

INTRODUCCIÓN A LA AGRICULTURA 4.0



PROYECTO FIA: “Estimación del rendimiento y la calidad de los huertos de arándanos”



PROYECTO FIA:

“Estimación del rendimiento y la calidad de los huertos de arándanos (*Vaccinium corymbosum*) basado en herramientas de agricultura de precisión e IoT (Internet of Things) para la optimización de las variables de producción



AUTORES: PAULA VARGAS Q. INIA E STANLEY BEST S. INIA

COAUTORES:

DENISE DONNAY A. HORTIFRUT

REVISION DE CONTENIDO: VALENTINA ALARCON P.

CATALINA SEPULVEDA C.

DISEÑO Y DIAGRAMACION: DANIELA GREZ L.

VALENTINA ALARCON P.

Tabla de contenidos

Introducción	4
¿Quién es el asociado PROGAP-INIA?	5
¿Qué es la agricultura 4.0?	6
¿Cómo se aplica eficientemente la AP?	7
Pasos de integración implementados dentro del proyecto que permitieron una agricultura digital aplicada 4.0.....	9
1-. Sistemas de Evaluación de la variabilidad espacial y temporal de predios.....	9
¿Cómo se evalúa la actividad fotosintética del cultivo?.....	10
¿Cómo evaluar las condiciones edafológicas del suelo y la eficiencia del riego?.....	11
¿Cuál es la importancia del clima en cultivo y como se puede evaluar?.....	12
¿Cuál es la receta que involucra entender el cultivo a nivel de zonificación?	16
¿Cómo se obtuvieron las Estimaciones de Rendimiento y Calidad de Fruta?.....	17
2-. Sistemas de monitoreo continuo de variables.....	18
Prototipo óptico de captura (drone) para estimar rendimiento y evaluar el índice de madurez de las fruta	19
La caja de selección de frutos Nir.....	21
¿Que son las antocianinas?.....	21
¿Cómo se relaciona la madurez fenólica con la cámara Nir?	23
3. Sistemas de logísticas de producción	26
Plataforma de gestión predial.....	27
Aplicación móvil.....	28
Servidor de la plataforma	28
¿Qué es la Big data de campo?	28
¿Cómo se esperan visualizar los resultados del proyecto?.....	29
¿Qué se espera de la aplicación del proyecto en lo huertos de arándanos?.....	31

Introducción

La generación y difusión de la tecnología son los motores del crecimiento económico moderno en la agricultura, cada vez es más necesario apuntar a una agricultura sostenible y más productiva que pueda satisfacer los desafíos de seguridad alimentaria local, regional y global.

Los puntos claves para acelerar el crecimiento del país van a depender de la innovación y del desarrollo tecnológico como fuentes de crecimiento de la productividad y competitividad, a nivel empresarial y nacional.

La infraestructura agrícola existente a nivel nacional tiene datos pero gran parte de estos no son analizados en tiempo real (en forma oportuna) ni manejados en base a los sitios específicos de cada campo, zona o sector productivo.

El mayor desafío es buscar tecnologías habilitantes dentro del sector agrícola mediante la adquisición de procesos y gestión de servicios avanzados (datos, computación y tecnología) de la información, que dan la oportunidad de aprovechar este conocimiento en nuevos formatos como aplicaciones y/o plataformas

,que facilitan la toma de decisiones y permiten trabajar en sistemas agrícolas más productivos y sostenible.

En el mercado se habla de tres puntos claves (adaptación, habilitación y desarrollo) como solución que implican:



Existen muchas tecnologías aplicadas que involucra la agricultura de precisión, que van desde estaciones meteorológicas, sensores de humedad, espectrómetros para evaluar calidad y herramientas de teledetección. Estas aplicaciones están en el mercado con bajos precios debido a la evolución constante de la tecnología. Por lo tanto, para que tengan el beneficio esperado es necesario utilizarlos en forma adecuada, partiendo por su ubicación e interpretación del resultado, que es la consecuencia para lograr una Agricultura 4.0. Este procesamiento y análisis de los datos incorporando computación en cloud, junto con técnicas de analítica avanzada (Big data e Inteligencia artificial) nos permite tomar decisiones en tiempo real y con ello hacer uso eficiente de los recursos, y maximizar los rendimientos por unidad de superficie.

Es por ello que para poder lograr una Agricultura 4.0 debemos trabajar en digitalizar nuestros campos y utilizar estas herramientas para atenuar los efectos del cambio climático y lograr ser competitivos en la industria. En función de los puntos, **Hortifrut** y el **Instituto de Investigación Agropecuaria (INIA)** Departamento de Agricultura de Precisión (PROGAP-INIA) deciden asociarse para presentar la iniciativa denominada **“Estimación del rendimiento y la calidad de los huertos de arándanos (*Vaccinium corymbosum*) basado en herramientas de agricultura de precisión e IoT (Internet of Things) para la optimización de las variables de producción.”** A la **Fundación de Innovación Agraria (FIA)**, convocatoria **2016**, cuyos resultados finales que se expondrán en este boletín.

El objetivo del proyecto fue **“Desarrollar un sistema (hardware-software) para la estimación de rendimiento y calidad de espacio-temporal en arándanos, que permita identificar variables incidentes en la evolución de los parámetros del rendimiento y a la vez mejorar algunos aspectos de la logística de cosecha”**.

¿Quién es el asociado PROGAP-INIA?

Es un programa que se inició en INIA el año 2006, dirigido por el PhD. Stanley Best S. esto debido a la necesidad de poder orientar y enfocar los esfuerzos en el estudio y difusión de la Agricultura de Precisión (AP), el Instituto de Investigaciones Agropecuarias, a través de su Centro Regional de Investigación Quilamapu, Chillán, da como respuesta creando este programa.

El Programa enfatiza el uso de información y tecnologías emergentes para sintetizar y entregar herramientas de decisión para mejorar la rentabilidad del agricultor usuario. Estas actividades dependen de la interacción de distintos sistemas: sensores, tecnologías de la información y comunicación (TIC's), procesamiento de imágenes, análisis y modelos matemáticos estadísticos e ingeniería mecánica, etc.

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



¿Qué es la agricultura 4.0?

El primer nivel para realizar una agricultura 4.0 es identificar zonas con mayor y menor producción mediante parámetros de segregación como son variabilidad climática, suelo e hídricas dentro del cultivo. Esta información es clave para un administrador de campo, ya que les permitirá tomar de decisiones en forma acertada, en pro de maximizar la productividad y comercializar productos de calidad, siendo como resultado el real impacto de la tecnología.

Chile no ha tenido avances sustanciales debido a la falta de estructuras de servicios, capacitación e integración adecuada al sector productivo. Esto se debe a falla en implementación de la tecnología tanto en agricultores grandes como pequeños, donde es común que incorporen sensores caros o económicos a sus sistemas productivos, pero que están siendo utilizados al 50% de su potencial o bien queden abandonados rápidamente.

Las tecnologías básicas que han permitido el desarrollo de la agricultura de precisión son los sistemas de posicionamiento global (GPS) y los sistemas de información geográfica (SIG). El GPS permite la localización instantánea (latitud y longitud) de cada sector del campo mediante el uso de una constelación de satélites, cuyas posiciones en un momento dado son conocidas. Por otro lado, los SIG permiten el manejo de toda la información generada en el terreno, en forma de mapas georreferenciados.

Si a estos mapas se suman los sensores remotos, maquinaria especializada, biosensores, entre otras, esto genera capas de información, las cuales con una correcta interpretación

permite mejorar la toma de decisiones productivas debido a un mejor conocimiento de los procesos y fenómenos que ocurren en el campo y/o cultivo.

Esto permite segregar mediante el uso de mapas geoespaciales la zonificación productiva (ambientes productivos), permitiendo un manejo eficiente de los recursos tales como los hídricos, agroquímicos, entre otros. Además se debe trabajar con métodos de optimización aplicados a sistemas de evaluación (monitoreo) asociados a factores como cantidad de kilos, calidad y/o madurez de los frutos, esto promuevan un trabajo integrado y proactivo de los huertos y dan sustentividad al productor. Acondicionar estas tecnologías habilitantes permiten: reducción de costos de producción, por aumento de la eficiencia del uso de agua, reducción de los insumos agrícolas, mejoramiento de los sistemas de control y monitoreo de calidad de los frutos y determinación de la mano de obra. Por ello, la producción frutícola actual, debe buscar mejorar la competitividad siendo uno de los caminos el trabajo bajo el concepto de tecnología de información y comunicación (TIC) aplicado en la agricultura de precisión.

¿Cómo se aplica eficientemente la Agricultura de Precisión?

Una correcta aplicación de la AP, es entender la variabilidad dada en una condición específica de campo, que permite un mejor manejo de la producción, mediante la implementación y uso de las herramientas que permitan visualizar los reales problemas de campo. Para que esto pueda ser posible debemos considerar los siguientes puntos

(1) reconocimiento de la variabilidad o captura de información;

(2) análisis cuantitativo y cualitativo en términos de interpretación agronómica de la información recopilada

(3) medidas prescriptiva que permitan asumir la variabilidad como un factor clave en cuanto al manejo productivo de un cultivo determinado o (idealmente) del sistema productivo en su totalidad.

Estas tres etapas de manejo asociado a la AP, quedan expresados en el denominado "ciclo de AP" en el cual se pueden reconocer la mayor parte de los elementos propios de este enfoque metodológico.

En un campo, lo básico es tener una zonificación en cuarteles o sectores (micro zonificación) mediante Remote Sensing (Satélites y drones) imágenes satelitales y UAV que permitan describir el índice de vigor de las plantas (vigor bajo, medio y alto) y su interacción con el clima-suelo-agua. Una vez que se determinan las zonas heterogéneas, se obtiene los puntos de control que permitirán implementar sensores de monitoreo (Proximal Sensing) para controlar y evaluar las fertilizaciones, tasas de riegos, plagas,

enfermedades e incluso el desarrollo de estructuras de la planta y frutos ligado a las condiciones propias de sitio específico y asociado a las estaciones meteorológicas permiten entender los requerimientos del cultivo en momento específicos. Esta data capturada debe ir almacenando en una plataforma de gestión que conecte los sensores remotos, la data climática y la zonificación del huerto, fundando las base de la aplicación de la **Agricultura Tecnológica 4.0**, con la que se obtiene patrones de descripción fenológica tanto de desarrollo y evolución del cultivo en las distintas condiciones agroclimáticas ayudando a potenciar el rendimiento y la calidad de producción.

Además de monitorear y evaluar al campo día a día, permite tener una robusta información año a año del cultivo, la cual al ser modelada por algoritmos matemáticos se desarrolla un árbol de decisión, denominándola **Big Data de Campo**, información robusta por los encargados de campo, asesores y servicios agrícolas que pueden resolver los problemas de producción y los causados por el cambio climático.

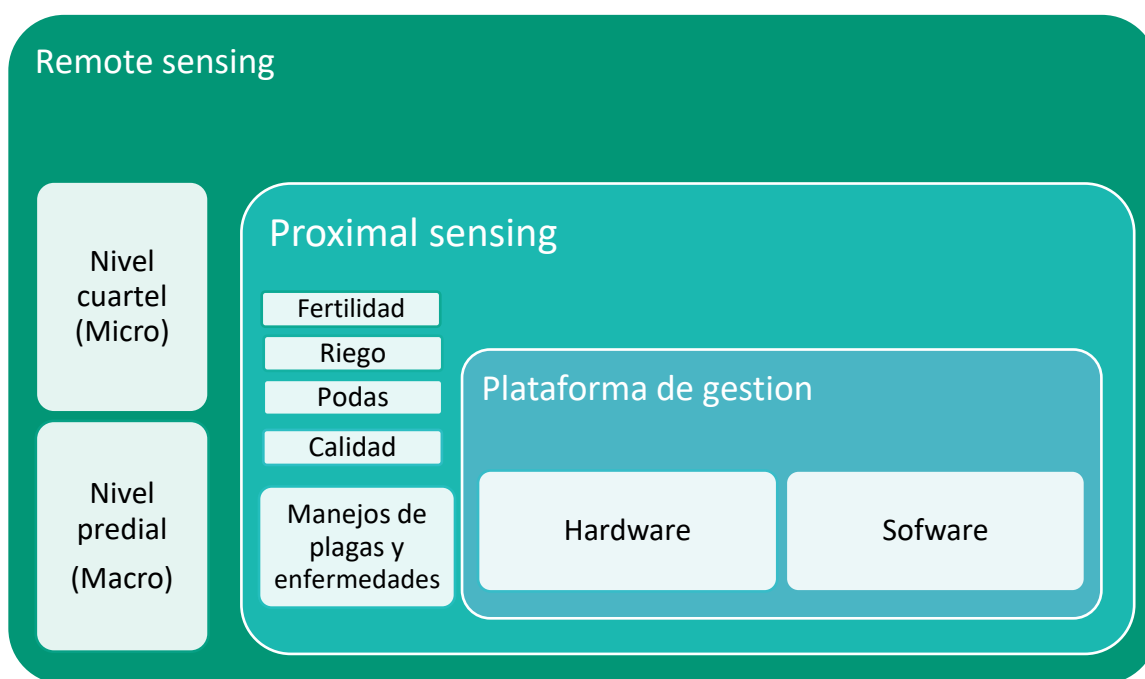
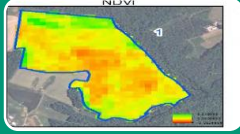


Figura 1. Interacción de modelo gestión para integración en campo de la Agricultura de Precisión (AP).

Para este proyecto Hortifrut dispuso del campo ubicado en Virquenco, Los Ángeles, para llevar a cabo este estudio a manos de INIA, encontrando patrones de comportamiento para las variedades Legacy y Brigitta, las cuales hoy en día se proyectan en nivel macro en otras regiones productoras de arándanos.

Pasos de integración implementados dentro del proyecto que permitieron una agricultura digital aplicada 4.0



Sistemas de Evaluación de la variabilidad espacial y temporal de predios



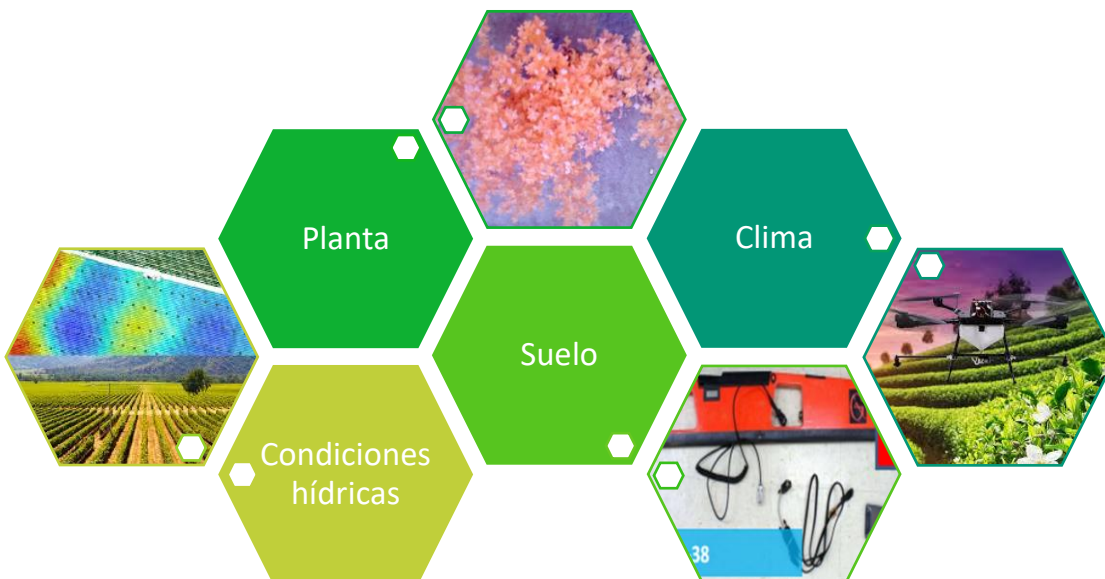
Sistemas de monitoreo continuo de variables



Sistemas de logística y control de la producción

1-. Sistemas de Evaluación de la variabilidad espacial y temporal de predios

Las zonificaciones deben ser consideradas como un pilar fundamental para poder entender la variabilidad del cultivo y su interacción con el medio ambiente, por medio del monitoreo del estado vegetativo de las plantas asociadas al índice de vigor y actividad de fotosintéticas y las condiciones de suelo, hídricas y climáticas, para determinar las posibles respuestas del cultivo ligadas a estas interacciones.



¿Cómo se evalúa la actividad fotosintética del cultivo?

Para evaluar la actividad fotosintética del cultivo, se da por medio de la utilización de sensores remotos que capturan la reflectancia de las plantas, información que pueden ser provenientes de satélites, aviones o de captura terrestre (ver figura 2). Este tipo de información es ampliamente utilizada ya que se han encontrado buenas correlaciones entre las producciones y la respuesta espectral de las plantas, lo cual puede generar una definición de variabilidad de suelo, útil en especial por su bajo costo.

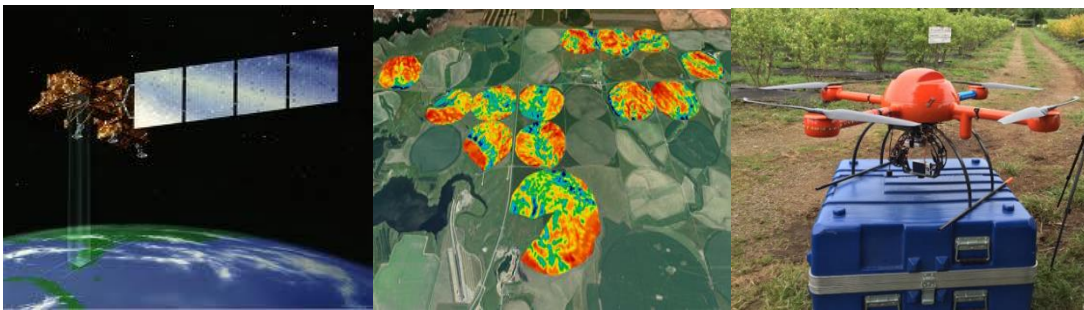


Figura 2. Satélite Landsat (USA) para monitoreo de recurso naturales, imagen capturada con sensor multispectral aéreo y sensor activo de terreno, respectivamente.

El índice de vegetación normalizado (NDVI), permite dar un diagnóstico del cultivo por medio de la actividad y desarrollo de la vegetación, que representa la reflexión emitida por las hojas en la región espectral, asociadas al infrarrojo cercano. Esta puede ser obtenida por imágenes satelitales y drones como se muestra en la figura (2).

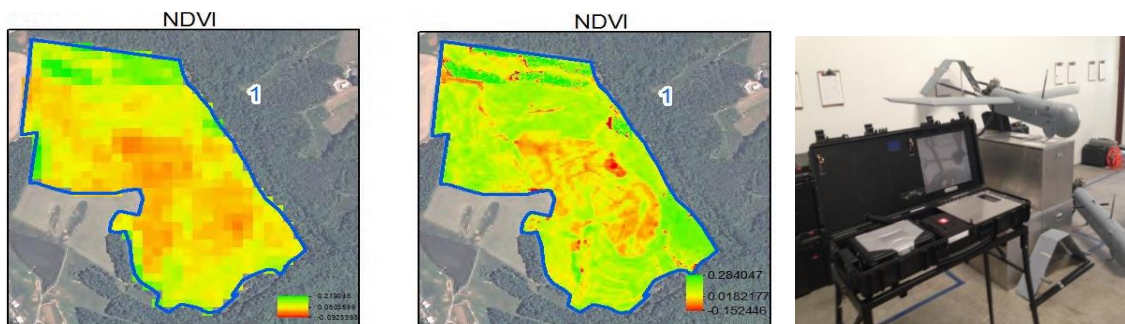


Figura 3. Imagen de índice verde o NVDI obtenida por Landsat 8 (izquierda) y por formato aéreo (derecha) y UAV.

Para entender un índice NVDI, debemos saber que las plantas sanas y vigorosas absorben la luz roja y reflejan la luz del infrarrojo cercano, y el valor de NDVI se acercará a 1. Contrariamente, un cultivo con bajo estatus de nitrógeno o enfermo, presentará un valor de NDVI más cercano a 0. En condiciones de campo el rango real observado se encuentra típicamente entre 0,7 y 0,8 para un cultivo sano y con suficiente N, y en el rango entre 0,25 y 0,3 para un cultivo que presenta una deficiencia extrema de N. Cabe mencionar que otros colores tales como verde o ámbar también se han utilizado en lugar del rojo al calcular el NVDI.

¿Cómo evaluar las condiciones edafológicas del suelo y la eficiencia del riego?

Es clave poder conocer cuáles son las características de suelo tanto en condiciones físicas (topografía, textura, retención de humedad, profundidad, etc.) como químicas (nivel de fertilidad, CIC, % materia orgánica, etc.) y su variabilidad espacial dentro de la unidad productiva.

Por medio de los mapas de NVDI, podemos identificar poblaciones de plantas que tiene un comportamiento distinto dentro del cuartel donde podemos extraer muestras tanto para análisis de estructura como de textura, esto permitirá visualizar a nivel de mapa la proyección nutricional y textural del huerto identificando factores que influyen sobre zonas con bajos rendimientos.

Otra herramienta empleada es la rastra electromagnética EM-38, que por medio de mediciones de la conductividad eléctrica de los suelos asociada a la altimetría existente (Figura 4), es usado como una herramienta de apoyo para la caracterización físico-hídrico de suelo, de manera de entregar información que permita medir su variabilidad y de esta forma explicar la variación espacial del estrés hídrico detectado en las plantas.

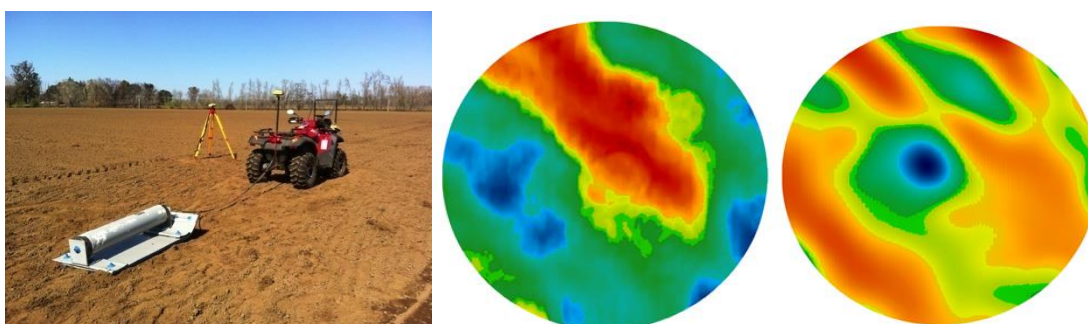


Figura 4. a) Unidad sensor electromagnético EM-38 + Sistema RTK para medición de topografía; b) Mapa de variabilidad CE de suelo c) mapa topográfico de suelo.

Lo anterior es muy útil para evaluar las condiciones en las cuales se desarrolla un sistema de riego variable y también para la definición de la fertilización óptima con el apoyo de equipos adecuados.

Las aplicaciones de modelos de retro dispersión a partir de datos satelitales han permitido estimar valores de humedad y cambios en la rugosidad superficial asociados a cambios de vegetación. La ventaja de esta técnica no requiere condiciones de observación idénticas, con lo que es posible emplear imágenes con mayor periodicidad. A través de su área de modelación numérica y teledetección se han desarrollado análisis texturales mediante información de radar satelital y mediciones espaciales durante los últimos años, en conjunto con información de terreno, mostrando una relación entre datos texturales recolectados in-situ con zonificación de variación del retorno del pulso de radar (en adquisiciones multitemporales) realizado a través de tres estrategias de medición. Adicional al análisis de información SAR (SENTINEL 1^a), se integra información satelital óptica (LANDSAT 8) a través de índices vegetacionales (NDVI) de diferentes años para robustecer los modelos de discriminación de suelos.

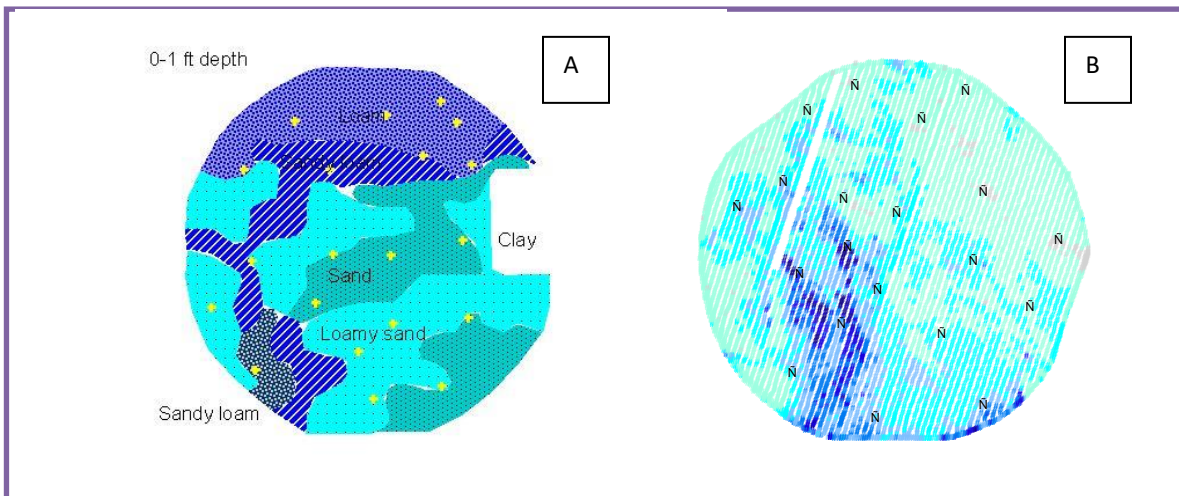


Figura 5. Clasificación textural de suelo (A); Punto de monitoreo mediante uso de EM38 (B) en un pivote central.

¿Cuál es la importancia del clima en cultivo y como se puede evaluar?

Una amplia gama de variables, tanto genéticas como de origen ambiental, son conocidos por influir en el crecimiento y desarrollo de las plantas. En sistemas agrícolas, la intensidad de luz, calidad del aire, nutrientes del suelo, humedad y temperatura, entre otros, son factores ambientales particularmente importantes. El monitoreo de las condiciones ambientales puede ser crucial para agricultores que deseen implementar prácticas de manejo en etapas específicas del desarrollo de cultivos. Por ejemplo, la evolución

fenológica asociadas a las condiciones climáticas pueden evidenciar condiciones no favorables para el cultivo (mayor tasa de evapotranspiración y deficiencias de riego por ejemplo), en ciertos estados, que al final de la temporada como no existen registros son indetectables.

Por otro lado, la relación entre la radiación solar incidente tiene una alta relación en los procesos de actividad de las plantas (fotosíntesis, demandas hídrica de las plantas, etc.) que a la vez poseen una alta correlación con la condiciones de temperatura ambiente, siendo esta última la más usada por ser más fácil de obtener.

Para una gran mayoría de especies frutales, la temperatura y la consiguiente acumulación de calor son los factores ambientales más influyentes, que generalmente son medidos sobre la base de un índice llamado grados días acumulados (GDD), el cual está definido por la acumulación de temperatura media diaria ($T^{\circ}\text{max}-T^{\circ}\text{min}/2$) sobre una base térmica (7 grados para el caso de arándanos).

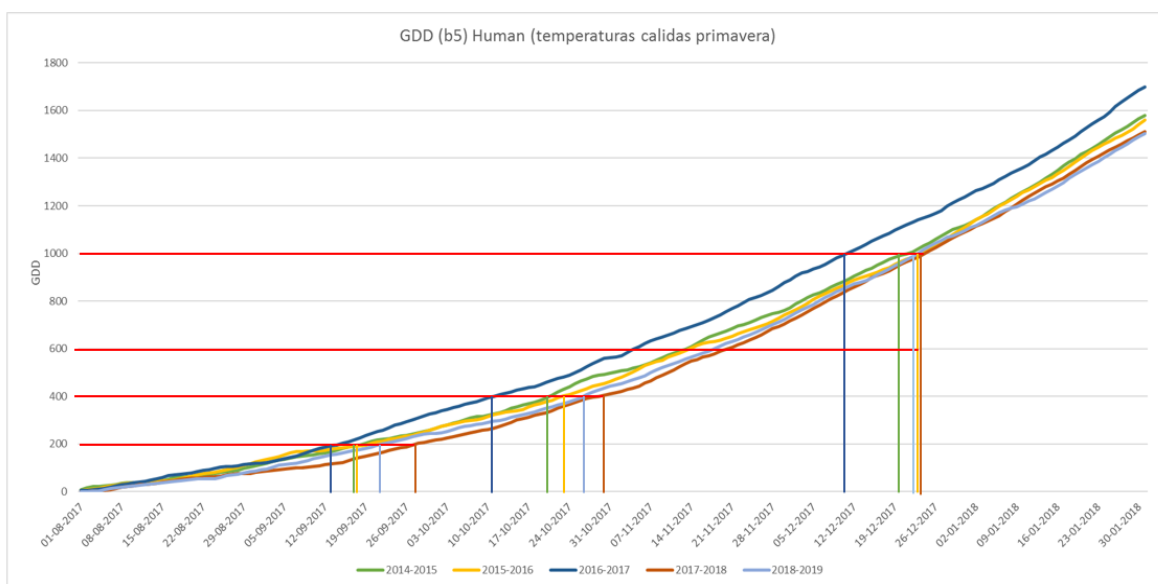


Figura 7. Evolución de grados día acumulados (GDD) en las últimas 5 temporadas.

Los GDD han demostrado ser útiles para los científicos, consultores de cultivos y productores que los utilizan para predecir la tasa de desarrollo de la planta y la etapa de crecimiento. En ciertos cultivos, esta información se utiliza para ayudar a planificar las decisiones de manejo de cultivos, como el tiempo de riego o la aplicación de pesticidas, y para programar la cosecha. Sin embargo, el desarrollo de los GDD de año en año, son diferentes por lo que las fenologías se contraen y expanden (ver figura 7) y por ende las acciones agronómicas deben ser ajustadas a estas variaciones, con el fin de reducir el impacto del clima sobre los ambientes y por ende en el resultado final del cultivo.

Un forma de evaluar el impacto fenológico del clima en el desarrollo de los cultivos, es utilizando información satelital o drones en el desarrollo de curvas de evolución de vigor en las plantas. Hoy en día existen diferentes plataformas de seguimiento de cultivos sobre la base de información de índices vegetativos (MSAVI, NDVI, GDVI, etc.) que permiten visualizar los problemas asociados al desarrollo del cultivo que permiten cuantificar que tan bien o mal está el cultivo en un determinado periodo de su desarrollo, claro está, cuando estas están ajustadas al desarrollo del GDD y no solo a fechas ya que año a año las condiciones de acumulación térmica cambian. Así, podemos encontrar diferencias en los rendimientos según el desarrollo del cultivo como lo podemos ver en la figura 8 donde para dos cultivos diferentes se cuentan claras diferencias de rendimientos, los cuales se ven asociados a un periodo inicial con problemas de una zona sobre la otra.



Figura 8. Evolución de valor de NDVI temporal con diferencias productivas en arándanos (A)

A pesar de poder ajustar el impacto climático multiestacional, en el desarrollo de los índices del cultivo, existe el problema de la variabilidad de suelo (textura, profundidad, topografía, etc.) que generan un impacto ambiental diferencial por zonas que terminan en un impacto en los rendimientos y calidades variables.

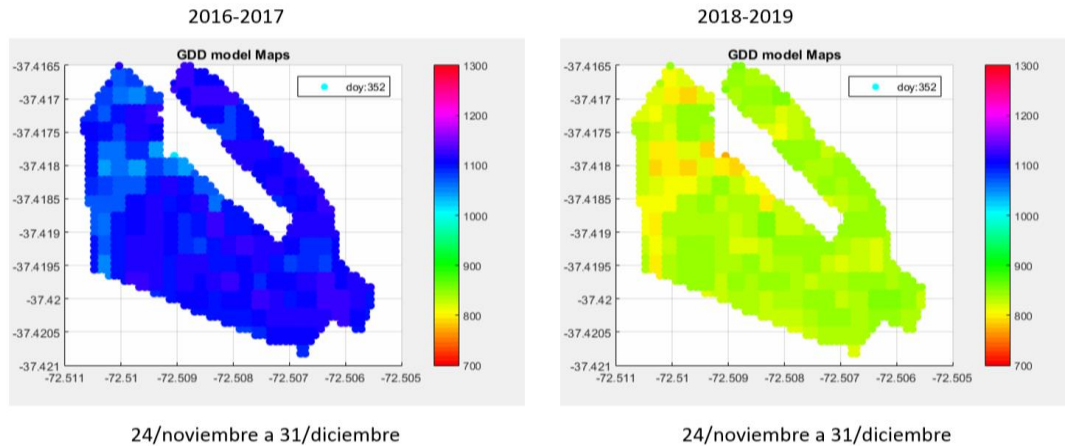


Figura 9. Diferencias en dos temporadas distintas (2018 y 2019) de GDD espacio – temporal para el mismo cuartel de arándanos y misma día (DOY 352) de evaluación.

Para poder llevar a cabo una adecuada agregación de ambientes, se deben tener costosa información de caracterización de suelo (textura, profundidad, topografía, etc.) que muchas veces no se tiene fácilmente debido a su costo. Otra forma de evaluar los ambientes, es mediante el uso de información multiestacional de índices vegetativos (expresión en planta) asociado a información de topografía (incidencia en radiación, suelo) que mediante un modelamiento multivariado se generan ambientes caracterizados que expresan el potencial de cada uno, factor que fue la base del modelo desarrollado por este proyecto.

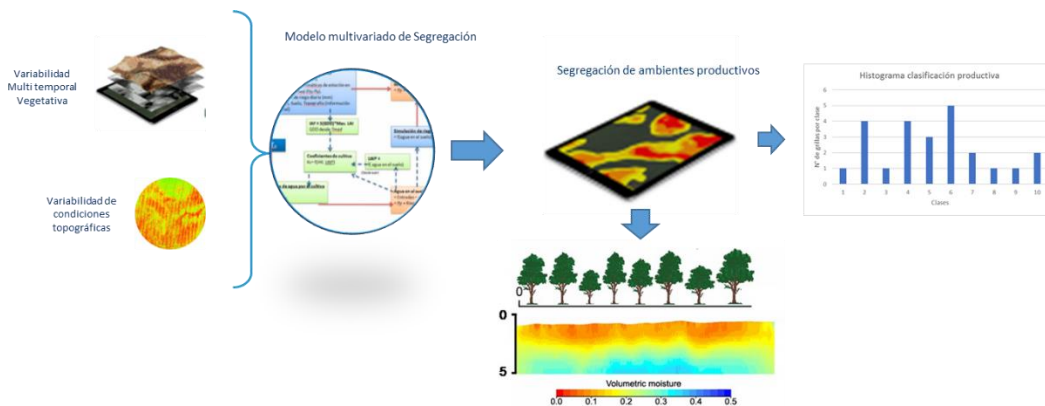


Figura 10. Esquema de modelo de caracterización de ambientes.

Ejemplo de esta aplicación es la metodología que se empleó en la ejecución del proyecto, donde las zonificaciones se realizan mediante una caracterización espacial del suelo, de

mano de imágenes satelitales sumadas a las mediciones de la conductividad eléctrica (CE) con el equipo electromagnético EM38-MK2, con un GPS geodésico (RTK). Los datos georreferenciados de la CE del suelo, son obtenidos a alta densidad sobre la totalidad de las áreas en estudio y además de topografía (RTK) para evaluar su efecto en los patrones del cultivo, asociadas a las variables climáticas de más incidencia sobre la producción (fertilidad de suelo, riego, temperatura, humedad, grados días acumulados y radiación).

Sobre estos mapas generados del huerto, se realizará un análisis de similaridad que permite integrar estadísticamente los patrones espaciales existentes, determinados por las variables agroclimáticas ya mencionadas. Todo esto da origen a los puntos de control homogéneos que describen en totalidad el predio, encontrando representantes en vigores de planta condicionados por su actividad fotosintética que representan la variabilidad existente dentro del huerto de estudio, el objetivo es poder homogenizar la producción y dar la información necesaria a los encargado de campo para que puedan ajustar sus recomendaciones en función de optimizar los recursos destinados a la logística de producción. En el mapa de la figura (11) se puede apreciar como el patrón de NVDI, fertilidad de suelo y radiación tiene un comportamiento similar visualizando las zonas de mejor producción y las zonas críticas que necesitan un mejor manejo agronómico.

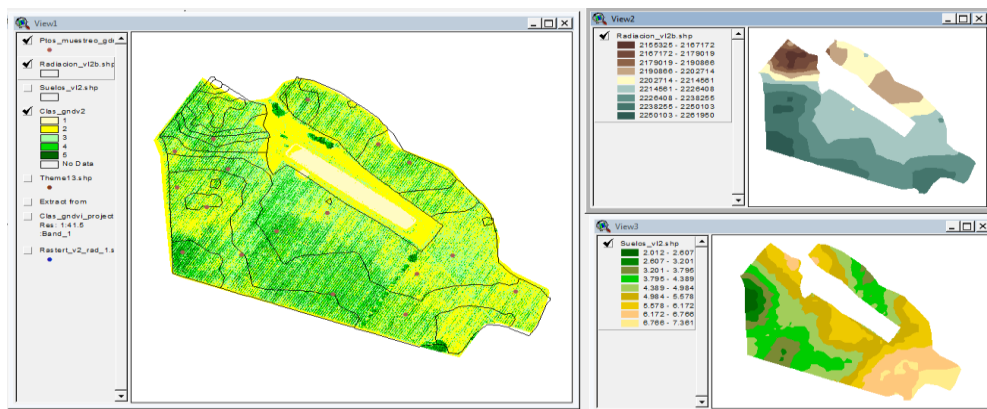


Figura 11. Zonificación del huerto de arándanos en estudio a partir de las variables de NVDI, radiación y nutrición de suelo.

En el mapa de la figura 2 se puede apreciar la clara diferenciación de las zonas dentro del huerto, este huerto era tratado con las mismas logísticas agronómicas en toda su superficie, pero los datos estadísticos asociados a los modelos de segmentación predial nos indicaba que cada zona necesitaba requerimientos agronómicos diferentes, es claro que para poder estandarizar la producción es necesario incorporar esta metodología.

¿Cuál es la receta que involucra entender el cultivo a nivel de zonificación?

- Utilización de la rastra electromagnética para describir la variabilidad de suelo, en parcelas de ensayo.
- Utilización de imágenes satelitales para caracterizar la vegetación. Se establecerán fechas críticas de evaluación, en parcelas de ensayo.
- Utilización de datos históricos satelitales para analizar la dinámica de vegetación, en parcelas de ensayo.
- Obtener muestras de suelo en los puntos de monitoreo establecidos y obtener parámetros físico-hídricos para la caracterización de suelo, en parcelas de ensayo.
- Interacción con la información agroclimática para generar zonas diferenciadas.

¿Cómo se obtuvieron las Estimaciones de Rendimiento y Calidad de Fruta?

Sobre la base de la información de 250 cuarteles de rendimiento de más de 4 años e información espacial de suelo, variación de biomasa, clima, etc., se generó un modelo de estimación de rendimiento y calidad basados en redes neuronales. Los resultados del modelo generaron errores de estimaciones menores a los 5%, realizadas con 2 meses de antelación a cosecha, la cual fue validada en temporada 2019. Por otra parte, el sistema predice el día de cosecha, sobre la base de acumulaciones térmicas prediales con un pixel de 20 m, tal como se puede visualizar en la figura 12. Finalmente, estos modelos fueron validados con información de verdad de terreno, utilizando el prototipo óptico de captura (drones), factor que es explicado más adelante en este texto.

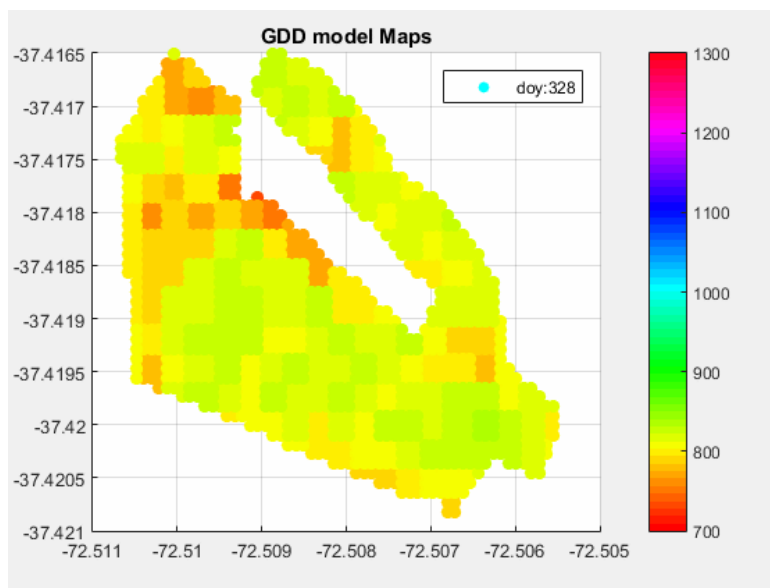


Figura 12. Evolución de acumulación térmica en gados día espacial del bloque en VL2 en estudio.

2-. Sistemas de monitoreo continuo de variables

Los sistemas remotos permiten una gestión de completa del campo utilizando la tecnología GPS para mapear con precisión la variación del suelo a través del monitoreo de disponibilidad de agua y nutrientes a través del campos, mejorando el uso de los recursos disponibles mediante aplicaciones de forma variable según la necesidad de cada cuartel del predio. Esta sección es la relacionada con la inserción y evaluación de sensores de monitoreo ajustados a variabilidad espacial del terreno para la optimización de los procesos de producción (Faenas agrícolas).

Hoy en día encontramos diferentes sistemas de evaluación que nos permiten evaluar día a día el desarrollo fenológico del cultivo, el desarrollo de frutos, suelo, riego y detectar las plagas y enfermedades de nuestros campos, algunos de estos son:

- Equipos ópticos de captura aplicados a calidad y detección de plagas, malezas y enfermedades.
- Sensores de espectrografías aplicados a calidad de las frutas, fertilidad estrés hídrico y monitoreo de plagas y enfermedades en el cultivo.
- Sensores de humedad y estrés hídrico de diferente tipo (bluetooth, wifi, radiofrecuencia, gprs).
- Equipos de auto jerarquía (drones y aviones) en la aplicación monitoreo y capturador de data.
- Software de alerta temprana.
- Equipo de selección en pre cosecha.

Estas herramientas de gestión tienen real impacto cuando ya se han detectado las zonas de mayor y menor eficiencia dentro del cultivo a través de las segmentaciones prediales. Los puntos de monitoreo determinado según las zonas se pueden georreferenciar con las herramientas que tengan incorporado GPS o al ir asociadas a equipos smartphone, esto permite automatizar los procesos de evaluación e ir generando una base de información continua que año a año y por ende ir alimentado un sistema de gestión asociado a una plataforma web que dan origen a la big data de campo, que en el tiempo se convierte en una herramienta automatizada para tomar medidas correctivas en función de la demanda específicas del cultivo, corregir zonas críticas y así aumentar los rendimientos promedios del cuartel. Otra gran ventaja de este sistema es disminuir el impacto del cambio climático sobre el cultivo.



Figura 13. Sensores aplicados en campo para monitoreo

En el proyecto como sensor de captura se generó un sistema de manejo remoto (drone) que permite evidenciar el estado de madures de las frutas para cuantificar el porcentaje de maduras de las bayas de arándanos cuantificando el porcentaje de madurez de las bayas (verdes a maduras), esto es posible mediante algoritmos ópticos, que buscan segmentar las bayas según colorimetría, este desarrollo permite generar mapas de cosechas para identificar donde tengo que ir a cosechar primero y que zonas les falta madurez a las bayas. Por otra parte se desarrolló una caja de selección de frutas que permite segregar las frutas por índice de madurez asociados al contenido de antocianinas, que en asociación al dron permite identificar cuanto porcentaje de frutos azules presenta la planta. Del mismo árbol se puede sacar una muestra de bayas y llevar a la caja seleccionadora para determinar el porcentaje de antocianinas que contienen.

Las antocianinas son las que confieren el color a los berries, además de ser altamente relacionadas con los azúcares que contienen las bayas, esto permite establecer la vida útil en post cosecha y su destino de comercialización.

Prototipo óptico de captura (drone) para estimar rendimiento y evaluar el índice de madurez de las fruta

El drone cuenta con capacidad de vuelo autónoma guiada por sistema de posicionamiento RTK con sistema de captura de datos inalámbrico e Integración de electrónica y programación para control automático de recolección, almacenamiento y descarga de datos; este deberá enviar las imágenes RGB capturadas sobre las plantas para que un servidor las procese y este estime los kilos de la planta y a su vez mida el índice de color de la frutas para determinar el punto óptimo de cosecha.

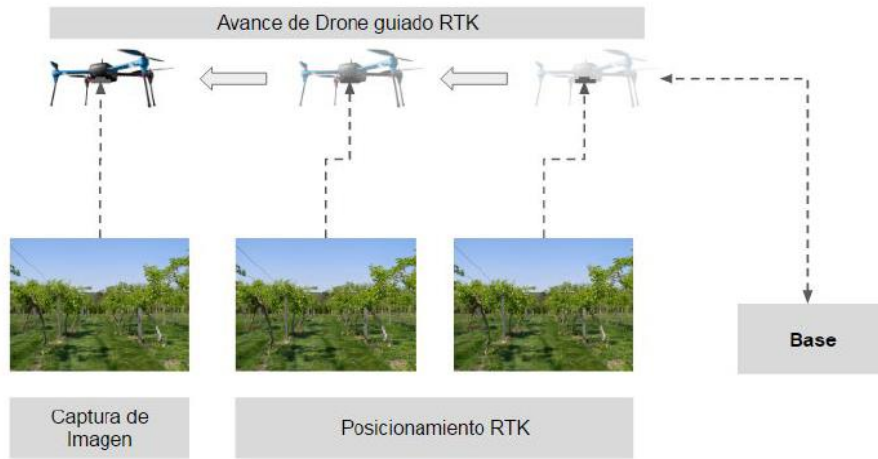


Figura 14. Drone para estimar rendimiento y calidad.

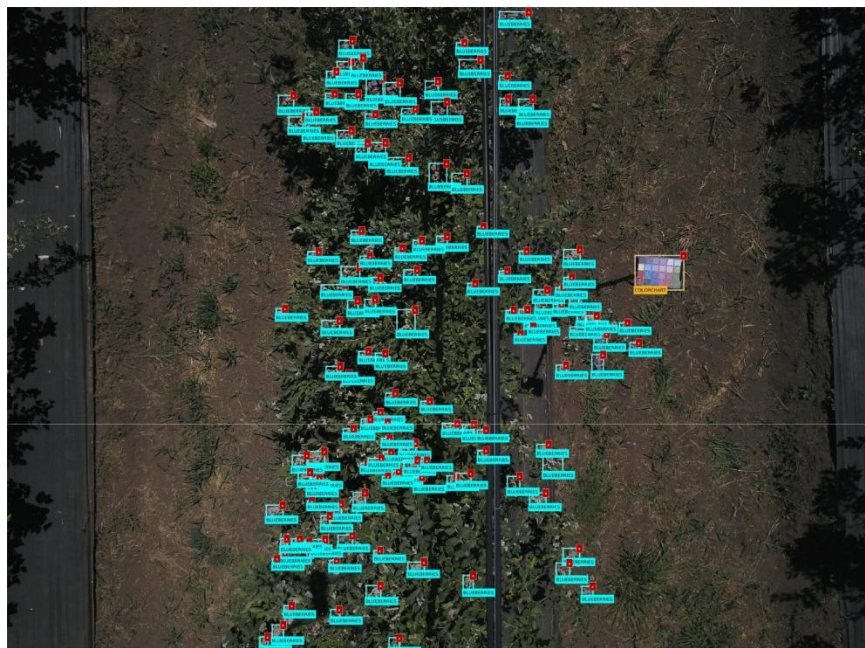


Figura 15. Conteo de bayas para estimación de rendimiento por planta mediante algoritmos digitales basados en computer visual.

Distribución Espacial de Frutos Maduros (%FM/Planta)

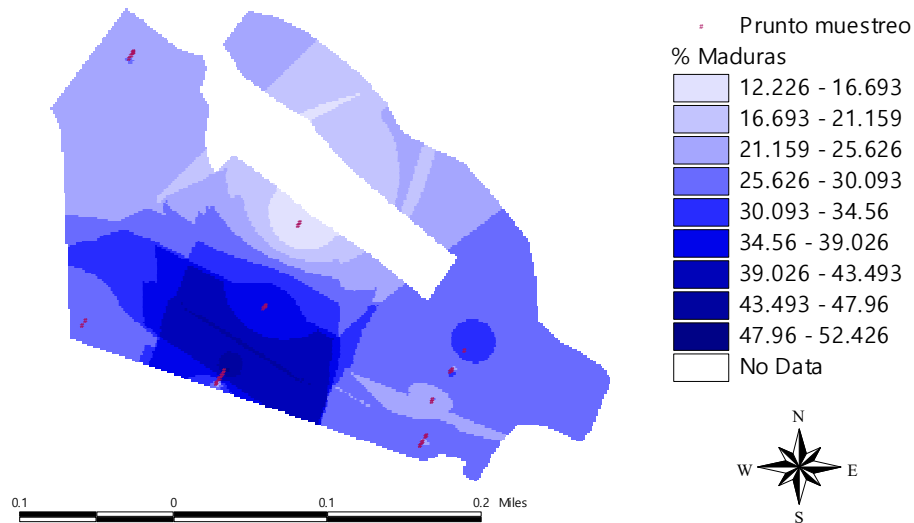


Figura 16. Mapa de proyección basado en índice madurez de las bayas de arándanos.

La caja de selección de frutos Nir

Se basa en un sistema o software de clasificación de bayas de arándanos, a partir de filtros ópticos que permiten el paso de luz correcto para determinar las antocianinas. Esto filtros son montados en una cámara NIR, dando origen a una segregación de frutos desde pintones a maduros identificando la condición de las bayas cosechadas que puede determinar su vida útil en post cosecha y su destino de comercialización.

Índice de clasificación:

Clase 1: Sobre madura (IQF)

Clase 2: Madura (exportación)

Clase 3: Medio pintón (exportación según destino y % en muestra)

Clase 4: Pintón (exportación según destino y % en muestra)

¿Que son las antocianinas?

Es la madurez fisiológica y fenológica del fruto que depende principalmente del porcentaje de contenidos fenólicos y sólidos solubles presentes en la baya, mientras más altos los contenidos de sólidos solubles y fenólicos, mayores serán sus propiedades organolépticas, demostradas en color, sabor y olor en el fruto. El estudio nace a partir de las interrogantes que se han generado por parte de los administradores de huertos para precisar la fecha exacta de cosecha, y que su producción no se vea afectada por descarte de las empresas exportadora, por no cumplir con los estándares requeridos. La idea es crear una herramienta de clasificación de calidad, que además destaque por su condición de detección de patrones para selección de bayas, originado un fruto deseable para los mercados.

El principal interés de este estudio es relacionar los porcentajes de pigmentos fenólicos en el índice de madurez, que son cambios de aspecto visual, fisiológico y bioquímico sobre el efecto en calidad y madurez del fruto, con la utilización de diferentes técnicas de evaluación. Las técnicas no destructivas permiten dar respuesta para obtener una clasificación visual con respecto a la composición interna de la fruta permitiendo así, llegar a destinos lejanos con unas calidades óptimas a los consumidores.

Los frutos cosechados se clasifican según el grado de madurez de los frutos, en primera instancia se separan en 4 clases (Maduras, medias maduras, pintonas y verdes), como se muestra en la figura (17).

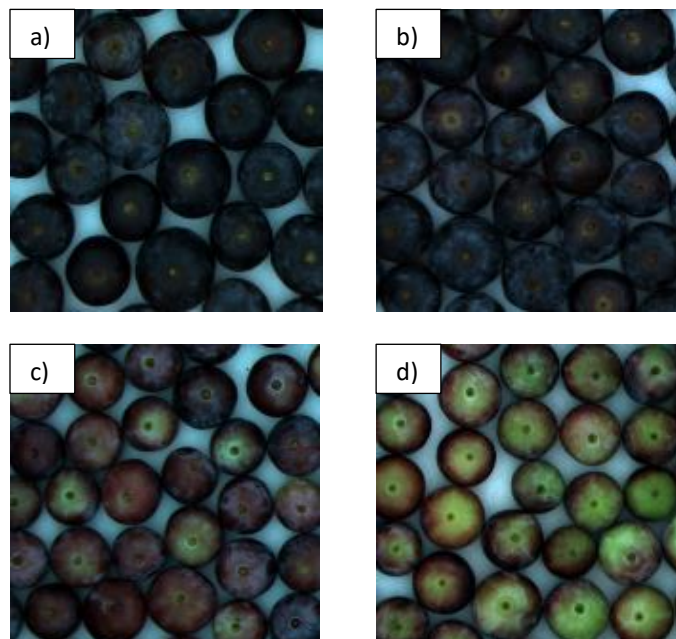


Figura 17. Grados de madurez del arándano a) Maduras, b) Medias maduras, c) Pintonas, d) Verdes.

A través de una cámara multispectral se capturan imágenes de las diferentes clases de arándanos que se seleccionaron anteriormente. Las imágenes son capturadas, en primera instancia, en un sistema con iluminación controlada para así no afectar la apariencia del color y a su vez no afectar el proceso posterior de la imagen.

La segmentación de los frutos por método de reflectancia mostrada en la figura (18), hacen referencia a los estados de madurez de las bayas identificados.

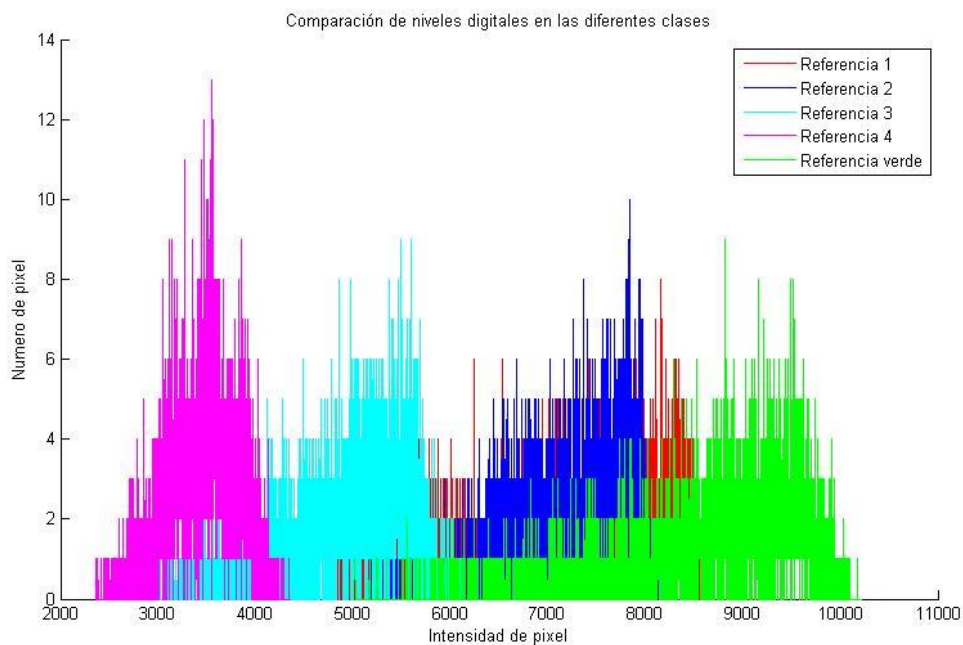


Figura 18. Escala de Color según los diferentes estados de maduración.

¿Cómo se relaciona la madurez fenólica con la cámara Nir?

La madurez fenólica aumenta las concentraciones de antocianinas progresivamente hasta alcanzar una concentración máxima, para luego disminuir en el periodo de sobre madurez. La cohesión celular se ve disminuida a efecto de envejecimiento celular, por la degradación de las paredes y membranas celulares, es por ello que ocurre una liberación de antocianos desde las células, facilitando su extracción y oxidación.

La baya con un adecuado estado de madurez fenólica, posee una cutícula con altos contenidos de antocianos, mejorando las características organolépticas de los frutos.

Para medir el estado de madurez fenólica, se utilizó el método de Glories modificado por el Institut Cooperatif du Vin por Barcelo y Ranc (1996).

En la figura (19), se muestran los resultados de la cuantificación de los polifenoles totales, de acuerdo a estos resultados, las bayas de arándanos presentan mayor contenido de polifenoles en el estado 4, determinado con el método de reflectancia como los frutos con madurez ideal.

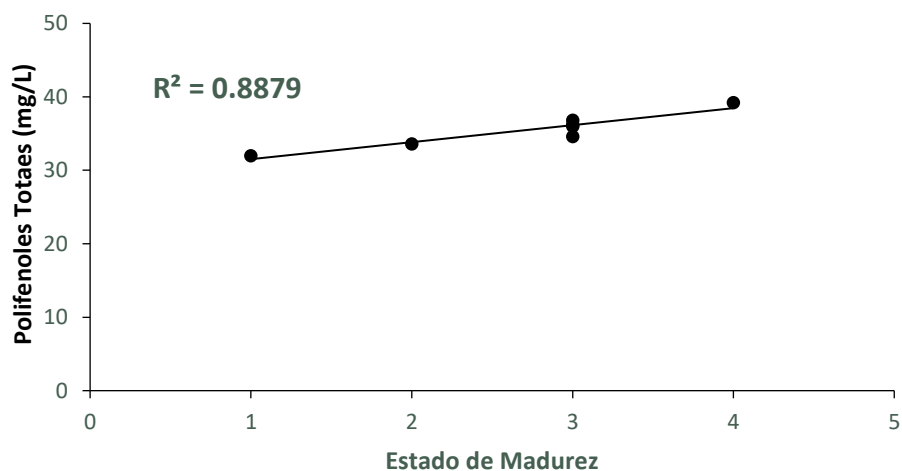


Figura 19. Polifenoles totales en función a la clasificación del estado de madurez

Se seleccionan 4 clases de arándanos (Maduros, medios maduros y medios pintones), a partir de la cámara QSI, aquí se separarán, por cada clase aproximadamente 200-250 bayas.

La figura (20), se muestra el contenido de antocianinas, observándose que en estado 4 presenta mayor contenido.

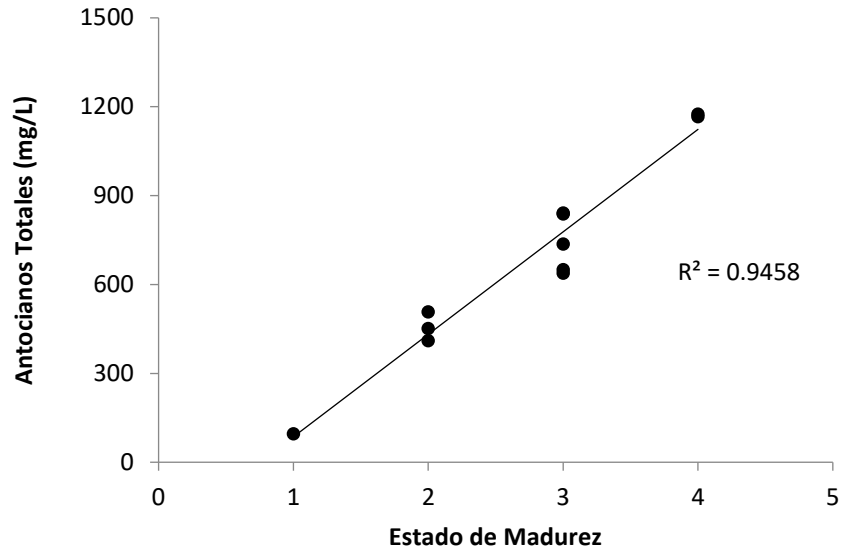


Figura 20. Antocianos Totales en función a la clasificación del estado de madurez

Al visualizar ambos gráficos, se puede evidenciar que la clasificación realizada sobre el formato óptico permitió una clara diferenciación en los niveles de estos parámetros, al agruparse cada estado de madurez determinada por los niveles ópticos dentro de una zona bien definida sin overlapping en los niveles químicos en fruto obtenidos.

Una vez que los rangos están definidos, se genera el software de clasificación, tal como lo muestra la figura (21). En el software que se desarrolló, se entrega la cantidad de bayas clasificadas para cada clase y su porcentaje de madurez correspondiente. Además, se indica la imagen que se está procesando y la ubicación de la misma.

Clasificador de Arándanos

Imagen a procesar

Clasificación

- 1 = Sobre maduro (IQF)
- 2 = Maduro (Exportación)
- 3 = Medio pintón (Exportación según destino)
- 4 = Pintón (Exportación según porcentaje en muestra)

	N° Bayas	%
Clase 1	37	23
Clase 2	106	65
Clase 3	19	12
Clase 4	1	1

Procesar

Clasificación guardada en: D:\2017\Hortifrut\Informe Marzo 2018\Nueva carpeta
D:\2017\Hortifrut\Clasificacion 2018

Abrir Imagen .tiff Imagen a procesar CCD Image 1.tiff

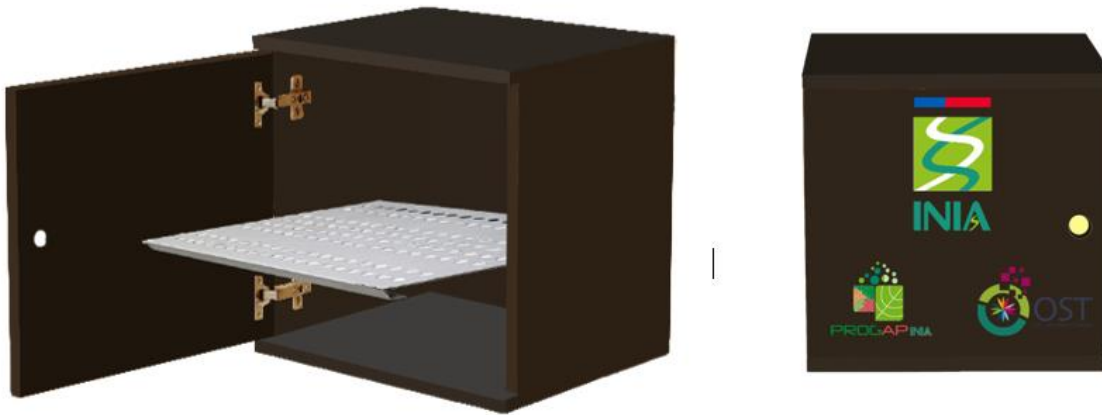


Figura 21. Software y Caja de clasificación de frutos para determinar su índice de madurez.

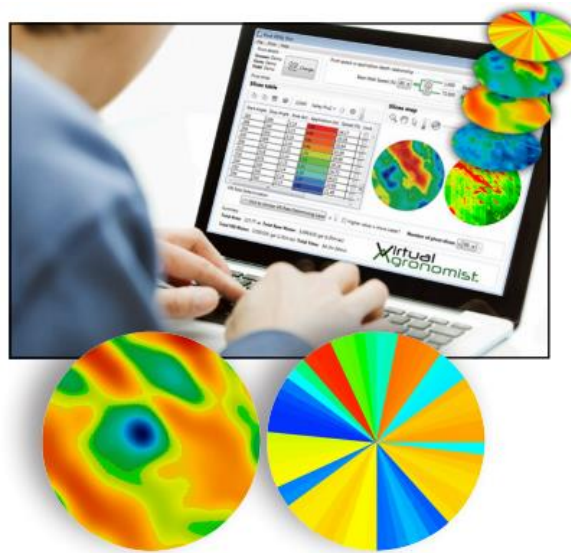
Para generar la calibración de estos equipos, se realiza mediante procesos matemáticos que dan origen a los algoritmos inteligentes que procesan información en tiempo real. Estas técnicas se emplearon tanto para segmentar las imágenes RGB obtenidas por el drone, como la que imágenes NIR proporcionadas por la caja de selección de frutos. Este proceso se va validando durante 3 temporadas para dar la robustez a los modelos.

Para el desarrollo de los modelos y calibraciones de los prototipos que se generaran durante este proyecto, se utilizaran puntos de muestreos ubicados según planos integrales de vigor, suelo y clima. Esta integración de mapas permitiría ubicar en forma espacial las plantas para análisis destructivos y temporales para realizar seguimientos en forma simultánea y dar seguimiento a la planta desde cuaja hasta la cosecha durante las temporadas que duro el estudio.

3. Sistemas de logísticas de producción

Los sistemas de logística, hacen referencia a una estructura de procesamiento, almacenaje y visualización de la información. Hoy en día encontramos muchas empresas que prestan servicios de plataformas online para estructurar la información generada desde campo hasta el destino final de la producción, muchas de ellas operan de forma aislada e independiente. El futuro de la agricultura digital debe ser el encontrar una plataforma única que permita divergir toda la información para promover un sistema amigable para los usuarios que permita integrar cada uno de las herramientas y sensores inteligentes, ayudando a los productores, encargados de campo y empresas exportadoras a obtener la información necesaria para poder manejar de forma oportuna el campo, optimizar la cadena de producción y comercialización del producto final. Cuando hablamos de gestión de la información no solo hace referencia al control de la producción, sino también, a un

sistema de trazabilidad de las cosechas y comercialización que permite un estructuramiento no solo para las empresas si no para exportadoras.



Plataforma de gestión predial

Debe tener especialmente 4 componentes, para automatizar la información:

- Mapserver: Gestor de mapas de internet.
- Estadísticas: Sistema de gestión grafica de la información del huerto.
- Softwares: Implementación de softwares.
- Descargas: Implementación de softwares y información de los sistemas.

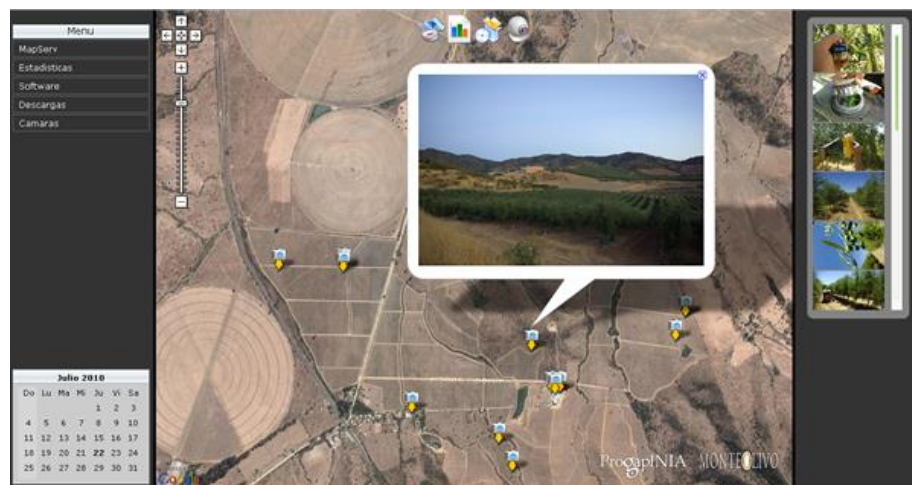


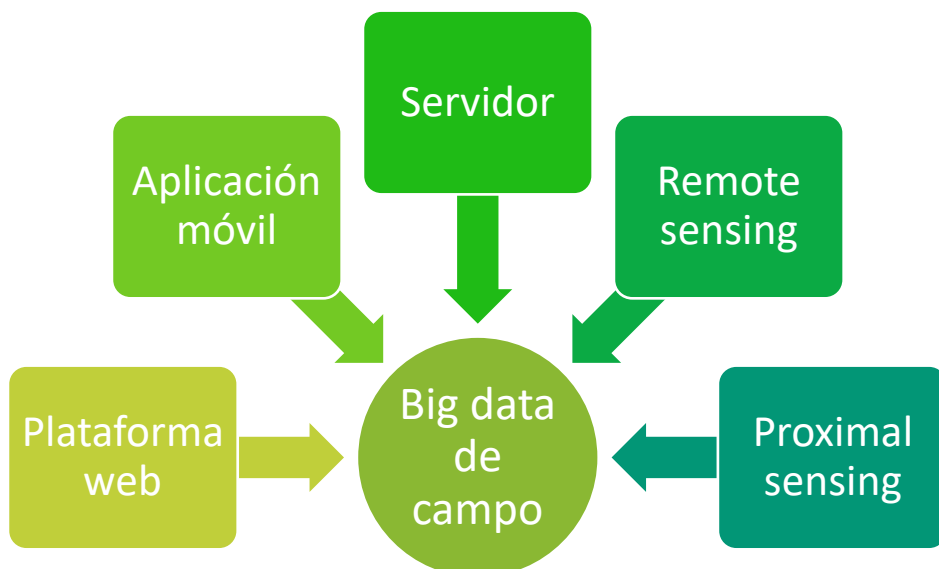
Figura 23. Diseño de plataforma web de PROGAP-INIA

Aplicación móvil: la plataforma para ser funcional en campo necesita de una aplicación móvil para visualizar la data en campo a través de equipos Smartphone, ya sea conectado con los sensores de monitoreo o para visualizar los mapas de especialización por medio de coordenadas de GPS.

Servidor de la plataforma: La plataforma y aplicación móvil antes mencionada deben contar con un servidor, el cual posee una DATA BASE que es alimentada de datos de monitoreo tanto desde ICAS, WINGIS (MapServer) y de estaciones meteorológicas automáticas (conexión interactiva) que son ingresadas al sistema de base de datos más las distintas variables agronómicas monitoreadas por sensores. Recibe información de entrada para ser procesada para ser procesada por los algoritmos matemáticos de los modelos de predicción y calibración de los datos de campos y un input de salida para visualizar en usuarios los resultados.

¿Qué es la Big data de campo?

Los sistemas de **Machine Learning** identifican patrones complejos a partir de incalculables volúmenes de datos, procesándolos para predecir el comportamiento. Su capacidad para mejorar sin ayuda externa les permite desarrollar sus propios modelos para descubrir patrones de desarrollo de los cultivos en función de distintas condiciones agroclimáticas.



¿Cómo se esperan visualizar los resultados del proyecto?

En sinergia de los desarrollos y resultados del proyecto se generó un servidor conectado a una plataforma de gestión y una aplicación móvil para visualizar los resultados en campo, estos tres componentes unen el drone que permite cuantificar el rendimiento y el índice de color de las bayas, asociado a la data de contenido fenólico que proporcionara la caja de selección y todo esto asociado a el módulo de proyección de los datos, que hace referencia a la proyección de los datos obtenidos en un mapa del campo apuntando al productor para que pueda identificar las zonas de mayor y menor producción, en función de mejorar las logísticas de producción y comercialización. Hortifrut a través de la empresa AgrO-ID pone estos desarrollos a la disposición de los productores nacionales de Hortifrut.

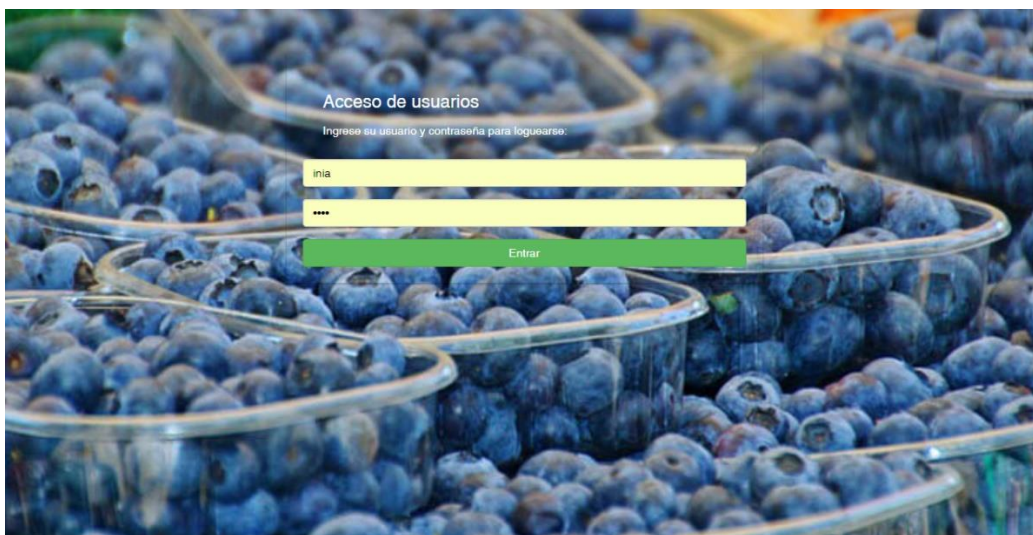


Figura 24. Pantalla de inicio de plataforma de gestión de rendimientos y calidad en arándanos

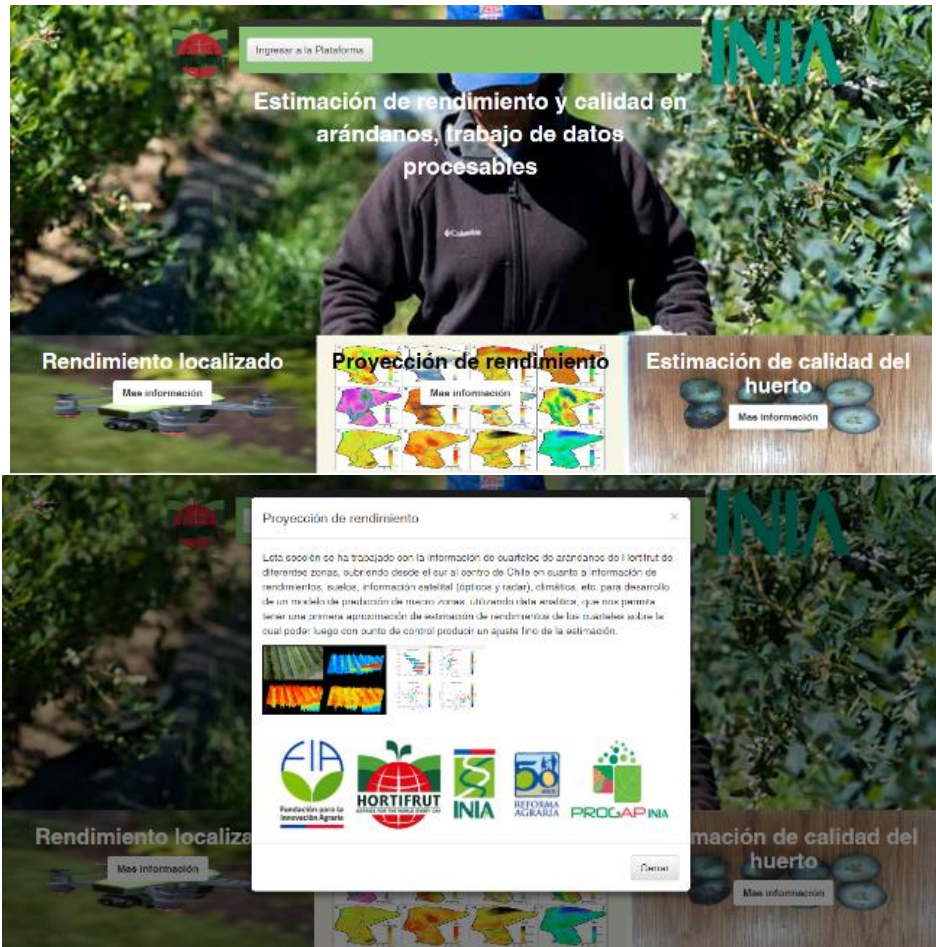


Figura 25. Menú explicativo de acciones posibles desarrolladas por plataforma.

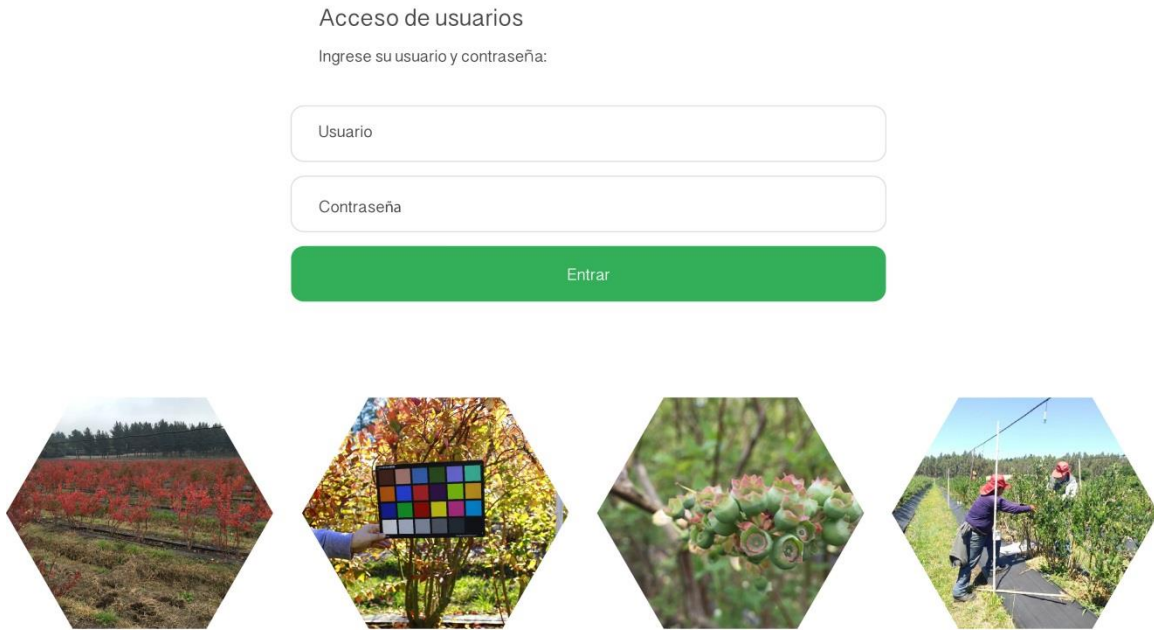


Figura 26. Plataforma de gestión que permitirá integrar los algoritmos digitales asociado a la zonificación del predio.

Cuartel: Vega Larga 1 Cultivo: Arándano Campaña: 2017-18

Listado de Muestras

mostrar 10 registros

#	Tipo	Fecha Propuesta	Responsable	Realizado	Acciones
70	Estimación de Rendimiento	2018-03-27	INIA, INIA (P)	2018-03-28	
71	Estimación de Rendimiento	2018-03-31	INIA, INIA (P)	2018-03-30	
74	Estimación de Rendimiento	2018-05-15	INIA, INIA (P)	Pendiente	
75	Nivel de Calidad	2018-08-22	INIA, INIA (P)	2018-08-22	
76	Estimación de Rendimiento	2018-08-24	INIA, INIA (P)	2018-08-24	

Página 1 de 1 Anterior 1 Siguiente

Visualización de muestreos

Coordenadas de los puntos de muestreo

Pdf con listado de muestreo para ir a terreno

Ingreso de resultados de muestreo

Eliminar muestreo

Figura 27. Pop up de visualización de muestreos y acciones posibles de realizar en plataforma.

¿Qué se espera de la aplicación del proyecto en lo huertos de arándanos?

Automatización y sectorización

La tecnología a desarrollar en este proyecto se basa en un sistema de optimización de cosecha que supere largamente las estimaciones y planificaciones manuales actuales, ya que con el manejo de la variabilidad espacio-temporal a nivel de sub-parcela, busca como resultado una producción más homogénea mediante una mayor eficiencia de los recursos disponibles, con la finalidad de poder manejarla de acuerdo a los objetivos productivos, además de asegurar la calidad del arándano en su destino final. El prototipo integrará tecnologías de informática y electrónica de punta, que permitan lograr una convergencia tecnológica en un dispositivo de muy bajo costo, que será fácil de usar con una aplicación a tiempo real lo que asegura una adopción a los distintos niveles socioculturales de sus usuarios. Al incorporarse al sistema que ofrece Agroid en conjunto con el IoT (Internet of things) se acelera el traspaso de datos desde el campo hacia la base de datos virtual obteniendo resultados oportunos sobre el seguimiento de la producción, desde el manejo técnico en campo hasta clasificación de los cosecheros según su rendimiento, lo cual es muy beneficioso por la rentabilidad económica de las empresas agrícolas (Productores), a la vez, la caracterización de los rendimientos y calidades asociados a los problemas de cada zona permitirá al productor mejorar su gestión productiva lo cual tendrá también una incidencia clara en sus rentabilidades.

Hortifrut, como empresas exportadoras de arándanos y ejecutor del proyecto genera la plaza de comercialización para productores nacionales e internacionales. Inicialmente se enfocaría a la producción de arándano por su potencial económico, pero sin embargo la tecnología también es aplicable para otros rubros agrícolas, tanto en Chile como de otros países por lo que se hace necesario el desarrolló este proyecto.

Los mapas de rendimiento proporcionan potentes soluciones para automatizar el manejo sitio-específico incluye todas las prácticas de producción agrícola que se usan para ajustar el uso de insumos y la eficiencia de los riegos sobre eficiencia del cultivos a través de los monitores. El manejo preciso de los agroquímicos y riegos hacen posible que los agricultores adquieran información detallada de las características espaciales de sus campos, lo que permitiría un manejo de estos recursos de acuerdo a la variación de las necesidades del cultivo.

En concreto lo que se espera al crear mapas de rendimientos basados en la variabilidad espacial de los sectores es que ayude a los encargados de huerto a corregir las aplicaciones de agroquímicos y determinen eficientemente el uso de los riegos, y en conjunto ayudan considerablemente a disminuir la heterogeneidad de la producción y contribuirá con medidas correctivas con antelación y que ayuden al cultivo a responder de una mejor manera a las incidencias climáticas e impedir un uso deficiente de los recursos.

- Evaluar la distribución del riego y químicos agrícolas e identificar los factores que afectan su distribución.

- Determinar la variabilidad del huerto para maximizar la eficiencia del uso del riego e insumos agrícolas.
- Reducción de la cantidad de nutrientes, donde los niveles o capacidad determinados son suficientes para satisfacer los requerimientos nutricionales de los cultivos determinados por los mapas de rendimiento.

Así mismo, este proyecto permite contar con información cualitativa de la calidad de la fruta, a través de los mapas de rendimientos para incluirlo en la trazabilidad para exportación, y así avalar la calidad final del producto. Todo lo anterior significa optimizar la producción y expandirse a nuevos mercados de altos estándares, asegurando la calidad y la estabilidad en la exportación. Su objetivo es entregar una herramienta de fácil utilización e interpretación para los asesores en terreno, de esta forma se espera ayudar en la toma de decisiones de logísticas del huerto, apuntando a la estimación del rendimiento de la planta, a la calidad de los frutos y su durabilidad en postcosecha que son factores determinantes para definir los destinos de comercialización.



Contacto: Director de Programa de Agricultura de Precisión (INIA) Sbest@inia.cl

Investigador de área de Biosensores. (INIA) Paula.vargas@inia.cl

INIA-Quilamapu, Chillan

Dirección Avenida Vicente Méndez #515

Fonos: 42-2206769-6761

