ortomosaico se analizó en QGIS. Se trabajó con una escala aproximada entre 1:420 y 1:210, teniendo en cuenta la resolución lograda en la imagen. Se generó un mapa con la delimitación de la superficie sobrevolada y se marcaron (a través de una cobertura de puntos) las plantas con sintomatologías de ataque de *S. noctilio* tanto con clorosis de copa, como plantas muertas.

Análisis de datos dasométricos: parcelas y censo

Se trabajó en gabinete realizando el procesamiento de los datos mediante el uso de planillas de cálculo.

Con los datos del censo se estimó la proporción real de infestación para usarlo como valor testigo y más cercano a la realidad.

Con los datos de las parcelas se calculó el número total de árboles por hectárea, así como la proporción de sanos y enfermos. Como resultado, se obtuvieron los siguientes parámetros:

- Frecuencia (Nº de arboles/ hectárea).
- Numero de arboles con síntomas de *S. noctilio*
- Proporción (%) de infestación para cada metodología de estimación.

Resultados

Desempeño general de los VANT

Sitio 1

En el momento del vuelo se registró una velocidad del viento de 5 m/seg. Las condiciones climáticas eran de cielo despejado, sin lluvia. Temperatura 24 °C.

El dron realizó el vuelo sin inconvenientes demorando unos 7 minutos desde el despegue hasta el aterrizaje. Siempre tuvo señal lo que permitió capturar la totalidad de las imágenes.

Sitio 2

En el momento del vuelo se registró una velocidad del viento de 6 m/seg. Las condiciones climáticas eran de cielo despejado, sin lluvia. Temperatura 8°C.

Como se mencionó en la metodología este fue relevado en dos misiones. La primera luego de un reajuste se completó exitosamente demorando 15 minutos aproximadamente desde el despegue hasta el aterrizaje. Nunca perdió señal y logró realizar las capturas fotográficas.

La segunda misión se realizó en una sola pasada demorando unos 10 minutos aproximadamente desde el despegue hasta el aterrizaje. No perdió señal en ningún momento y realizó las capturas conforme a lo planificado.

Ensayo de alturas

La variación en alturas trae aparejado una relación proporcional entre ésta, la superficie captada y el tiempo empleado en cubrir una área determinada además de generar una variación en la resolución espacial. El análisis de alturas aportó resultados importantes respecto a la posibilidad de individualizar árboles en todas las imágenes como se puede observar en las figuras 4, 5 y 6. En función de este resultado se pudo determinar la altura de vuelo óptima para realizar la toma de imágenes de los mosaicos.

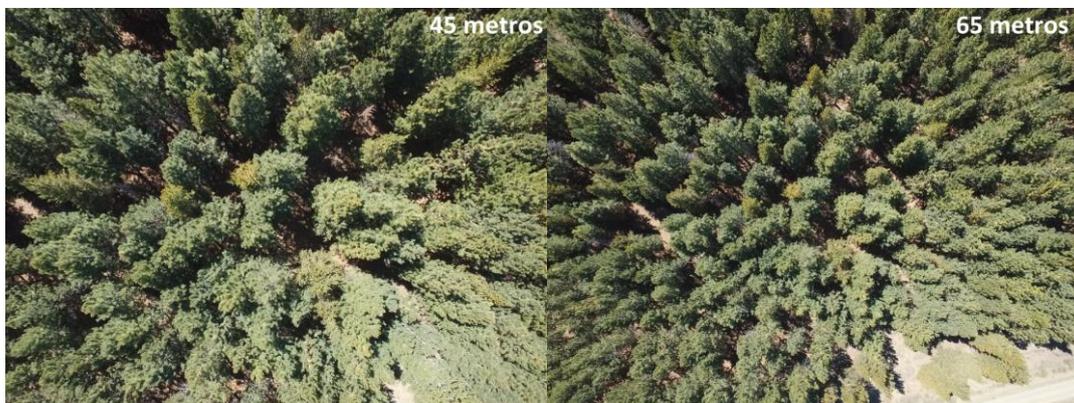


Figura 4. Imágenes capturadas mediante vuelo manual. Izq.: 45 mts. Der.: 65mts.



Figura 5. Imágenes capturadas mediante vuelo manual. Izq.: 80 mts. Der.: 105mts.



Figura 6. Imágenes capturadas mediante vuelo manual. Izq.: 115mts. Der.: 120mts.

Procesamiento de imágenes

El procesamiento de imágenes mediante la utilización de los tres software probados dio como resultado tres calidades distintas de mosaicos. Para el posterior análisis e interpretación, se seleccionó el de mejor calidad que resultó ser el de DRONE DEPLOY.

A modo ilustrativo, se adjuntan algunas capturas de pantalla de sectores de los mosaicos con algunos errores de procesamiento, diferencias de nitidez en las copas y errores de unión o fusión de imágenes.



Figura 7. Software DRONE DEPLOY (ESCALA 1:400).



Figura 8. Software PRECISION MAPPER (ESCALA 1:400).

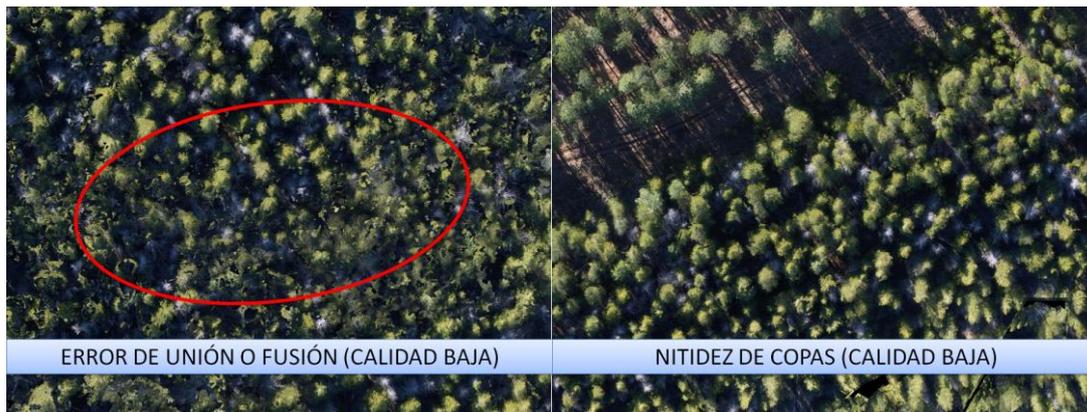


Figura 9. Software PIX4D (ESCALA 1:400).

Sitio 1

En la figura 10 se puede observar el ortomosaico correspondiente al sitio 1, con una superficie de 15 hectáreas en total y 11,6 hectáreas de la forestación.



Figura. 10 Mosaico correspondiente al sitio 1.

Sitio 2

En la figura 11 se puede observar el ortomosaico correspondiente al primer vuelo que relevo 9,2 ha. Y en la figura 12 se puede observar el ortomosaico correspondiente al segundo vuelo que relevo 12,6 ha. En total entre ambos vuelos se cubrió una superficie de 51 ha. Se dividió en dos misiones o vuelos porque se agiliza su procesamiento.

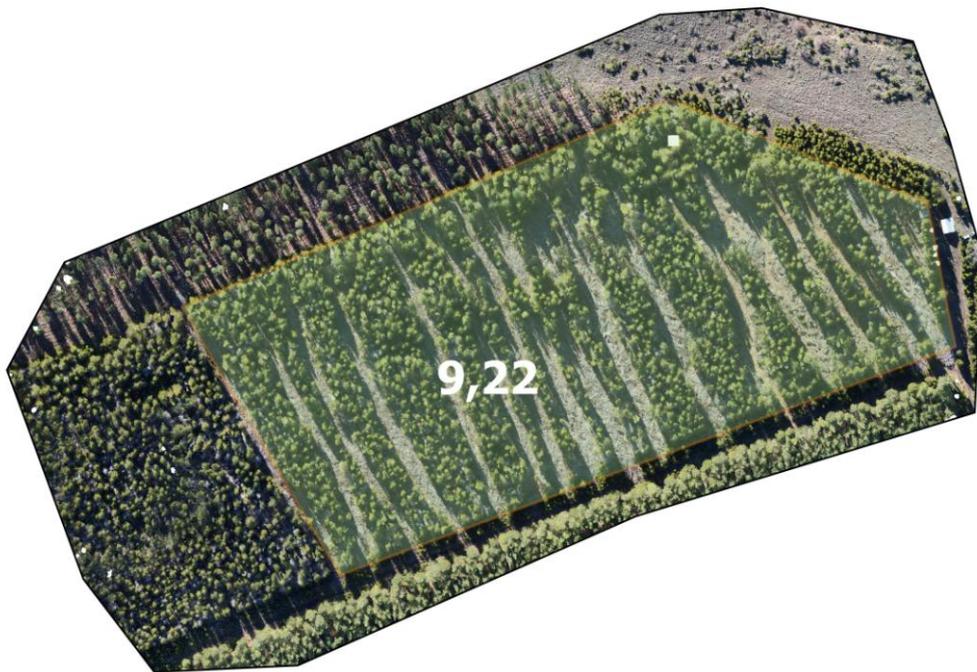


Figura. 11 Mosaicos del sitio2 correspondiente al 1º vuelo.

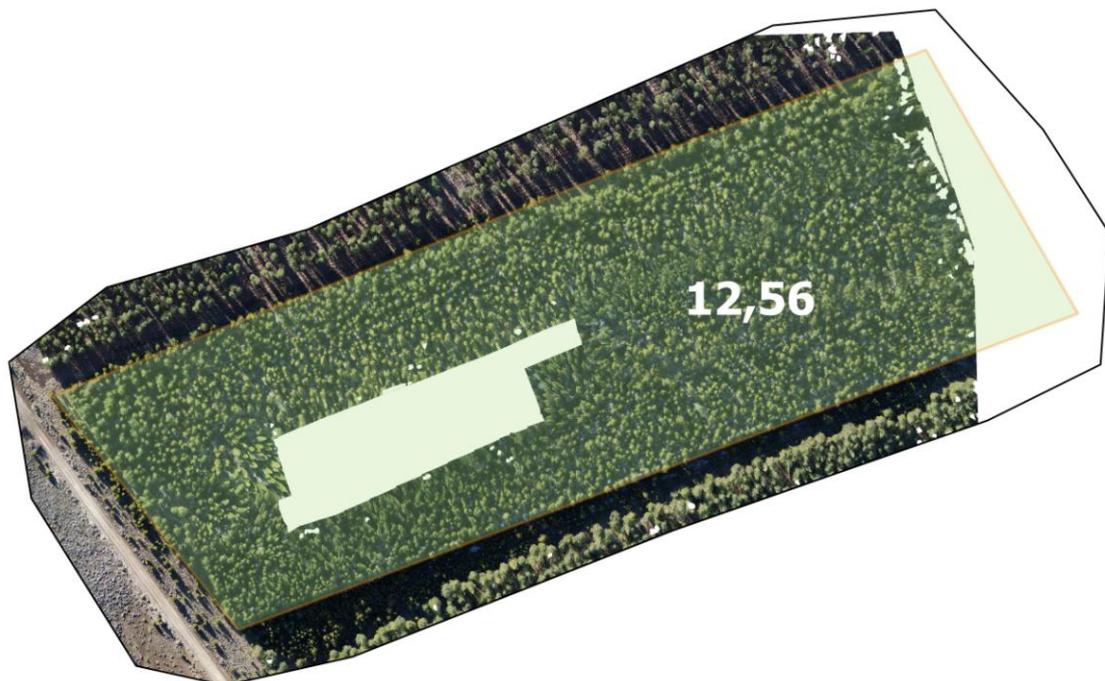


Figura. 12 Mosaico del sitio 2 correspondiente al 2ª vuelo.

Observación: el mosaico correspondiente al segundo vuelo (figura 7) resultó con un error de procesamiento en todos los software. Este error no se pudo identificar y se estima que pudo

ser producto de un mal funcionamiento en el momento de la toma de imágenes en el campo. Como resultado se genera un espacio vacío en blanco en el mosaico.

Estimación de la proporción de afectación

Sitio 1

Proporción por parcelas

A partir de las parcelas de muestreo se estimó una densidad de 809 arboles/ha de los cuales 15 arboles/ha están enfermos, correspondiente al 1,43 % de infestación.

Tabla 1. Resultados del muestreo en el sitio1.

	Sitio 1
\bar{X} sanos	7,00
\bar{X} enfermos	0,10
\bar{X} total	7,10
arb/ha	809
sanos/ha	678
enf /ha	15
% enfermos	1,43

Proporción por censo

En el censo de las 11,6 ha de plantación se registraron un total de 155 plantas infectadas de las cuales 121 estaban muertas, 21 cloróticas y 13 verdes enfermas. El censo demoró aproximadamente unos 60 minutos.

Tabla 2.Resultados del censo en sitio 1

	Nº árboles
Verdes enfermos	13
Muertos	121
Cloróticos	21
Total	155

Proporción por VANT

A través de la interpretación visual del mosaicos se detectaron un total de 25 focos con 58 árboles con sintomatologías visibles entre muertos y cloróticos en las 11,6 ha. Como se puede observar en la figura 13.

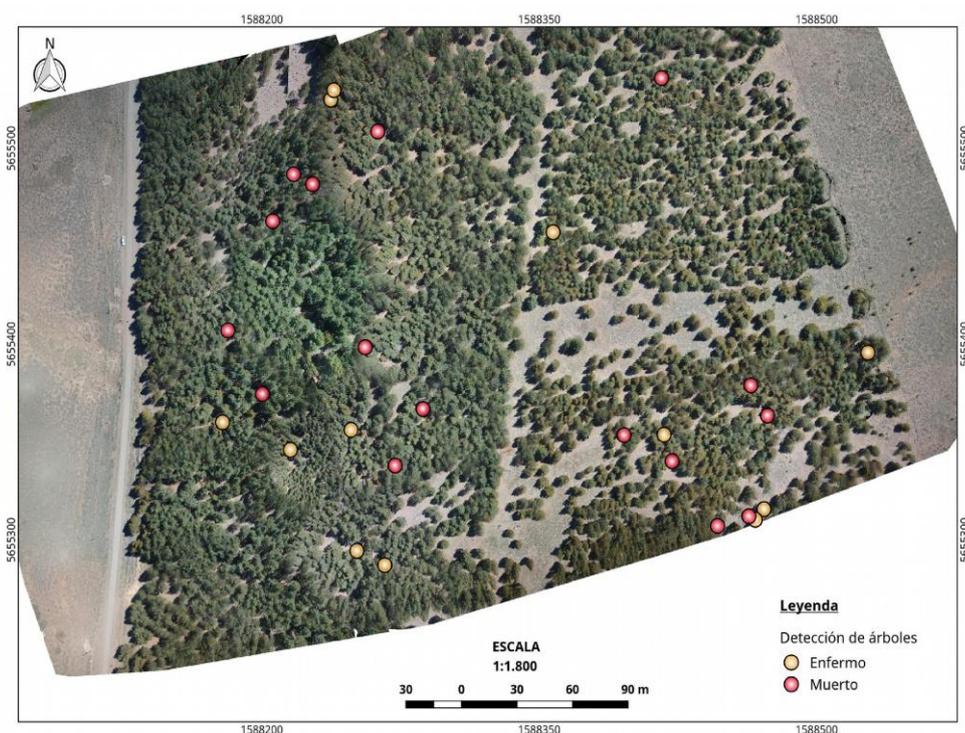


Figura. 13 Mapa de los individuos afectados en el sitio 1

Resumen Sitio 1

En la siguiente tabla se muestra un resumen de las tres metodologías. De un total de 9386 árboles para las 11,6 ha, se estimó que la proporción de infestación para el censo es de 1,65% correspondientes a 155 árboles, para el muestreo 1,43% correspondiente a 134 árboles y para la interpretación visual 0,62% correspondiente a 58 árboles.

Tabla 3. Resultados de los % de infestación para cada método en sitio 1

	Nº árboles	%
Densidad total	9386	100,00
Infestados Censo	155	1,65
Infestados Muestreo	134	1,43
Infestados VANT	58	0,62

Además se constataron el número de árboles muertos y vivos con síntomas de ataque de *S.noctilio* en los 28 puntos marcados en gabinete. Verificando así que 3 focos no existían y que de 25 focos detectados con 40 árboles infestados, se registraron 68 árboles infestados en el campo. Esto nos dice que estamos detectando mediante la imagen aproximadamente el 60% de lo que realmente existe.

Sitio 2

Proporción por parcelas

A partir de las parcelas de muestreo se estimó una densidad de 826 árboles/ha de los cuales 391 árboles/ha que corresponde al 44,59% están infestados.

Tabla 4. Resultados del muestreo para cada estrato en sitio 2.

	Sitio 2
\bar{X} sanos	13,67
\bar{X} enfermos	12,29
\bar{X} total	25,96
arb/ha	826
sanos/ha	435
enf /ha	391
% enfermos	44,59

Proporción por censo

En el censo de las 21,8 ha de plantación se registraron un total de 3116 árboles infestados de las cuales 3018 estaban muertos, 20 cloróticos y 78 verdes enfermos. La actividad se realizó en un tiempo de aproximadamente 100 minutos.

Tabla 5. Resultados del censo en sitio 2.

	Nº árboles
Verde enfermo	78
Muerto	3018
Clorótico	20
Total	3116

Proporción por VANT

Con la confección del mosaico del sitio 2 se realizó la estimación de la proporción de infestación correspondiente a la interpretación visual realizada. Se detectaron un total de 2943 árboles con sintomatologías visibles en las 21,8 ha. Como se puede observar en la figura 14.

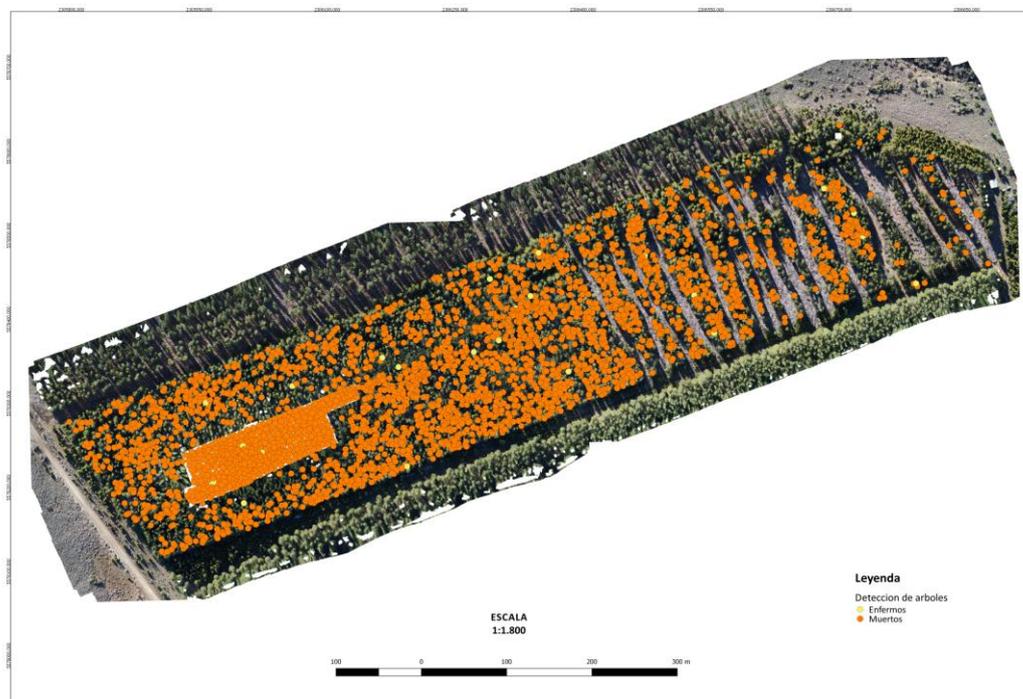


Figura. 14 Mapa de los individuos afectados en el sitio 2

Resumen Sitio 2

En la siguiente tabla se muestra un resumen de las tres metodologías. De un total de 19152 árboles para las 21,8 ha, se estimó que la proporción de infestación para el censo es de 16,27% correspondientes a 3116 árboles, para el muestreo 44,59% correspondiente a 8540 árboles y para la interpretación visual 15,37% correspondiente a 2943 árboles.

Tabla 6. Resultados de los % de infestación para cada método en sitio 2.

	Nº árboles	%
Densidad total	19152	100,00
Afectados Censo	3116	16,27
Afectados Muestreo	8540	44,59
Afectados VANT	2943	15,37

Resumen de resultados total

Se realizó una comparación de los porcentajes de infestación obtenidos para cada sitio (tabla 7). Aquí es posible observar que los valores obtenidos en el sitio 1 se comportan según lo esperado ya que el % de infestación del censo es considerablemente mayor que el del Vant (debido a la subestimación) y mayor que el del muestreo (debido al error de muestreo).

Los valores del sitio 2 no se comportan de la misma manera. Se puede observar que el máximo % lo tiene el muestreo y tanto el Vant como el censo (con valores similares) están muy por debajo del máximo. Para el caso del VANT se esperaba este valor debido a la subestimación, pero para el censo resulta ser un valor inesperado. Se descarta entonces el censo en el sitio 2 ya que es un dato no confiable, producto de que por la alta proporción de afectación no es posible o es muy difícil visitar todos los árboles, por lo tanto el dato resultó inconsistente.

Por el contrario, se toma como dato consistente el muestreo dado que se establecieron parcelas en forma independiente y aún así han arrojado resultados muy poco variables.

Analizando el desempeño del dron se puede observar que en ambos sitios se comporta de la misma manera respecto al muestreo, estimando aproximadamente un 34 % de lo estimado mediante el muestreo. La proporción que hay entonces entre lo detectado por el VANT y el parámetro estimado o censado en la visita es un sesgo con indicios consistentes de 3 a 1. Esto se obtuvo a partir de la constatación de campo realizada en el sitio 1 y el análisis de resultados (VANT vs. muestreo/censo). Por lo tanto, si bien los datos de solo dos sitios no son concluyentes, generan una perspectiva esperanzadora del uso del VANT como herramienta de diagnostico preliminar.

Como se puede observar en la última fila de la tabla 7 (DRONE x relación de expansión) una vez aplicada la relación de expansión (Valor de la relación =3,5) el valor de estimación del VANT se acerca bastante al valor obtenido mediante el censo.

Tabla 7. Proporción de infestación calculada para cada método en ambos sitio.

	SITIO 1	SITIO 2
CENSO	1,65	16,27
MUESTREO	1,43	44,59
DRONE	0,62	15,37
DRONE x relación de expansión	2,17	53,79

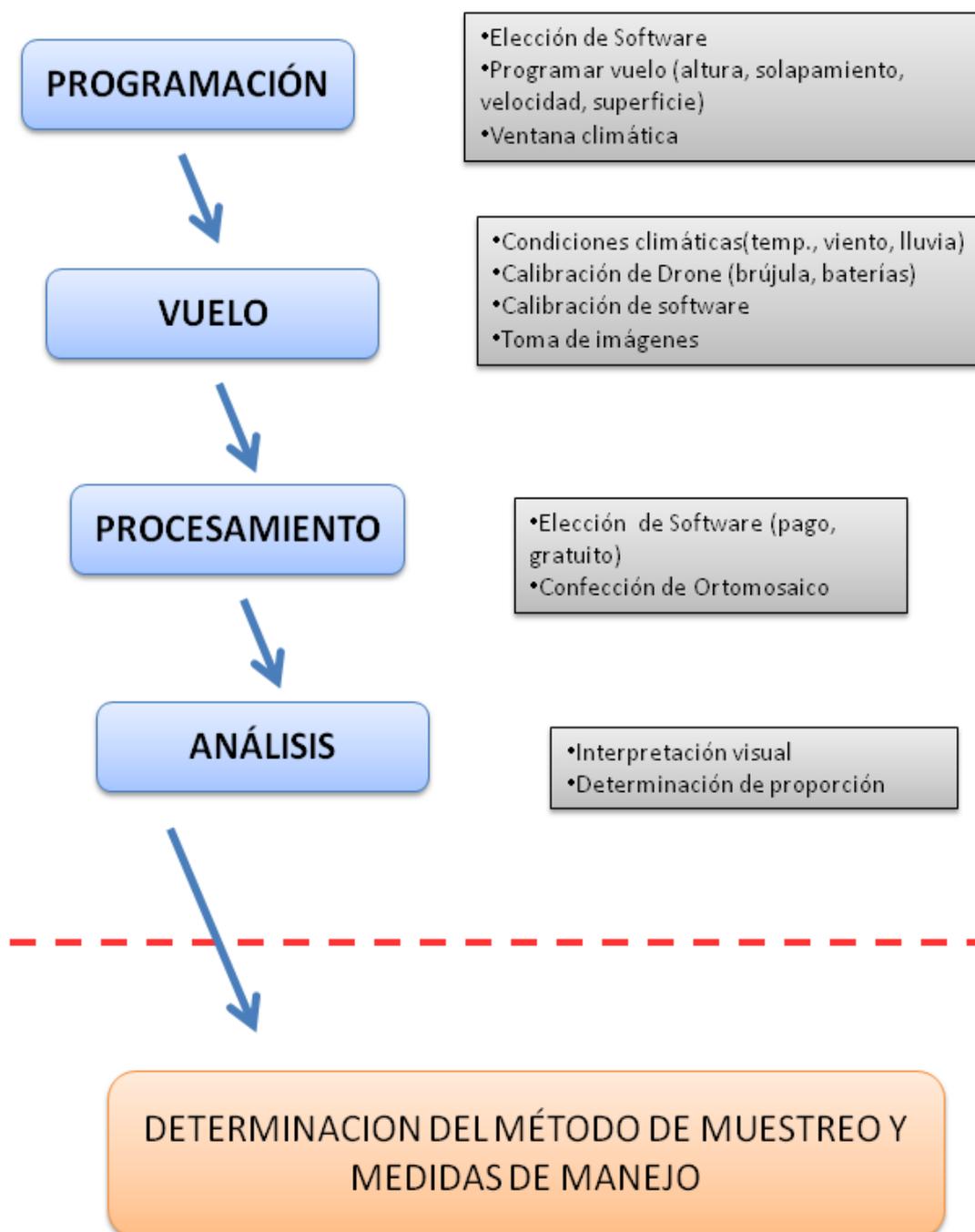
Conclusiones

Teniendo en cuenta lo trabajado durante la práctica laboral, fue posible elaborar una guía orientativa (figura 16) para prospecciones sanitarias por medio de VANTs. Esta guía tiene carácter preliminar, ya que a medida que se sigan realizando ensayos y pruebas podrían surgir mejoras o modificaciones. Como se puede observar en la misma, el último ítem (“Determinación de métodos de muestreo y medidas de manejo”), está separado por una línea de puntos. Esto es debido a que esa etapa excede los objetivos de esta práctica laboral, sin

embargo es importante incluirlo en la guía ya que sería la consecuencia y resultado de las etapas anteriores, que sí estuvieron comprendidas y analizadas en este trabajo. En conclusión, la prospección mediante el uso de VANT debería resultar como una herramienta complementaria para realizar una buena elección sobre el método de muestreo adecuado y posteriores medidas de manejo sanitario.

Figura 15. Guía orientativa para prospecciones preliminares

Guía orientativa para prospecciones preliminares



En relación al análisis de la eficiencia de los VANTs con respecto a otros métodos prospectivos, se elaboró una tabla comparativa de ventajas y desventajas (tabla 7). El aspecto negativo más relevante a tener en cuenta es que el drone tiende a subestimar la proporción de infestación, probablemente debido a dos causas. La primera, es que solo se pueden detectar plantas que presenten sintomatologías claramente visibles en la imagen (clorosis, mortandad), no pudiendo ser detectados aquellos ejemplares que están atacados pero aún tienen su follaje verde. La segunda causa de subestimación es que desde la imagen no se pueden identificar las plantas oprimidas que quedan debajo del dosel de árboles dominantes y codominantes. Para salvar este último problema, podría trabajarse en una relación “número de árboles detectados vs. número de árboles reales en el foco de infección”, para corregir las estimaciones y acercarse más a los valores reales.

Tabla 8. Ventajas y desventajas del uso del drone vs otros métodos prospectivos.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Generar un mapa mediante imágenes	Capacitación técnica
Conocer patrón de distribución	Pilotaje
Conocer proporción	Entrenamiento visual
Generar registro visual histórico	Manejo de software
Uso en zonas de difícil acceso	Condiciones climáticas limitantes
Resultados en menor tiempo	Uso limitado por la señal
Reducción de tiempos	Subestimación por cobertura
Reducción de costos	Subestimación por síntomas no visibles
No debo volver al sitio (mapa)	
Automatización del proceso	
Independiente del estado de la plantación	
Mismo grado de detalle en interpretación	
Resolución temporal independiente	
Grandes superficies en poco tiempo	
Baja logística y capacidad operativa	
Una persona sola lo opera	
Gran autonomía de trabajo en automático	

Teniendo en cuenta que se observan más ventajas que desventajas, se considera que el uso y aplicación de VANT puede convertirse en una herramienta de gran importancia a la hora de realizar estos diagnósticos, ya que sería posible relevar grandes superficies con un menor costo y en forma rápida y expeditiva. Esto representaría una ventaja con respecto a los muestreos, prospecciones o censos tradicionales que implican mucho tiempo de desarrollo, altos costos y capacidad operativa.

Teniendo en cuenta la optimización de la utilización de VANTs para estas prospecciones, se concluyó que la altura de vuelo adecuada fue 90 metros ya que se logró una buena relación de calidad de imagen, superficie capturada y optimización del consumo de batería. Sin embargo, la altura de vuelo es un parámetro que puede ser modificado siempre de acuerdo a las necesidades y condiciones del terreno. Con respecto al software, se concluyó que en función a la calidad de imagen, los mejores resultados se obtuvieron con DRONE DEPLOY, seguido por PRECISION MAPPER y luego PIX4D (versión online).

Sería interesante seguir investigando si aún se puede mejorar la calidad teniendo en cuenta que los mosaicos generados fueron todos a partir de software de acceso gratuito o de prueba. Es probable que con las licencias pagas puede mejorar la calidad notablemente. Esto sería de gran valor a la hora de realizar las interpretaciones, pudiendo reducir las diferencias entre lo observado y detectado en la imagen o lo que existe en la realidad.

En función del objetivo general de evaluar el rendimiento del uso del VANT como herramienta de prospección temprana para cuantificar niveles de infestación, se puede decir que es posible detectar a través de imágenes la presencia de *S. noctilio* y otras plagas en plantaciones mediante la observación de las sintomatologías expresadas en las copas. Con los resultados obtenidos hasta el momento, si bien esta estimación tiende a subestimar en relación a las otras metodologías, se puede decir que el resultado es alentador dado que la relación entre lo observado y el parámetro estimado (por muestreo o censo) tiende a ser lineal. Seguir trabajando en validar esta relación podría permitir que se ajusten, corrijan y se aproximen lo analizado desde el VANT o la realidad.

Hasta aquí, lo que se ha trabajado y analizado es prometedor como técnica prospectiva para contar con información consistente en forma rápida. Este trabajo podría replicarse en cualquier plantación con síntomas de ataque de *S. noctilio* u otras plagas forestales, teniendo presente que las plantas deben manifestar sintomatologías visibles.

Grado de aprovechamiento alcanzado

Considero que durante el transcurso de mi práctica se logró cumplir en mayor o menor grado los objetivos propuestos para dicha práctica:

- Establecer una vinculación entre los conocimientos adquiridos por el alumno y el desempeño de las labores propias del Técnico Forestal.
- Adquirir la disciplina, confianza y seguridad en la toma de decisiones y en la resolución de problemas reales propios del trabajo profesional.

- Crear vínculos entre la Universidad y los organismos públicos y empresas privadas que contribuyan al proceso enseñanza-aprendizaje.

Agradecimientos

Se agradece la participación del Ingeniero Agrónomo Francisco Azzaro inspector fitosanitario del Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria de esta localidad (SENASA) para el desarrollo de la practica.

Además se agradece al Ingeniero Forestal Gabriel Zalazar Técnico de la Dirección de Producción Forestal Regional Patagonia Andina Norte del Ministerio de Agroindustria por su colaboración en la práctica.

Bibliografía

- Asensio, J. L., Pérez, F., & Morán, P. (2008). UAV Beneficios y límites. *Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures*, 1–5.
- Baldini, A y Pancel, L. 2002. Agentes de daño en el bosque nativo. Editorial Universitaria. Santiago de Chile.
- Bartsch RIC (2015) Unmanned and Uncontrolled: The Commingling Theory and the Legality of Unmanned Aircraft System Operations. *J Aeronaut Aerospace Eng* 4:140.doi:10.4172/2168-9792.1000140
- Ciesla, W. M., Cadahia, D., y Robredo, F. 1976. La detección de plagas de insectos y enfermedades forestales. *Boletín Servicio de Defensa contra Plagas e Inspección Fitopatológicas*.
- Corley, J.C.; Villacide, J.M. 2006. Control de niveles poblacionales endémicos de la avispa de los pinos *Sirex noctilio* (Hymenoptera: Siricidae) mediante el raleo sanitario de hospederos atacados. *Revista de investigaciones agropecuarias (RIA)* Vol.35, no 001. Bs As, Argentina. pp 121-134
- Corley, J.C.; Villacide. J.M. 2005. Una visión dinámica del manejo de la plaga forestal *Sirex noctilio*. *IDIA XXI* 5: (8) 136-138
- Eskiviski, E. 2005. La avispa de los Pinos, Características y su Control Biológico. *idiaXXI Revista de información sobre investigación y desarrollo agropecuario. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Vol.5, no.8 (jul.2005). pp 139.*
- Farji-Brener, A.G.; Corley, J.C. 1998. Successful invasion of hymenopteran insects in NW Patagonia. *Ecologia Austral* 8:237-249.
- Gomez CA. 2008. Principales especies de insectos forestales en plantaciones de Pino de la Patagonia. *Serie Técnica Manejo Integrado de Plagas Forestales*, Villacide, J. y Corley, J. (editores). Cuadernillo N°3. INTA Bariloche
- Gonzalez Musso, R.; Rabino A. 2014. Modelos de riesgo para el manejo preventivo y sanitario de *Sirex noctilio*. *Serie Técnica: Manejo Integrado de Plagas Forestales N°18*. EEA INTA Bariloche.
- Huang Y B, Thomson S J, Hoffmann W C, Lan Y B, Fritz B K. Development and prospect of unmanned aerial vehicle technologies for agricultural production management. *Int J Agric & Biol Eng*, 2013; 6(3): 1-10.
- López- Granados, F. (2013). Uso de Vehículos Aéreos No Tripulados (UAV) para la evaluación de la producción agraria. *Revista Ambienta*, 105, 40–52.
- Madden, J. 1975. An analysis of an outbreak of the woodwasp, *Sirex noctilio* F. (Hymenoptera, Siricidae), en *Pinus radiata*. *Bulletin of entomological research* 65: 491-500
- Ministerio de Agroindustria. (<https://datos.magyp.gob.ar/reportes.php?reporte=ForestalProduccion>)

Rincón, V., Molina, A., Torres-León, J.L. y Herazo, A. (2015). Perspectivas de la tecnología VANT en el cultivo de palma de aceite: monitorización del cultivo mediante imágenes aéreas de alta resolución. *Palmas*,36(3), 25-41.

Nonami, K., Kendoul, F., Susuki, S., Wang, W., & Nakazawa, D. (2010). *Autonomous Flying Robots*. Tokyo: Springer Tokyo

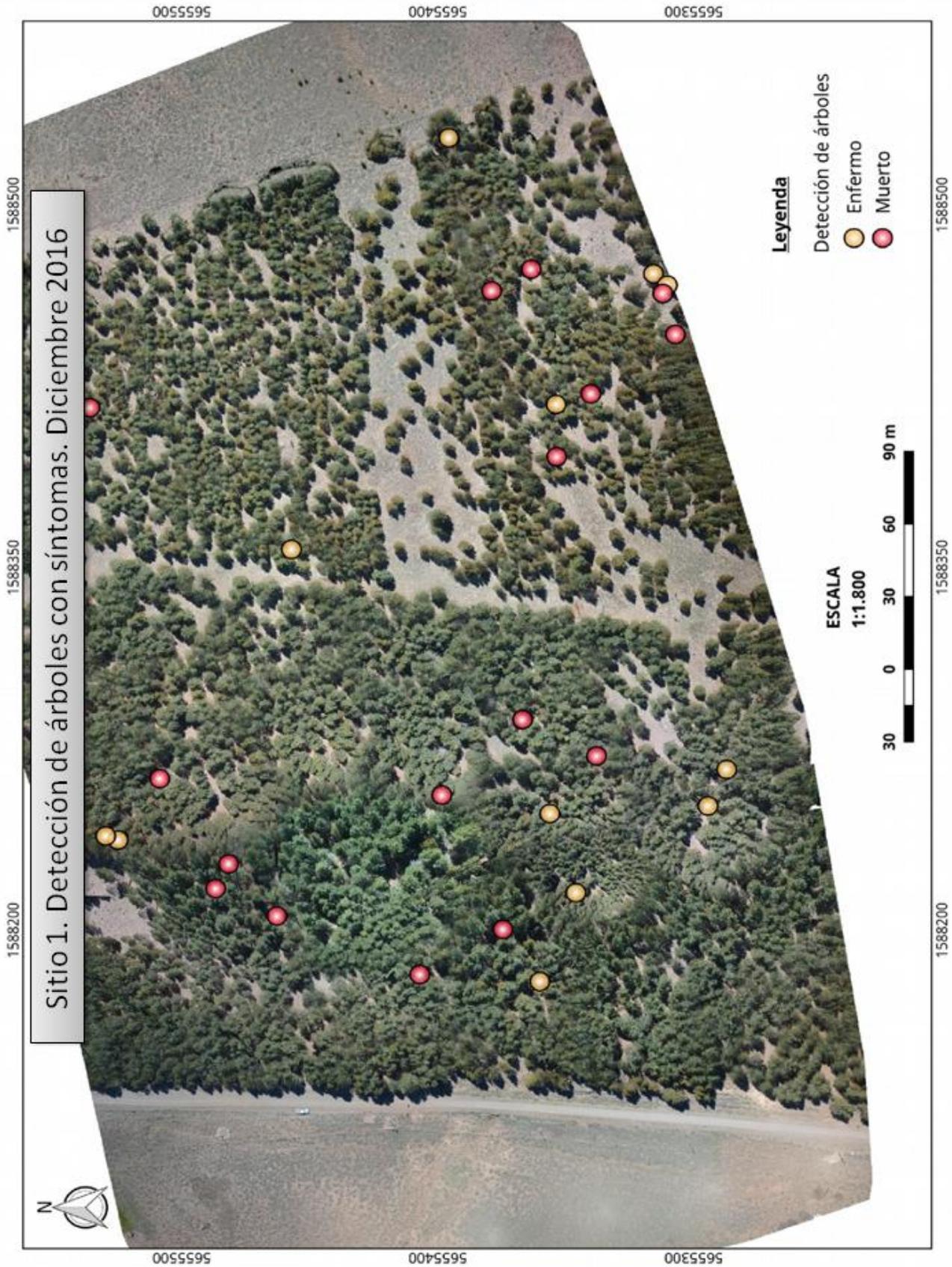
Navone, S.M., 2003. *Sensores remotos aplicados al estudio de los recursos naturale*. Editorial Facultad Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina.

Rawlings, G.B.; Wilson, N.M. 1948. *Sirex noctilio* as a beneficial and destructive insect to *pinus radiata* in New Zealand. *New Zealand Journal of Forestry* 6 (1): 1- 11.

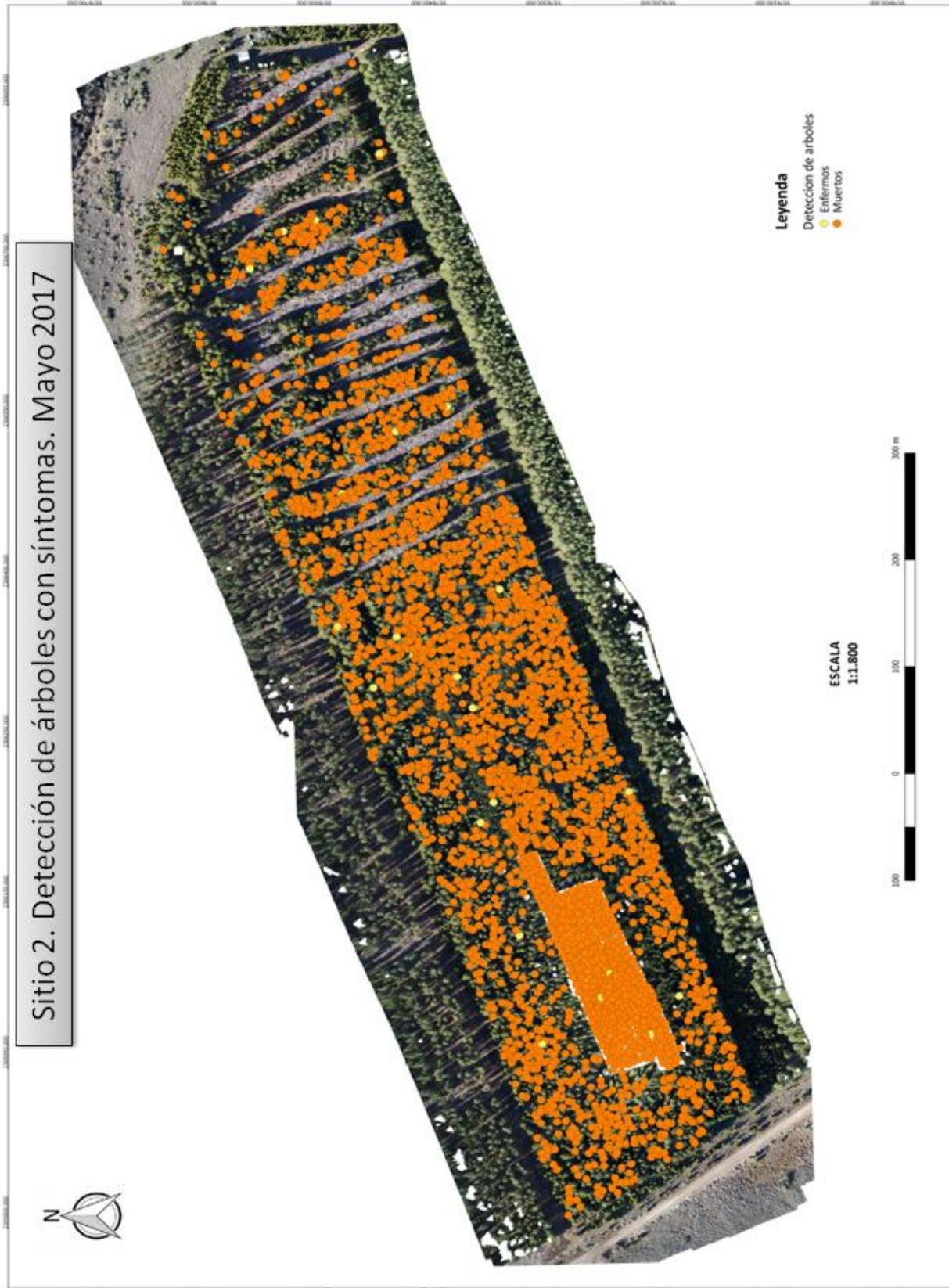
Villacide, J.M.; Corley, J.C. 2003. Distribución potencial del parasitoide *Ibalia luecospoides* (Hymenoptera:Ibaliidae) en la Argentina. *Revista Quebracho*, 10:4- 13

Anexo

- Cartografía
- Imágenes



Sitio 2. Detección de árboles con síntomas. Mayo 2017



Imágenes



Imagen 1. Despegue del dron al iniciar el primer vuelo en el sitio 1 (autor Maciel S.)



Imagen 2. Recopilación de datos del censo. (autor Zalazar G.)



Imagen 3. Seguimiento del vuelo mediante el mapa en la tableta (autor Maciel S.)