



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**DISEÑO DEL PROCESO DE CLASIFICACIÓN SUPERVISADA DE CUBIERTAS
DE SUELO EN IMÁGENES SATELITALES**

*PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN
INGENIERÍA DE NEGOCIOS CON TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN*

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL INDUSTRIAL

ANDREA VERÓNICA PERRY CÁCERES

PROFESOR GUÍA:
SEBASTIÁN RÍOS PÉREZ

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
FELIPE AGUILERA VALENZUELA
LUCIANO VILLARROEL PARRA
ISAAC MALDONADO IBARRA

SANTIAGO DE CHILE

2017

RESUMEN EJECUTIVO

El desarrollo de la agricultura en Chile requiere de un esfuerzo científico y tecnológico para mantener al país a la vanguardia en los mercados mundiales. El Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) es el organismo estatal encargado de esta misión, generando y transfiriendo conocimiento, experiencias y tecnologías desde las investigaciones a los agricultores y a las demás instituciones estatales y privadas que los respaldan.

El Ministerio de Agricultura (MINAGRI) a través del Subdepartamento de Información, Monitoreo y Prevención del Departamento de Gestión Integral de Riesgo, evalúa y decreta las Emergencias Agrícolas con una base técnica de información desarrollada por el INIA en su *Boletín Nacional de Análisis de Riesgos Agroclimáticos para las principales especies frutales y cultivos, y la ganadería*. Dicho Boletín compara el comportamiento de zonas anómalas utilizando sus datos históricos, sin lograr clasificar las cubiertas estudiadas, lo que no permite dimensionar a cabalidad el daño producido por las emergencias.

El proyecto de tesis presentado aborda esa problemática al “*diseñar e implementar un proceso automatizado de detección de cubiertas en imágenes satelitales, utilizando algoritmos de minería de datos, para la monitorización de una localidad específica*”. La herramienta tecnológica diseñada apoya la clasificación de imágenes satelitales Landsat de las comunas en estudio: Lonquimay y Los Sauces. Las imágenes procesadas se clasifican entre 8 categorías, entregando un archivo con las cubiertas clasificadas y un reporte de la clasificación realizada.

De acuerdo a las evaluaciones realizadas por los expertos de los organismos involucrados que han acompañado el desarrollo de este proyecto, es posible concluir que la información obtenida para ambas comunas en estudio es útil para la temporada de verano en Lonquimay y para primavera y verano en Los Sauces. Con esto se aporta información extra para la toma de decisiones en las Emergencias Agrícolas de esas temporadas, aunque la base de puntos conocidos debe ser mejorada para obtener resultados más confiables.

El proceso de clasificación de imágenes satelitales presentado se creó con el propósito de ser parte de las actividades de Transferencia que realiza INIA; no solo para la redacción del Boletín Agrometeorológico, sino también como una base para la mejora continua de clasificaciones en imágenes satelitales. Éstas pueden formar parte de futuros proyectos de INIA con otras Instituciones públicas o privadas.

El proyecto entrega un VAN de CLP \$60MM, el cual permitiría mejorar la inversión en recursos de procesamiento (humanos y tecnológicos) o mejorar la base de puntos conocidos en terreno, manteniendo el tipo de imágenes utilizadas (Landsat). El uso de imágenes de mejor calidad y que no sean gratuitas implicaría un costo que no compensaría los beneficios supuestos, además de la necesaria actualización de los algoritmos.

Como siguiente paso se requiere de una base sólida de puntos conocidos en terreno. Es importante destacar que la solución presentada es directamente escalable para otras comunas de interés, por lo que INIA podría incorporarla en nuevos (o antiguos) servicios.

*“You can’t connect the dots looking forward;
you can only connect them looking backwards.
So you have to trust that the dots will somehow connect in your future”.*

*No puedes conectar los puntos hacia adelante,
sólo puedes hacerlo hacia atrás.
Así que tienen que confiar en que los puntos se conectarán de alguna forma en el futuro*

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo y mi camino hasta aquí no habrían sido posibles sin el constante amor y apoyo de mi familia. A mi mamá, *Verónica*, le agradezco el cuidarme de la forma más amorosa posible, el ayudarme a levantarme y darme un ejemplo de la mujer que quiero ser. A mi papá, *José Eduardo*, le agradezco el enseñarme que el esfuerzo le gana a la inteligencia, y la perseverancia (o la porfía) siempre te llevan a buen puerto. A mi hermano *Felipe* le agradezco el desafiarme, ser mi primer compañero de juegos y apoyarme ahora en mi adultez de formas sutiles y no tan sutiles. A mi hermano *Nicolás* ("*Mono*") le agradezco el hacerme una mejor hermana mayor, el compartir conmigo sus logros y hacerme sentir orgullosa de la persona en la que se está convirtiendo. Al resto de mi familia le agradezco el recibirme siempre con una sonrisa y ayudarme en lo que necesitara, siempre.

A *Carlos Maldonado*. Las palabras nunca serán suficiente para agradecerte el que estés en mi vida. Sin ti me habría demorado más en tomar decisiones y ser valiente. He crecido y madurado gracias a ti, y espero tener toda una vida para agradecértelo.

A la familia *Maldonado Araneda*, en especial a don *Isaac* y *Corina*, quienes me han acogido en su familia y me han apoyado en todo lo posible con este trabajo y la universidad. En particular, agradecer a don Isaac por creer en mí y darme la oportunidad de realizar esta tesis junto a él y permitirme desarrollar algo nuevo e innovador para el magíster.

Al profesor *Sebastián Ríos*, por darnos la oportunidad a Carlos y a mí de ser sus alumnos, de creer en nuestras capacidades y nuestros proyectos. A *Pablina Valdivia*, por ser amiga y cómplice en estos 2 años de trabajo. A *Nicolás Ozimiça*, por escuchar mis consultas y ayudarme en la parte computacional. A todas las demás personas que trabajaron en el CEINE mientras estuve realizando este proceso: *Felipe*, *Valeria*, *Constanza*, *Jorge*, *Jorge* (*Little George*), *Luciano*, *Max*, *Paulina* y *Mauricio*.

Al profesor *Sebastián Conde* y *Sebastián Depolo*, quienes apostaron por mí y me dieron mi primer cargo de Auxiliar. Gracias por darme la seguridad de que podía con esa tarea. A toda la gente del CIO, en especial a *Anice* y *Paulo*, quienes me guiaron en mi trabajo.

A *Ana María* y *Laura*, son un constante apoyo para muchos de nosotros en el magíster. A mis compañeros del MBE, por ayudarme en clases y estar ahí conmigo los sábados.

A *Celeste Bertin* y al profesor *Juan Gutiérrez* de la Universidad Santa María, por colarme a las clases de SIG. A *Julio Hurtado* y sus compañeros de la Universidad Católica. Sin los 20 minutos que me brindaron jamás habría sabido cómo empezar con el tema de los códigos.

Finalmente, pero no menos importante, agradecer a mis amigos. A Los Tenores de San Antonio, con quienes compartí penas y alegrías universitarias: *Caro*, *Naty*, *Javier*, *Gabriel*, *Dana*, *Lais*, *Seba* y *Ale*. A SixPack, los amigos originales, quienes me han acompañado desde el día 1: *Celeste*, *Kathy*, *Eduardo* y *Seba*. A mis parejas de amigos: a *Dayán* y *Mauricio*, y *Jorge* y *Ale*. A la *Vale Bonita*. Cada uno de ustedes ha aportado a mi vida y a este trabajo con su energía, sonrisas, y demás. Cuando llegué a Santiago creí que no encontraría amigos y 10 años después me siento feliz de poder contar con todos ustedes.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO	I
AGRADECIMIENTOS	III
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN Y CONTEXTO	1
1.1 ANTECEDENTES DE LA INDUSTRIA.....	1
1.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EMPRESA	3
1.3 PROBLEMA U OPORTUNIDAD IDENTIFICADA	4
1.4 OBJETIVOS Y RESULTADOS ESPERADOS DEL PROYECTO	5
1.5 ALCANCE	6
1.6 RIESGOS POTENCIALES.....	6
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	8
2.1 METODOLOGÍA DE INGENIERÍA DE NEGOCIOS.....	8
2.2 CONCEPTOS RELEVANTES.....	10
CAPÍTULO 3. PLANTEAMIENTO ESTRATÉGICO	17
3.1 POSICIONAMIENTO ESTRATÉGICO.....	17
3.2 BALANCED SCORECARD.....	18
3.3 MODELO DE NEGOCIOS	20
CAPÍTULO 4. ANÁLISIS SITUACIÓN ACTUAL	22
4.1 ARQUITECTURA DE PROCESOS.....	22
4.2 MODELAMIENTO DETALLADO DE PROCESOS.....	25
4.3 DIAGNÓSTICO SITUACIÓN ACTUAL.....	31
4.4 CUANTIFICACIÓN DEL PROBLEMA U OPORTUNIDAD	32
CAPÍTULO 5. PROPUESTA DE DISEÑO DE PROCESOS	35
5.1 DIRECCIONES DE CAMBIO Y ALCANCE	35
5.2 DISEÑO DETALLADO DE PROCESOS TO-BE	37
5.3 DISEÑO LÓGICO DE NEGOCIOS	41
CAPÍTULO 6. PROPUESTA DE APOYO TECNOLÓGICO	65
6.1 ESPECIFICACIÓN DE REQUERIMIENTOS	65
6.2 ARQUITECTURA TECNOLÓGICA.....	66
6.3 DISEÑO DE LA APLICACIÓN	67

CAPÍTULO 7. EVALUACIÓN DEL PROYECTO	70
7.1 ANÁLISIS RETROSPECTIVO	70
7.2 DEFINICIÓN DE BENEFICIOS Y COSTOS	71
7.3 FLUJO DE CAJA.....	73
7.4 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	75
CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES	76
CAPÍTULO 9. BIBLIOGRAFÍA	79
CAPÍTULO 10. ANEXOS.....	83
I. Equipamiento básico Agricultura de Precisión.....	83
II. Competencia y Oferta de mercado.....	83
III. Organigrama de INIA	84
IV. Cobertura de los Centros Regionales de INIA	88
V. Coordinaciones Nacionales.....	90
VI. Productos y servicios principales	91
VII. Análisis de alternativas.....	93
VIII. Espectro electromagnético.....	94
IX. Corrección imágenes satelitales	94
X. Pilares y Objetivos Estratégicos de INIA.....	96
XI. Detalle Plan Estratégico de INIA	97
XII. Modelo de Negocio	104
XIII. Instituciones de MINAGRI	108
XIV. Modelo Boletín Agrometeorológico	111
XV. Satélites Landsat.....	113
XVI. Ubicación Path/Row de la IX región.....	115
XVII. Cotización DELL para servidor en INIA	115
XVIII. Manual para detección automática de cubiertas.....	116

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Alternativas de imágenes satelitales	33
Tabla 2: Resumen datos explotaciones y población objetivo Lonquimay y Los Sauces ...	34
Tabla 3: Variables de cambio y alcance del proyecto	36
Tabla 4: Resumen información sensores del proyecto.....	42
Tabla 5: Archivos dentro de los paquetes de imágenes satelitales	43
Tabla 6: Porcentaje cubierto con puntos conocidos en terreno.....	47
Tabla 7: Distribución imágenes satelitales obtenidas.....	49
Tabla 8: Capa de colores para la previsualización de la clasificación	52
Tabla 9: Distribución mensual de imágenes clasificadas	55
Tabla 10: Matriz de confusión promediada. Lonquimay	57
Tabla 11: Matriz de confusión promediada. Los Sauces.....	57
Tabla 12: Resumen indicadores de desempeño de las clasificaciones.....	58
Tabla 13: Indicadores de desempeño por categorías. Lonquimay	59
Tabla 14: Indicadores de desempeño por categorías. Los Sauces.....	59
Tabla 15: Inversión Recursos Humanos	71
Tabla 16: Costos Recursos Humanos.....	72
Tabla 17: Beneficios.....	73
Tabla 18: Flujo de Caja del proyecto a 3 años	74
Tabla 19: Principales Competidores Nacionales	83
Tabla 20: Centros Regionales INIA	88
Tabla 21: Centros Regionales INIA (continuación).....	89
Tabla 22: Criterios de comparación capas vectoriales	131
Tabla 23: Variables y descripción código Python	137

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Distribución de explotaciones agrícola	1
Figura 2: Firmas espectrales típicas para distintas cubiertas	10
Figura 3: Modelo de datos ráster y vectorial.....	11
Figura 4: Contenido de una imagen de satelital	12
Figura 5: Fases del modelo CRISP-DM	12
Figura 6: Esquema Random Forest	14
Figura 7: Ejemplo Matriz de confusión	15
Figura 8: Modelo Delta de Hax para organizaciones sin fines de lucro.....	17
Figura 9: Resumen Plan Estratégico de INIA	18
Figura 10: Estructura del BSC para organizaciones sin fines de lucro.....	19
Figura 11: Modelo Canvas de INIA	20
Figura 12: Arquitectura INIA Nivel 0	22
Figura 13: Arquitectura de INIA.....	23
Figura 14: Primer Nivel Macro 1 INIA en IDEF0.....	25
Figura 15: Segundo Nivel Macro 1 INIA en IDEF0: Producción de Conocimiento	27
Figura 16: Modelo generación Boletines Agrometeorológicos en BPMN	29
Figura 17: Macroproceso de clasificación	39
Figura 18: BPMN Clasificación de imagen	39
Figura 19: Convención nombre de archivos Landsat	42
Figura 20: Mapa de la IX región de la Araucanía con zonas agroecológicas.....	45
Figura 21: Uso de suelo 2007 para Lonquimay.....	46
Figura 22: Uso de suelo 2007 para Los Sauces.....	46
Figura 23: Comuna de Lonquimay sobre imagen original de Path/Row 232087	50
Figura 24: Convención nombre de archivos clasificados	52
Figura 25: Ejemplo de visualización del ráster clasificado en un programa SIG	53
Figura 26: Ejemplo de visualización del archivo imagen .png	54
Figura 27: Ejemplo de visualización del archivo de reporte	54
Figura 28: Mapa NDVI Región de la Araucanía, 2da quincena de marzo 2008	62
Figura 29: Plataforma de presentación mapas NDVI	63
Figura 30: Arquitectura tecnológica propuesta	66
Figura 31: Diseño de la aplicación	67
Figura 32: Caso de Uso	68
Figura 33: Diagrama de Secuencia	68
Figura 34: Diagrama de clases.....	69
Figura 35: Estación de trabajo e infraestructura disponible para el servidor en INIA	70
Figura 36: Equipos e instrumentos más utilizados en Agricultura de Precisión	83
Figura 37: Organigrama Institucional de INIA.....	84
Figura 38: Espectro electromagnético.....	94
Figura 39: Organigrama MINAGRI	110
Figura 40: Vista 1 - Plataforma Web Boletín Agrometeorológico INIA	111

Figura 41: Vista 2 - Plataforma Web Boletín Agrometeorológico INIA	112
Figura 42: Historia programa espacial Landsat	113
Figura 43: Ancho de banda para los sensores OLI y ETM+	114
Figura 44: Coordenadas Path/Row de interés para la IX región (en verde)	115
Figura 45: Cotización Dell	115
Figura 46: Descarga imágenes 1 - Descarga directa de imágenes	117
Figura 47: Descarga imágenes 2 - Descarga directa de imágenes	118
Figura 48: Descarga imágenes 3 - Descarga directa de imágenes	118
Figura 49: Descarga imágenes 4 - Descarga directa de imágenes	118
Figura 50: Descarga imágenes 5 - Descarga directa de imágenes	119
Figura 51: Descarga imágenes 6 - Descarga directa de imágenes	119
Figura 52: Base de puntos - Vector comuna 1	120
Figura 53: Base de puntos - Vector comuna 2	121
Figura 54: Base de puntos – Capas Rulamahue 1	122
Figura 55: Base de puntos – Capas Rulamahue 2	123
Figura 56: Base de puntos – Capas Rulamahue 3	123
Figura 57: Base de puntos – Capas Rulamahue 4	124
Figura 58: Base de puntos – Capas Rulamahue 5	124
Figura 59: Base de puntos – Capa CONAF 1	125
Figura 60: Base de puntos – Capas INDAP 1	127
Figura 61: Base de puntos – Multipartes a partes sencillas	129
Figura 62: Base de puntos – Diferencia 1	130
Figura 63: Base de puntos - Ejemplos puntos superpuestos y capas arregladas	130
Figura 64: Base de puntos – Diferencia 2	132
Figura 65: Base de puntos - Entrenamiento y validación 1	133
Figura 66: Base de puntos - Entrenamiento y validación 2	134

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN Y CONTEXTO

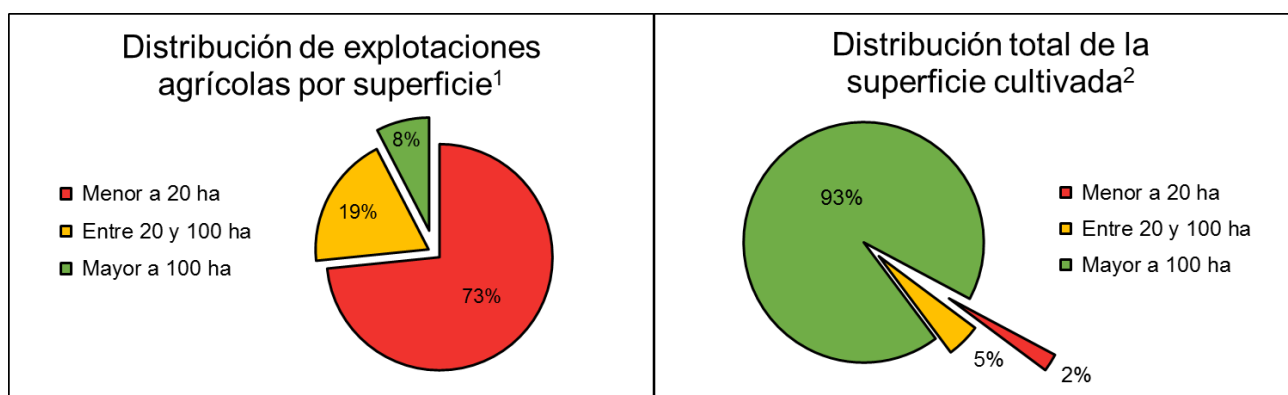
1.1 ANTECEDENTES DE LA INDUSTRIA

El constante crecimiento de la población mundial está asociado a un aumento en la demanda de productos agrícolas. Es por esto que los países están cada vez más interesados en inyectar tecnología a tales procesos productivos, de manera de obtener ventajas competitivas en el mercado mundial. La innovación en el sector, por tanto, es requerida y necesaria para mejorar los procesos de generación de información para los agricultores y las entidades públicas y privadas que los respaldan.

La tesis presentada a continuación aborda este problema creando un proceso para generar conocimiento actualizado de las cubiertas de suelo. Para ello se crea una herramienta de información basada en imágenes satelitales y minería de datos. El proyecto se realizó en conjunto con el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) en las comunas de Lonquimay y Los Sauces, IX región de la Araucanía, Chile.

1.1.1 La agricultura en Chile

De acuerdo al Censo Nacional Agropecuario y Forestal 2007 realizado por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE), el 2,8% del territorio continental de Chile tiene un uso agrícola^{1 2}. Se debe considerar que este país se caracteriza por el pequeño tamaño promedio de sus unidades agrícolas y la dispar distribución de éstas en cuanto a superficie (Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA), 2013). Esto se refleja en la Figura 1, la cual muestra que la mayoría de los agricultores chilenos poseen explotaciones menores a 20 hectáreas, pero sólo cultivan el 2% de la superficie total.



¹De un total de 301.376 explotaciones agrícolas

²De un total de 35.514.010 ha

Figura 1: Distribución de explotaciones agrícola

(Fuente: Elaboración propia con datos del informe Panorama de la Agricultura en Chile 2013, ODEPA)

¹ En este Censo 2007 se consideraron las explotaciones silvoagropecuarias que poseen más de 0,1 hectáreas, mientras que el mínimo para las explotaciones forestales fue de 0,5 hectáreas.

² Considerando una superficie de 756.096 km² (<http://bit.ly/2aTvGmN>) [consultado el 26/07/2016]

En términos económicos nacionales, la industria silvoagropecuaria aporta el 2,8% en promedio al Producto Interno Bruto (PIB) (Banco Central de Chile, 2016b), y durante el año 2015 realizó el 8,4% de las exportaciones, presentando un alza de un 0,9% respecto al año anterior (Banco Central de Chile, 2016a).

1.1.2 Agricultura de precisión

La agricultura en Chile como parte del mercado productivo mundial de alimentos debe asumir los desafíos derivados de las exigencias que impone esta competitividad. Es en este marco donde surge la necesidad de agricultura de precisión (*Precision Agriculture*) como una estrategia que concentra esfuerzos en el monitoreo y la automatización de los procesos productivos agropecuarios y que se puede resumir como la

“aplicación de un grupo de tecnologías que permiten medir y manejar la variabilidad, para aumentar la eficiencia productiva y disminuir el impacto ambiental en las explotaciones agrícolas de forma sitio-específica³”
(Ortega & Flores, 1999).

Según Villalobos et al. (2009) los avances en agricultura de precisión han permitido mejorar el nivel predictivo del comportamiento de las cosechas a través de la investigación y desarrollo de las siguientes herramientas⁴:

- a) variabilidad espacial del rendimiento y calidad de los cultivos,
- b) uso de Teledetección⁵ en la agricultura, y
- c) uso de índices de vegetación para identificar tipos de suelos.

En Europa, el 75% de los nuevos equipos que se venden para agricultura contienen alguna forma de componente de precisión (Zarco-Tejada et al., 2014). Se estima además que para Estados Unidos, una inversión en agricultura de precisión significa un ahorro potencial en 10 años de hasta US\$1.000 millones (Villalobos et al., 2009). En el caso de Chile, a pesar de contar con el acceso a la tecnología, su aplicación tiene un retraso estimado por el mismo autor de al menos 7 años. A nivel nacional⁶, la viticultura es uno de los sectores más consolidados en materia de precisión, reportando un incremento de la calidad en el vino Premium entre un 1% y un 5%, y una reducción de costos por insumos de al menos 10% (Farias, 2002), llegando hasta 40% en el caso de recursos de agua (Fundación para la Innovación Agraria (FIA), 2008). Sin embargo, esto solo alcanza al 10% de los productores agrícolas nacionales (Polanco, 2013), lo que significa una desventaja para Chile frente a su competencia global, quienes utilizan estas tecnologías en sus decisiones de producción.

³ El manejo sitio-específico se refiere a que distintos sectores de terreno responden de manera diferente a una misma técnica de cultivo, aplicada uniformemente en las explotaciones.

⁴ Ejemplos de instrumentos básicos para la agricultura de precisión pueden verse en el Anexo I.

⁵ La teledetección (o *remote sensing*) es la ciencia de obtener información sobre objetos a distancia, desde aeronaves o satélites. Este concepto se tratará con más detalle en la sección 2.2.1.

⁶ Información sobre empresas en Chile que realizan teledetección puede verse en el Anexo II.

1.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EMPRESA

El Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) es la principal institución de investigación agropecuaria en Chile⁷, con presencia en las industrias agrícola, pecuaria y alimentaria. Fue creado en 1964 por el Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP), la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO), la Universidad de Chile, la Pontificia Universidad Católica de Chile y la Universidad de Concepción.

INIA nace como una respuesta del Estado a la necesidad de mejorar la competitividad del sector agrícola y alimentario⁸. Es una corporación de derecho privado, sin fines de lucro, que forma parte de Ministerio de Agricultura (MINAGRI). Sus fuentes de financiamiento son:

- a) fondos públicos (aportes fiscales directos por Ley de Presupuesto) y privados,
- b) proyectos de investigación (proyectos en Fondos Concursables), y
- c) venta de insumos tecnológicos.

Está presente de Arica a Punta Arenas a través de sus centros experimentales, oficinas técnicas y sus 10 Centros Regionales de Investigación (CRI)⁹. Su rol es generar conocimientos en el ámbito científico y tecnológico, aplicables al sector agroalimentario.

La visión de INIA es *“ser una institución líder en la generación y transferencia de conocimientos y tecnologías sustentables para la innovación del sector agroalimentario”*. Su misión es *“generar y transferir conocimientos y tecnologías estratégicas a escala global, para producir innovación y mejorar la competitividad del sector agroalimentario”*.

Para alcanzar tales fines, la Institución posee 2 líneas de negocio principales, las cuales se resumen a continuación y se detallan en los Anexos V y VI respectivamente.

1.2.1 Investigación y transferencia

En esta línea se dispone de 8 Coordinaciones Nacionales de investigación, entre las cuales se encuentra la de Transferencia Tecnológica, que permite entregar al sector productivo los avances conseguidos por investigación, contribuyendo así a mejorar la competitividad y la sustentabilidad social, económica y ambiental de la agricultura mediante aportes en tecnologías de procesos. Esta área además facilita información para que agricultores e instituciones puedan tomar decisiones de acuerdo al estado de la agricultura.

1.2.2 Productos y servicios

INIA comercializa variados servicios que son resultados de sus investigaciones. Entre ellos están: a) semillas INIA, b) artículos en revistas nacionales e internacionales, c) Red de Bancos de Germoplasma, d) servicios de laboratorios, e) informes de agrometeorología.

⁷ Más información en http://research.webometrics.info/es/Latin_America/Chile [8 de marzo 2017]

⁸ El Organigrama de la institución se puede ver en el Anexo III.

⁹ La cobertura y líneas de investigación de cada CRI se resumen en el Anexo IV.

1.3 PROBLEMA U OPORTUNIDAD IDENTIFICADA

El Ministerio de Agricultura (MINAGRI) necesita periódicamente información a INIA (y a otras instituciones) sobre el rubro agropecuario para establecer sus cursos de acción. En este sentido para decretar Emergencias Agrícolas se requiere identificar previamente zonas con anomalías, determinando los sectores afectados, tal que el Estado pueda apoyar a las familias del lugar y proponer planes ministeriales para reducir riesgos y daños.

Esta información es entregada por INIA a través del “*Boletín Nacional de Análisis de Riesgos Agroclimáticos para las principales especies frutales y cultivos, y la ganadería*”¹⁰. El Boletín Agrometeorológico es un informe técnico que mensualmente describe la situación agropecuaria en Chile, de acuerdo a variables meteorológicas e hidrológicas, recomendaciones de expertos e índices de vegetación obtenidos mediante el uso de tecnologías satelitales, Sistemas de Información Geográfica (SIG) y el uso de tecnologías de la información y las comunicaciones.

Actualmente INIA basa su información en el Censo Nacional Agropecuario y Forestal 2007, y las publicaciones científicas de los trabajos de investigación agropecuaria. Las publicaciones son generadas y renovadas regularmente, sin embargo el Censo se realiza cada 10 años, un periodo que no es compatible con la industria agrícola, la cual debe ajustarse a los cambios en la demanda nacional e internacional. La variabilidad del mercado afecta directamente la vigencia de los datos censales, los cuales en el peor de los casos pueden quedar obsoletos en menos de 1 año.

Dado lo anterior, si la información del Censo es obsoleta, las acciones de MINAGRI para determinar la escala y gravedad de las Emergencias Agrícolas pueden no ajustarse a la realidad. Esto deriva en que los esfuerzos para resolver las Emergencias pierden efectividad al entorpecer la entrega de recursos en las zonas afectadas.

Los altos costos de realizar un Censo Agrícola no permiten reducir su periodicidad, por lo que se requiere un proceso acorde a los ciclos de la industria que entregue información confiable sobre las cubiertas de suelo agrícola a nivel nacional. Tras un análisis de las diferentes alternativas¹¹, se concluye que las imágenes satelitales utilizadas en agricultura de precisión pueden entregar los resultados buscados gracias a su accesibilidad, superficie abarcada y registros históricos. Por lo tanto es necesario diseñar un proceso que obtenga estas imágenes, procese sus datos y entregue esta información a INIA para que pueda transferir este conocimiento tanto a MINAGRI como a otras instituciones que lo podrían necesitar.

¹⁰ Los contenidos del Boletín se detallarán más adelante en la sección 4.2.3

¹¹ El Análisis de Alternativas se encuentra en el Anexo VII.

1.4 OBJETIVOS Y RESULTADOS ESPERADOS DEL PROYECTO

1.4.1 *Objetivo general*

Diseñar e implementar un proceso automatizado de detección de cubiertas en imágenes satelitales, utilizando algoritmos de minería de datos, para la monitorización de una localidad específica.

1.4.2 *Objetivos específicos y resultados esperados*

- I. Analizar tipos de imágenes satelitales mediante la evaluación de su resolución y costos y seleccionar cuáles se utilizarán
 - Resultados esperados:
 - Análisis de alternativas de imágenes que evalúe costo y calidad de ellas
 - Base de datos de imágenes satelitales de zonas de interés, tal que haya continuidad temporal entre ellas
- II. Analizar información actualizada disponible para identificar y categorizar las cubiertas vegetales presentes en las zonas de interés
 - Resultados esperados:
 - Selección de categorías a detectar, tanto para cubiertas vegetales y como no vegetales en las localidades específicas
- III. Definir un proceso de extracción y almacenamiento para las imágenes satelitales y datos recolectados
 - Resultados esperados:
 - Procedimiento estándar para almacenar datos necesarios de la detección de cubiertas
- IV. Definir un modelo de detección de cubiertas basado en minería de datos
 - Resultados esperados:
 - Algoritmo de pre-procesamiento a utilizar
 - Método de minería de datos a utilizar (clasificación, segmentación o una solución híbrida) y algoritmo respectivo
 - Código unificador que automáticamente procese las imágenes y entregue las clasificaciones
- V. Construir una plataforma web que permita visualizar y acceder a los resultados de clasificación obtenidos para facilitar su interpretación y uso
 - Resultados esperados:
 - Creación de reportes que resuman la información de la detección de cubiertas para cada fecha
 - Plataforma web que acceda al repositorio de resultados (archivo, imagen, reporte) y permita visualizarlos y descargarlos

1.5 ALCANCE

Este proyecto se realiza en conjunto con el equipo profesional del Centro Regional de Investigación Quilamapu, dependiente del INIA, con oficinas en Chillán, VIII región del Biobío, Chile. El estudio es parte del proyecto “*Integración de acciones para contribuir al manejo de riesgos naturales y de adaptación al cambio climático en sector agropecuario, Provincia de Malleco*” (IX región de la Araucanía), cuyo objetivo general busca contribuir a mejorar la capacidad de respuesta a la variabilidad climática y eventos críticos asociados al cambio climático global de los habitantes rurales de los sectores cordilleranos y del secano interior.

Es relevante mencionar que el proyecto de tesis se enfoca en el diseño de un proceso automático para la detección de cubiertas. Si bien se utilizan herramientas de minería de datos, el fin último no es presentar un algoritmo optimizado para su detección, sino entregar un proceso que le permita a INIA mejorar las actividades de forma modular según el uso que quieran darle al proceso.

Debido a la falta de información de otros sectores, el trabajo presentado se enfocará solo en las comunas de Lonquimay y Los Sauces, ambas de la Provincia de Malleco. Se espera sin embargo que el producto final de esta tesis sea el piloto y que pueda replicarse en otros sectores una vez validado.

1.6 RIESGOS POTENCIALES

1.6.1 Culturales

Debido a que INIA realiza investigación y transferencia de tecnologías, debe coordinarse con otras instituciones y organizaciones para compartir sus resultados. Por ejemplo, el Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP) es quien crea un puente entre el MINAGRI y los agricultores a través de sus equipos centrados en acciones de extensión agrícola.

Por ende, dado que el monitoreo de riesgo climático se desarrolla en coordinación con otras instituciones, su resultado final puede ser afectado por la calidad de estas relaciones.

1.6.2 Tecnológicos

Este riesgo se refiere a la disponibilidad de información de terreno pertinente para este proyecto. Si bien se cuenta con datos de Lonquimay y Los Sauces, el acceso a esa información no es directa en el INIA. Algunos datos pudieron ser obtenidos de información que otras instituciones han publicado (información de bosques, ríos, localización de ciudades, entre otros) pero los datos actualizados a la fecha de esta tesis de las explotaciones agrícolas se obtuvieron a través de consultas con personal de INDAP y los equipos profesionales del Programa de Desarrollo Local (PRODESAL) que dependen de las municipalidades y se financian por INDAP en las comunas involucradas. La recopilación de información utilizando esta metodología es riesgosa para el proyecto ya que podría darse el caso de que existan datos a los que INIA tenga dificultades para acceder.

Además, las constantes innovaciones tecnológicas podrían sugerir modificaciones en el planteamiento del proyecto. Por ejemplo, cuando se comenzó a formular el objetivo y las fuentes de información, no se tenía conocimiento de la gran proliferación del uso de imágenes obtenidas con drones, lo que permitiría obtener imágenes con mejor resolución pero encareciendo los costos del proyecto.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1 METODOLOGÍA DE INGENIERÍA DE NEGOCIOS

La competitividad se puede mejorar a través de la eficiencia operacional, lo que se logra con un mejor diseño de los procesos. A través de la automatización y del desarrollo y uso de Tecnologías de Información (TI) las organizaciones pueden obtener ventajas competitivas que sean difíciles de replicar y que les den más poder de mercado.

La metodología de la Ingeniería de Negocios es un enfoque que busca resolver los diversos problemas de diseño de servicios de las organizaciones de forma integrada, a través del diseño de modelos generalizadores. Barros (2015) plantea la idea de que en cualquier organización existen 4 agregaciones de procesos, conocidas como Macroprocesos, las cuales son grupos de procesos que se relacionan entre sí y generan resultados para el funcionamiento de la organización.

▪ *Macro 1: Cadena(s) de Valor*

Procesos ejecutados para la producción de bienes o servicios. Considera los procesos de:

- Administración relación con el cliente
- Administración relación con proveedores
- Gestión de producción y entrega
- Producción y entrega de productos o servicios

Cabe señalar que una organización puede tener más de una Cadena de Valor.

▪ *Macro 2: Desarrollo de Nuevas Capacidades*

Procesos que desarrollan nuevas capacidades para mejorar la competitividad de la organización y mantenerse vigente en el mercado (productos, servicios, modelos de negocios, infraestructura). Considera los procesos de:

- Evaluación necesidad nueva capacidad
- Gestión del diseño y construcción de nueva capacidad
- Diseño y construcción de nueva capacidad

▪ *Macro 3: Planificación del negocio*

Procesos que definen el rumbo de la organización en cuanto a sus estrategias, planes y programas. Considera los procesos de:

- Definición concepto del negocio y visión
- Gestión desarrollo estrategia
- Desarrollo estrategia

- *Macro 4: Gestión de Recursos Habilitadores*

Procesos que gestionan los recursos que apoyan la operación de los demás macroprocesos. Considera los procesos de:

- Obtención de recursos
- Decisiones sobre el manejo de recurso
- Decisiones sobre la transferencia de recurso
- Ingreso, manejo y transferencia de recurso

Los Macroprocesos sustentan los posibles modelos generalizadores que existen, permitiendo el uso de Patrones para determinar cómo entregar el valor generado por una organización desde un punto de vista operacional. Existen 2 tipos de Patrones, los cuales otorgan estructuras alternativas para el manejo de los negocios. En primer lugar están los Patrones de Negocio (PN) los cuales muestran de manera agregada los componentes y relaciones generales para el diseño de distintos tipos de negocios. Los PN son:

- a) venta basada en el conocimiento del cliente,
- b) creación de nuevos Flujos de Valor,
- c) aprendizaje interno para el mejoramiento de procesos,
- d) evaluación de Desempeño para Replanificación y Mejora de Procesos,
- e) innovación de productos, y
- f) uso óptimo de recursos

Los diseños generados a partir de los PN pueden ser convertidos en diseños de procesos mediante la especificación del segundo tipo de Patrón: Patrones de Arquitectura de Procesos (PAP) y Patrones de Procesos de Negocios (PPN). Los PAP generalizan las estructuras típicas de procesos que se repiten en diversas ocasiones y presentan las relaciones entre los 4 Macroprocesos mencionados. Por otro lado, los PPN presentan la estructura interna de los macroprocesos, los cuales poseen al menos uno de los siguientes tipos:

- Ejecución
Actividades que crean productos o servicios que entrega la empresa.
- Gestión
Actividades que dirigen las actividades de ejecución para cumplir con los requerimientos del cliente.
- Mantenimiento de estado
Actividades que mantienen informados a las actividades anteriores y la retroalimentan con nueva información del avance de éstas.

2.2 CONCEPTOS RELEVANTES

2.2.1 Teledetección

Como se mencionó en la sección 1.1.2, una de las tecnologías aplicadas en la agricultura de precisión es la teledetección, la cual es la técnica que permite adquirir imágenes de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas a distancia y su posterior tratamiento en el contexto de una determinada aplicación (Chuvienco, 2010).

Los sensores de teledetección perciben la energía por reflexión, es decir, la que deriva directamente de la luz solar reflejada en la superficie terrestre de acuerdo al tipo de cubierta presente sobre ella. Este flujo se recoge por el sensor, quien lo transmite luego a las estaciones receptoras. Se debe considerar que entre la superficie y el sensor se interpone la atmósfera, que dispersa y absorbe parte de la señal original.

La luz reflejada se describe según su longitud de onda (λ) y frecuencia (F). Cualquier tipo de energía radiante puede ser descrita en función estas dos variables y ser ubicada dentro del espectro electromagnético (ver Anexo VIII).

2.2.2 Firmas espectrales

A partir de medidas de laboratorio se han obtenido curvas de reflectividad espectral, las cuales presentan una respuesta uniforme a distintas longitudes de onda, como se aprecia en la Figura 2. El comportamiento distintivo de cada tipo de material es aprovechado para el reconocimiento en imágenes, refiriéndose a él como firma espectral. La vegetación posee un comportamiento dinámico debido a los cambios fenológicos que ocurren estacionalmente, por lo que la firma espectral cambia durante el año (Hernández & Montaner, 2009). Las barras verticales grises de la Figura 2 muestran las series de longitudes de onda donde la radiación se comporta de manera similar. Estas series se conocen como bandas espectrales.

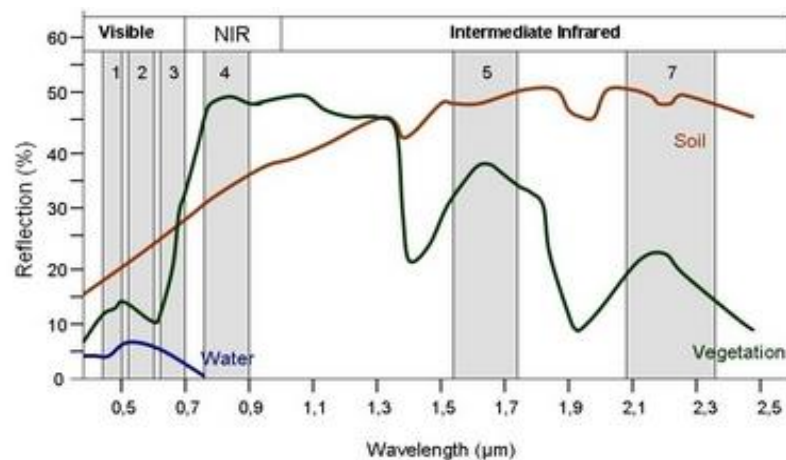


Figura 2: Firmas espectrales típicas para distintas cubiertas
(Fuente: European Space Agency [<http://bit.ly/2ha7ixP>])

2.2.3 Modelos de datos imágenes

Una imagen es una representación visual que puede almacenar información en 2 modelos de datos diferentes, como se muestra en la Figura 3:

- **Modelo Ráster o de cuadrícula:**
En este caso el espacio es dividido en celdas de igual tamaño (píxel) que almacenan datos de capas distintas de información. En este caso los límites entre elementos geográficos no quedan registrados de manera explícita
- **Modelo vectorial:**
Es una representación geométrica de las entidades del mundo real – ciudades, ríos, cubiertas vegetales – a través de objetos espaciales como puntos (par de coordenadas), líneas y/o polígonos (representación de superficies).

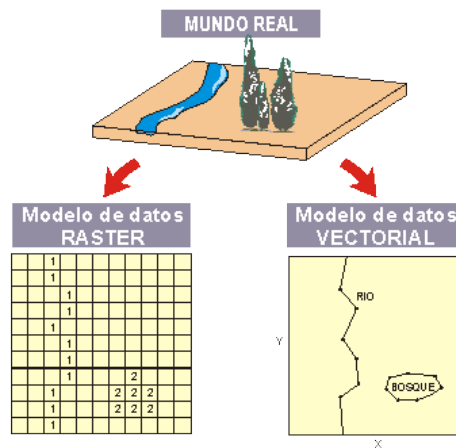


Figura 3: Modelo de datos ráster y vectorial

2.2.4 Imágenes de teledetección

Un satélite es una nave que ha sido enviada al espacio para observar la Tierra. Sobre las plataformas de los satélites de teledetección se instalan uno o más sensores destinados a capturar la energía electromagnética (Chuvienco, 2010), los cuales detectan el flujo de energía por reflexión, capturando esta información en imágenes. En este contexto, una imagen satelital es un conjunto de bandas espectrales, cada una de las cuales posee píxeles con valores entre 0 y 1 que registran el dato de la longitud de onda para cada banda¹². Esto se ejemplifica en la Figura 4.

¹² El registro de estos datos se hace en formato ráster.

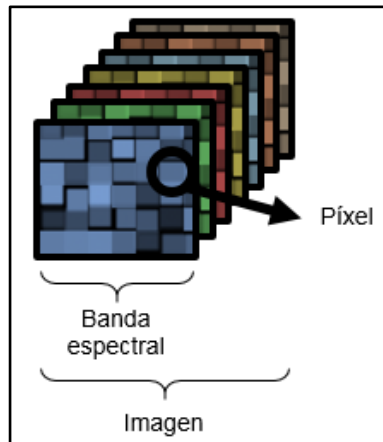


Figura 4: Contenido de una imagen de satélite
(Fuente: Elaboración propia)

Cabe señalar que al igual que los conjuntos tradicionales de datos en bruto, los datos en las imágenes tienden a tener problemas de registros. En el caso de imágenes esto puede deberse a errores inherentes al sensor – como alternaciones radiométricas o geométricas por la adquisición de información de forma remota –, o debido a problemas meteorológicos – como tomar imágenes que contengan gran porcentaje de nubes.

Para corregir estas alteraciones se realiza un pre procesamiento de las imágenes (Chuvienco, 2010; Müller et al., 2015; Zhong et al., 2014) con técnicas que pueden verse en detalle en el Anexo IX.

2.2.5 CRISP-DM

De acuerdo a Wirth and Hipp (2000), el método de *Cross-Industry Standard Process for Data Mining* (o CRISP-DM) es un modelo de referencia que contiene las 6 fases de un proyecto de minería de datos, las cuales pueden repetirse en ciclos dependiendo de sus resultados. En la Figura 5 se muestran las dependencias más frecuentes entre fases, las cuales se explican a continuación.

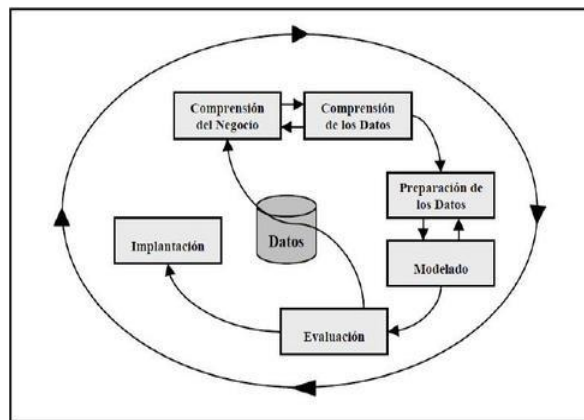


Figura 5: Fases del modelo CRISP-DM

- Comprensión del Negocio
La primera fase se enfoca en entender los objetivos y requerimientos del proyecto desde la perspectiva del negocio para definir el problema a abordar.
- Comprensión de los Datos
Esta fase busca familiarizarse con el grupo de datos necesarios para cumplir con los objetivos planteados para el proyecto, identificando los problemas que podrían encontrarse en los datos.
- Preparación de los Datos
Una vez que se comprenden los es necesario crear el conjunto final con el que se trabajará, resolviendo las dificultades de los datos en bruto.
- Modelado
El conjunto de datos se debe probar con distintos modelos y técnicas. Esto generalmente se itera varias veces para calibrar los parámetros.
- Evaluación
Una vez obtenido el modelo se debe evaluar para ver si el análisis de datos es adecuado. Antes de pasar a la siguiente fase se debe evaluar si el modelo cumple con los objetivos de negocio planteados. Puede ser que también se necesite replantear el problema, comenzando el ciclo nuevamente.
- Implantación
Por lo general el modelo se debe organizar y presentar de forma amigable al usuario, para que éste pueda realmente hacer uso del modelo creado.

2.2.6 Algoritmos de detección de cubiertas en imágenes

La detección de cubiertas utilizando datos de teledetección ha sido realizada por medio de clasificación (supervisada) o segmentación (no supervisada) (Tatsumi et al., 2015). En el primer caso, la clasificación posee clases objetivo y necesita crear un clasificador a base del entrenamiento de los datos, mientras que en el caso no supervisado se intenta reconocer cuáles son las clases existentes, sin una definición a priori de ellas.

En la práctica, los algoritmos más utilizados para realizar detección de cubiertas por clasificación son; K vecinos más cercanos (KNN), en general utilizado para detectar la proliferación o deterioro de la densidad de bosques (Franco-Lopez et al., 2001)); *Spectral Angle Mapping* (SAM), el cual se basa en la medición de similitud entre 2 espectros distintos según un vector con k dimensiones, donde k es el número de bandas de la imagen (Rashmi et al., 2014); y *Random Forest*, seleccionado para realizar esta tesis y que se detallará en breve.

Para el caso de segmentación, es posible utilizar algoritmos como K-Means o *Density-based spatial clustering of applications with noise* (DBSCAN) (Sarmah & Bhattacharyya, 2012), ambos algoritmos de segmentación por densidad de puntos. Otro algoritmo que se ha usado en los últimos años es el *Latent Dirichlet Allocation* (LDA), el cual es originalmente utilizado para detectar tópicos dentro de un grupo de documentos textuales (Contreras-Piña & Ríos, 2016; Ríos et al., 2011; Ríos et al., 2012), pero que puede ser adaptado para usarse con imágenes (Costachioiu et al., 2012; Costachioiu et al., 2013; Rasiwasia & Vasconcelos, 2013; Vaduva et al., 2011).

Considerando el problema identificado se optó por realizar una clasificación (supervisada) ya que es posible etiquetar los datos disponibles para obtener las clases objetivo. De los algoritmos mencionados, se decide utilizar Random Forest para realizar las clasificaciones, que ya en comparación con KNN y SAM, presenta un mejor desempeño computacional y de precisión, como se explica en la siguiente sección.

- *Random Forest*

Este algoritmo ideado por Breiman (2001) es una combinación de Árboles de Decisión que dependen de un vector aleatorio probado de manera independiente para cada uno de ellos. Random Forest construye repetidamente árboles con muestras al azar de datos de entrenamiento, y en el caso de clasificaciones, la clase que se predice con más frecuencia de los árboles individuales se considera como la estimación final (ver Figura 6).

Random Forest requiere que se definan 2 parámetros: el número de variables M elegidas en cada *split* y el número de árboles o *ntree* a evaluar en el modelo. En el caso de la detección de cubiertas, el primer parámetro se setea en $M = \sqrt{\text{número features}}$ (Guo et al., 2011). En el caso de *ntree* el estado estacionario en el que el beneficio en precisión se equipara al costo en tiempo computacional es en 100 árboles (Feng et al., 2016; Guo et al., 2011; Tatsumi et al., 2015) por lo que se selecciona esa cifra para tal parámetro.

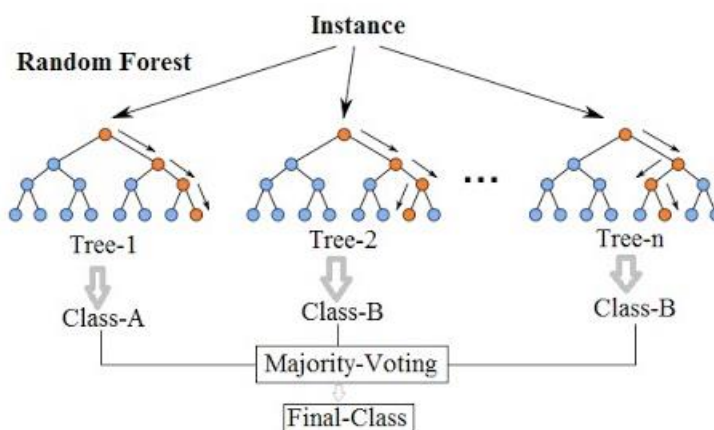


Figura 6: Esquema Random Forest

Este algoritmo es frecuentemente utilizado para la clasificación de cubiertas debido a que:

- a) presenta un buen desempeño tanto computacional como en la precisión de la clasificación aplicada a cubiertas de suelo en paisajes heterogéneos pues es capaz de correr eficientemente con grandes conjuntos de datos (Gislason et al., 2006; Müller et al., 2015; Rodriguez-Galiano et al., 2012; Tatsumi et al., 2015)
- b) funciona como un clasificador intuitivo que puede manejar distintos tipos de variables estimando la importancia de las variables para la clasificación. Tal clasificación es de gran valor para la extracción de *features* y detección de outliers, lo cual es útil para identificar datos mal etiquetados (Gislason et al., 2006; Ludwig et al., 2016; Zhong et al., 2014)

2.2.7 Indicadores de desempeño de algoritmos de clasificación¹³

- *Matriz de confusión*

Una matriz de confusión C es tal que $C_{i,j}$ es el número de observaciones conocidas del grupo i pero que se clasificaron como si fueran del grupo j .

En la Figura 7 se muestra un ejemplo del tipo de matriz de confusión obtenida para las clasificaciones de más de 2 clases. Nótese que las filas son las clases i reales y las columnas las clases j clasificadas por el algoritmo, por lo que el caso $C_{a,c} = 3$ significa que 3 elementos fueron clasificados como c cuando en realidad eran a .

```
=== Confusion Matrix ===
  a  b  c  d  e  <-- classified as
208  0  3  0  3 | a = A
 21 166  2  1  1 | b = B
 21  8 156  3  1 | c = D
 25 22 13 142  2 | d = C
 26 13 17 18 128 | e = AA
```

Figura 7: Ejemplo Matriz de confusión

¹³ Los conceptos explicados en esta sección provienen de la documentación de scikit-learn, el cuál es la librería Python utilizada para realizar las clasificaciones (<http://bit.ly/2hkmayE> y <http://bit.ly/2hQCvdh>) [consultado el 23/12/2016]

- *Precision*

Este indicador calcula la habilidad del clasificador para no etiquetar un elemento como una clase que no le corresponde. El indicador sigue la siguiente fórmula, donde PV son los positivos verdaderos, y FP los falsos positivos:

$$precision = \frac{PV}{FP + PV}$$

Ecuación 1: Fórmula de precision

- *Recall*

Este indicador calcula la habilidad del clasificador para etiquetar todos los elementos de una clase correctamente. El indicador sigue la siguiente fórmula, donde PV son los positivos verdaderos, y FN los falsos negativos:

$$recall = \frac{PV}{FN + PV}$$

Ecuación 2: Fórmula de recall

- *F1-score*

Este indicador calcula el promedio ponderado entre *precision* y *recall*, donde el indicador alcanza su mejor valor en 1 y el peor en 0. El "1" indica que ambos indicadores ponderan lo mismo. En el caso de más de 2 clases, este puntaje se calcula para cada una de las clases. El indicador sigue la siguiente fórmula:

$$f1_score = 2 * \frac{precision * recall}{precision + recall}$$

Ecuación 3: Fórmula de F1-score

- *Support*

Este número indica la cantidad de elementos de entrenamiento totales de una clase.

- *Accuracy*

En una clasificación de más de 2 clases, el accuracy es la probabilidad del clasificador de clasificar un elemento correctamente. El indicador sigue la siguiente fórmula, donde PV son los positivos verdaderos, NV los negativos verdaderos, FN los falsos negativos y FP los falsos positivos:

$$accuracy = \frac{PV + NV}{FN + FP + PV + NV}$$

Ecuación 4: Fórmula de accuracy

CAPÍTULO 3. PLANTEAMIENTO ESTRATÉGICO

3.1 POSICIONAMIENTO ESTRATÉGICO

De acuerdo con la visión y misión de INIA presentadas en la sección 1.2, INIA se enfoca en generar y transferir conocimientos para el sector agroalimentario. Dado que es una corporación sin fines de lucro, para definir su estrategia de negocio se utilizó el Modelo Delta para organizaciones sin fines de lucro de Hax (2009). Según él, el objetivo de las organizaciones sin fines de lucro no es la creación de beneficio económico, sino la búsqueda de actividades que afectarán positivamente a toda la sociedad. El Modelo se presenta en la Figura 8.

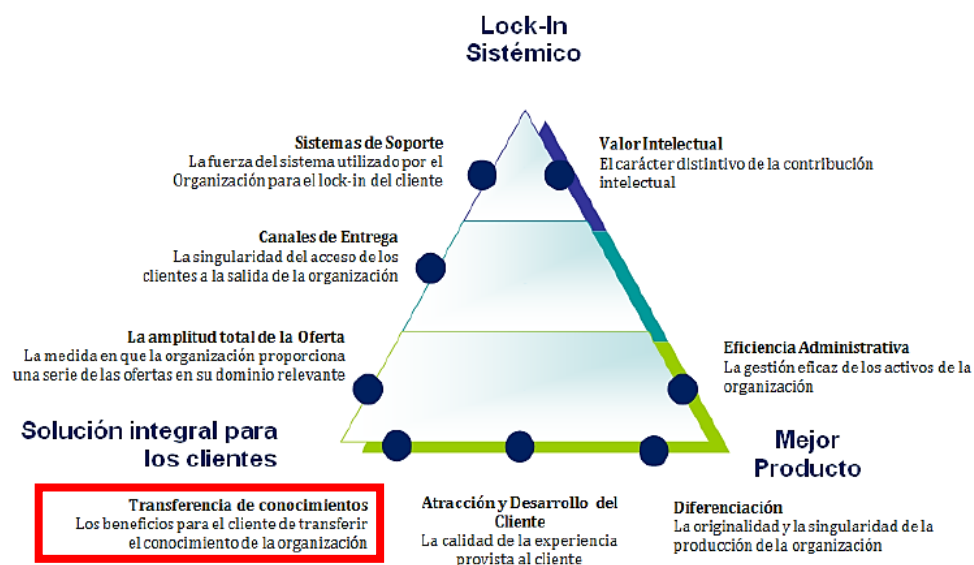


Figura 8: Modelo Delta de Hax para organizaciones sin fines de lucro
(Fuente: Planteamiento Estratégico, MBE)

Dentro de este modelo, INIA se ubica en la Transferencia de conocimientos, como se remarca en la Figura 8, indicando que los beneficios son para el cliente que recibe el conocimiento de la organización. A través de la Transferencia de Tecnología (ver sección 1.2.1) INIA vela por acercar la información a sus usuarios finales – los agricultores – de manera de compartir este conocimiento dentro y fuera de la institución.

El proyecto se alinea con este posicionamiento al buscar “empaquetar” de mejor manera la información de recursos agroproductivos del país, de manera de poder generar un producto que utilice los datos de INIA más las imágenes satelitales para entregar información lo más actualizada posible para los clientes de la organización.

3.2 BALANCED SCORECARD

3.2.1 Objetivos estratégicos de INIA

En los documentos de Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) (2012) se pueden ver cuáles son sus objetivos estratégicos, los cuales están actualizados para el período 2013 – 2017. Esto se realizó con el propósito de responder mejor a los requerimientos internos y externos, incorporando herramientas de control y gestión en todas sus áreas, además de realizar un análisis del entorno considerando los nuevos escenarios que enfrentaba la institución.

Los objetivos estratégicos de INIA se estructuran en función de Pilares Estratégicos y sus correspondientes Planes de Acción para ser llevados a cabo, como se presenta en la Figura 9. A su vez, cada plan de acción tiene diversos lineamos e indicadores, los cuales están detallados en los Anexos X y XI.

PILAR	OBJETIVO ESTRATÉGICO	PLANES DE ACCIÓN
PILAR COMPETITIVIDAD	Convertir a INIA en el gran facilitador del desarrollo de Chile como potencia agroalimentaria	<ol style="list-style-type: none"> 1. Inteligencia Competitiva I+D 2. Generación de Conocimientos y Tecnologías 3. Transferencia Tecnológica y Extensión 4. Producción y Comercialización de Insumos Tecnológicos 5. Evaluación de Impacto I+D
PILAR MODERNIZACIÓN	Modernizar la organización para adaptarla a los escenarios	<ol style="list-style-type: none"> 6. Gestión de Calidad y Riesgos 7. Gestión Financiera 8. Gestión de Personas 9. Tecnologías y Gestión de Información
PILAR POSICIONAMIENTO	Posicionar la marca INIA, comunicando y promocionando su oferta de valor	<ol style="list-style-type: none"> 10. Fortalecimiento de las Comunicaciones Internas 11. Fortalecimiento de las Comunicaciones Externas
PILAR SUSTENTABILIDAD	Alcanzar equilibrio entre el desempeño institucional e investigativo de INIA en cuanto a sustentabilidad	<ol style="list-style-type: none"> 12. Sustentabilidad del Quehacer INIA 13. Aporte de la I+D INIA a la sustentabilidad Medioambiental

Figura 9: Resumen Plan Estratégico de INIA
(Fuente: Elaboración propia)

El proyecto de tesis se encuentra inmerso en el Pilar Competitividad, en particular en los planes de acción de *Generación de Conocimientos y Tecnologías* y de *Transferencia Tecnológica y Extensión*. Sin embargo, ninguno de los indicadores establecidos por INIA se ve afectado directamente por él, por lo que no se detallarán.

3.2.2 Balanced Scorecard (BSC)

Según Kaplan and Norton (2000), la lógica del Balanced Scorecard es distinta según el tipo de organización en que se quiera aplicar el modelo. La estructura de organización para el caso de las empresas sin fines de lucro considera como principal foco a los clientes, a diferencia de las empresas con fines de lucro cuyo principal foco es la perspectiva económica.

De acuerdo a esto, INIA debe colocar su misión a largo plazo como eje principal en la estructura para implementar y gestionar su estrategia de manera adecuada, tal como se muestra en la Figura 10.

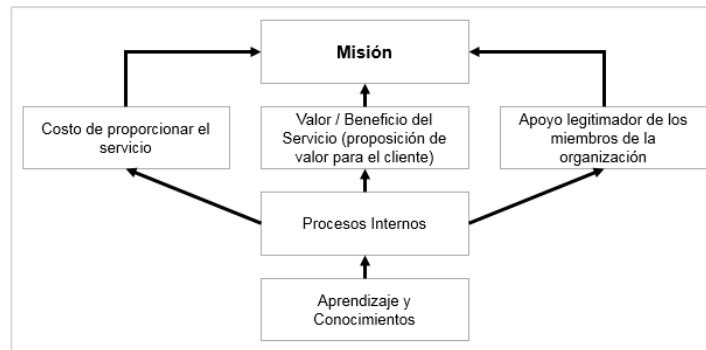


Figura 10: Estructura del BSC para organizaciones sin fines de lucro
(Fuente: Kaplan and Norton (2000))

3.2.3 Perspectiva Aprendizaje y Conocimientos

Tanto el Pilar Competitividad como el de Sustentabilidad se enmarcan en esta perspectiva. En el caso del primero, la generación y transferencia de conocimientos es continua, no se detiene y debe estar siempre renovándose debido a los escenarios altamente competitivos en los que el rubro agrícola está inmerso. El caso de la sustentabilidad se ve reflejado en que búsqueda de buenas prácticas de desempeño ambiental en todo el quehacer de la institución, trabajando también en generar conocimiento al respecto.

3.2.4 Perspectiva de Procesos Internos

Los objetivos estratégicos que intervienen en esta perspectiva son 3. En primer lugar está el Pilar Modernización que se enfoca en adaptar los procesos a los nuevos escenarios enfrentados por la institución. El segundo es el Pilar Posicionamiento, que busca mejorar los procesos de comunicación tanto interna como externa. Finalmente interviene el Pilar Sustentabilidad ya que para sustentabilizar las operaciones de INIA es necesario intervenir sus procesos.

3.2.5 Perspectiva de apoyo legitimador

Uno de los clientes más relevantes para las organizaciones sin fines de lucro es aquel que proporciona los fondos. En el caso de INIA, esto está representado por las entidades tanto públicas como privadas que realizan aportes monetarios para la realización de proyectos de investigación, además de la adjudicación de proyectos a través de Fondos Concursables.

3.2.6 Perspectiva de costo de proporcional el servicio

Esta perspectiva destaca la importancia de la eficiencia operativa. El costo medido debe incluir los gastos de la entidad y el costo social que le impone a los individuos y a otras organizaciones mediante sus operaciones. Dentro de esta perspectiva se encuentra el Pilar Modernización, ya que busca mejorar la de gestión financiera de INIA.

3.2.7 Perspectiva del valor / beneficio del servicio

Dentro de esta perspectiva, se pueden enmarcar 3 pilares. El primero de ellos es el Pilar Competitividad, el cual aborda el *core business* de INIA, que es la I+D y Transferencia Tecnológica. El segundo es el Pilar Posicionamiento, el cual busca promocionar la propuesta de valor de INIA. Y el tercero es el Pilar Sustentabilidad, el cual busca consolidar la oferta INIA enfocándose en la sustentabilidad de los proyectos.

El proyecto de tesis se alinea con la perspectiva de Aprendizaje y Conocimiento, ya que el sistema de monitoreo permitirá generar información que luego se podrá transferir a los clientes, adaptando el uso de imágenes satelitales a la agricultura chilena.

3.3 MODELO DE NEGOCIOS¹⁴

De acuerdo a la metodología Canvas, se construye el modelo de negocios de INIA como se presenta en la Figura 11. A continuación se describirán los aspectos más importantes del modelo. Para más detalle, dirigirse a Anexo XII.

Socios estratégicos <ul style="list-style-type: none"> - Otras instituciones ministeriales - Universidades asociadas a proyectos - Instituciones privadas y públicas que facilitan fondos 	Actividades claves <ul style="list-style-type: none"> - Recolección datos - Investigación - Transferencia Tecnológica - Entrega información relevante 	Propuesta de Valor <p>Innovación por investigación y/o adaptación de tecnologías existentes para su uso en la agricultura chilena, transfiriendo este conocimiento directamente a los agricultores</p>	Relación con clientes <ul style="list-style-type: none"> - Grupos de Transferencia Tecnológica - Capacitaciones - Informes periódicos a otras instituciones 	Segmentos de Mercado <ul style="list-style-type: none"> - MINAGRI e instituciones ministeriales - Instituciones financieras (públicas y privadas) - Productores agropecuarios chilenos
Estructura de Costos <ul style="list-style-type: none"> - Almacenamiento de datos - Mantenimiento de infraestructura - Capacitaciones al personal - Costos desarrollo de proyectos de investigación 		Fuentes de Ingresos <ul style="list-style-type: none"> - Captura de fondos para proyectos de investigación - Prestación de servicios por contratos externos - Venta directa de tecnología - Patentes 		

Figura 11: Modelo Canvas de INIA
(Fuente: Elaboración propia)

¹⁴ Esta sección está basada en su mayoría en la Memoria Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) (2015).

3.3.1 Segmento de Mercado

Los principales segmentos de clientes de INIA corresponden a:

- a) MINAGRI e instituciones ministeriales¹⁵, quienes se ocupan del desarrollo del país en su conjunto en el rubro silvoagropecuario.
- b) Instituciones financieras de los proyectos de investigación, quienes buscan obtener desarrollo tecnológico para el país o de forma privada al financiar investigaciones.
- c) Productores agropecuarios chilenos de todos los tamaños, quienes son los beneficiarios finales de la cadena de valor de INIA.

3.3.2 Propuesta de valor

INIA ofrece innovación por investigación y/o adaptación de tecnologías existentes para su uso en el rubro agrícola chileno, transfiriendo este conocimiento.

3.3.3 Actividades y Recursos Claves

Las actividades claves de INIA pueden dividirse en 4: a) Recolección de datos, b) Investigación, c) Transferencia tecnológica, y d) Entrega de información relevante. Para realizarlas se necesitan los siguientes recursos: a) Investigadores, b) Infraestructura, c) Datos e información histórica (más de 20 años de registros electrónicos).

3.3.4 Fuentes de ingresos

Como se mencionó, los proyectos de investigación se financian con fondos tanto públicos como privados a través de concursos, convenios públicos y contratos privados nacionales e internacionales. INIA además produce y comercializa sus propias semillas certificadas y cuenta con 11 patentes de innovaciones tecnológicas para el mejoramiento genético de variedades de plantas, control de plagas y procesos biotecnológicos.

3.3.5 Estructura de costos

Los mayores costos de INIA son en tecnología para realizar los proyectos y para almacenar los datos obtenidos por los recopiladores de datos en todo el país, además de la mantención de los mismos. INIA también invierte en capacitar a su personal (investigadores, profesionales, etc.). Finalmente, el desarrollo de cada investigación genera sus propios costos de transporte, alimentación y equipamiento, los cuales debiesen ser completamente cubiertos por los fondos entregados para tales efectos.

¹⁵ El detalle de cuáles son las instituciones mencionadas se encuentra en el Anexo XIII

CAPÍTULO 4. ANÁLISIS SITUACIÓN ACTUAL

Para describir la arquitectura de los procesos de INIA se utilizará un enfoque a partir de modelos de referencia. En particular en este informe se utilizarán *Patrones de Arquitectura* y *Procesos de Negocios* (Barros, 2015).

4.1 ARQUITECTURA DE PROCESOS

Considerando la visión más general de la empresa, se puede crear un diagrama que muestra los *inputs*, controles y herramientas que influyen en INIA para crear sus resultados, como se muestra en la Figura 12. Los elementos mencionados en ella se detallarán en la sección siguiente.

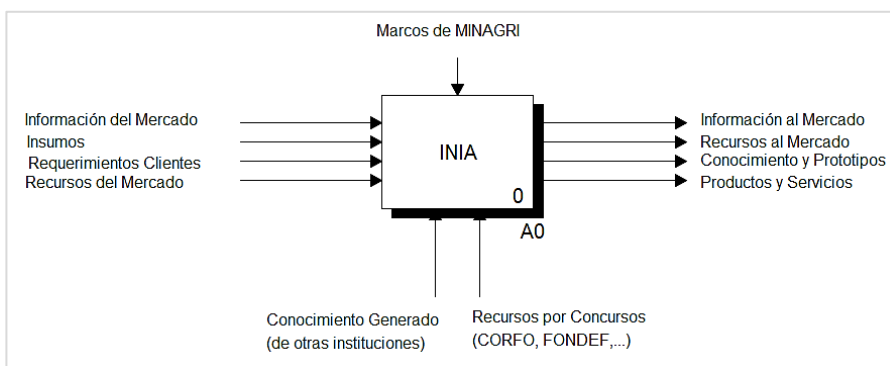


Figura 12: Arquitectura INIA Nivel 0
(Fuente: Elaboración propia)

Bajo el enfoque de Arquitectura de Procesos se establece que en cualquier organización existen cuatro agregaciones de procesos (llamados macroprocesos): 1) Planificación del Negocio, 2) Desarrollo de Nuevas Capacidades, 3) Cadena(s) de Valor, y 4) Gestión de Recursos Habilitadores (sección 2.1).

En la Figura 13 se presenta la esquematización de estos macroprocesos realizados en INIA. La institución presenta un patrón de arquitectura de procesos del tipo Coordinación y Replicación, caracterizada por la dependencia entre sus 2 cadenas de valor: Investigación y Transferencia, y Productos y Servicios. Esto implica una alta integración de procesos de negocios – como es el caso de la relación entre los resultados de las investigaciones y transferencia con los productos y servicios ofrecidos –, y una baja estandarización de procesos de negocios, considerando las distintas líneas de productos y servicios ofrecidos (Barros, 2015; Barros & Julio, 2011). Cabe mencionar que cada Centro Regional de Investigación (CRI) se gestiona de manera autónoma en cuanto a las investigaciones que se realizan (aunque la aceptación o no de proyectos es centralizada).

Considerando los objetivos de la sección 1.4, esta tesis ubica en el macroproceso Cadena de Valor – Macro 1 –, en particular en la Investigación y Transferencia.

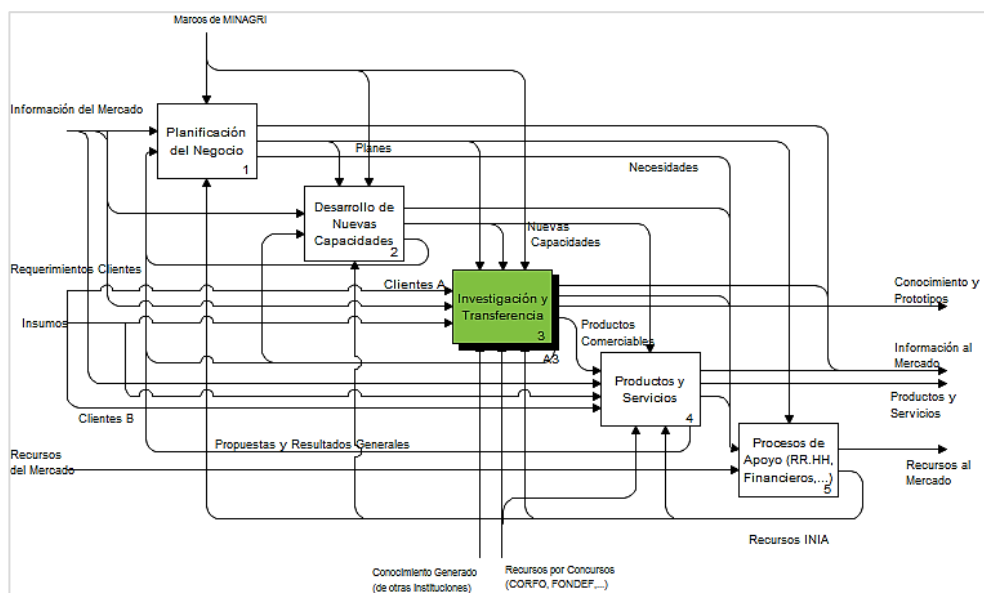


Figura 13: Arquitectura de INIA

4.1.1 Planificación del Negocio

En la Planificación del Negocio de INIA se definen cuáles serán sus objetivos de acuerdo a la *información del mercado* obtenida y a las *propuestas y resultados* que se obtienen de diversos proyectos de investigación, transferencia y venta de productos y servicios ofrecidos por la institución. Además, se norma por los *marcos regulatorios de MINAGRI*, los cuales controlan todo el quehacer de INIA. La planificación se materializa en *planes* y *necesidades* que controlarán otras actividades, entregando también *información al mercado* respecto al quehacer de la INIA.

Este proceso está a cargo principalmente del Comité Directivo Nacional y de la Dirección Nacional (ver organigrama de la institución en Anexo III).

4.1.2 Desarrollo de Nuevas Capacidades

Dado el objetivo de INIA de “innovar en el sector agropecuario”, se debe trabajar con las últimas tecnologías disponibles en el rubro, manteniendo así la competitividad del país y de la institución. Se utiliza *información del mercado* y *propuestas y resultados* de investigaciones para hallar nuevas formas de hacer gestión interna y nuevas formas de crear investigación. Esto permite crear *nuevas capacidades* y *necesidades* en forma de procesos. Este proceso se extiende a los CRI.

4.1.3 Cadenas de Valor

La Subdirección Nacional de Investigación y Desarrollo es la encargada de la cadena de valor de INIA, la cual presenta 2 líneas de negocio principales: Investigación y Transferencia, y Productos y Servicios.

▪ *Investigación y Transferencia*

Esta primera Cadena de Valor es la que nutre todos los procesos de INIA, ya que se enfoca en realizar investigaciones y obtener información de ellas que pueda ser utilizada para toma de decisiones, creación de prototipos, etc. Para ello, recibe *insumos, información del mercado y requerimientos de Clientes A*.

Los Clientes A son aquellas entidades que financian proyectos de investigación y transferencia para generar *conocimientos y prototipos*, y también para recibir *productos o servicios* como resultado de esas investigaciones. Este último es el caso de empresas privadas que aportan recursos monetarios para generar soluciones a problemas particulares de sus empresas. En este proceso se reciben *conocimientos e investigación generada por otras instituciones*, las cuales apoyan las investigaciones realizadas, y también se reciben *recursos por concursos* que no necesariamente están ligados a un tipo de cliente.

▪ *Productos y Servicios*

Los *productos comerciables* obtenidos de las investigaciones y transferencias se venden en Productos y Servicios. Aquí se necesitan *insumos, información del mercado y requerimientos del Cliente B*.

A diferencia del A, el Cliente B solo busca un *producto o servicio* terminado, no está interesado en la generación de conocimiento como en el caso del Cliente A.

Las áreas del organigrama de INIA que operan en estos procesos son:

- Para Investigación y Transferencia:
 - Unidad de Planificación, seguimiento y Evaluación,
 - Coordinación Programas Nacionales, y
 - Transferencia de Productos Tecnológicos.
- Para Productos y Servicios:
 - Propiedad intelectual y Licenciamiento, y
 - Transferencia de Productos Tecnológicos.

La última área mencionada comparte responsabilidades en ambas cadenas de valor, ya que además de presentar de manera comercializable los resultados de las investigaciones, se ocupa de la disponibilidad comercial de estos productos y/o servicios.

4.1.4 Procesos de Apoyo

Esta actividad la desempeña la Subdirección Nacional de Administración y Finanzas y sus departamentos, los cuales le permiten administrar los *recursos que se obtienen del mercado*. Los procesos de apoyo permiten que las actividades mencionadas anteriormente puedan realizarse aportando con *recursos de INIA* a su realización.

4.2 MODELAMIENTO DETALLADO DE PROCESOS

Considerando los Patrones de Procesos de Barros (2015) como punto de partida y que el proyecto se realizará en Macro 1, los procesos de INIA dentro de lo que es Investigación y Transferencia se componen de 5 procesos en su primer nivel, presentados en la Figura 14. El proceso destacado en la Figura es el que se relaciona directamente con el proyecto.

4.2.1 Primer nivel (A3)

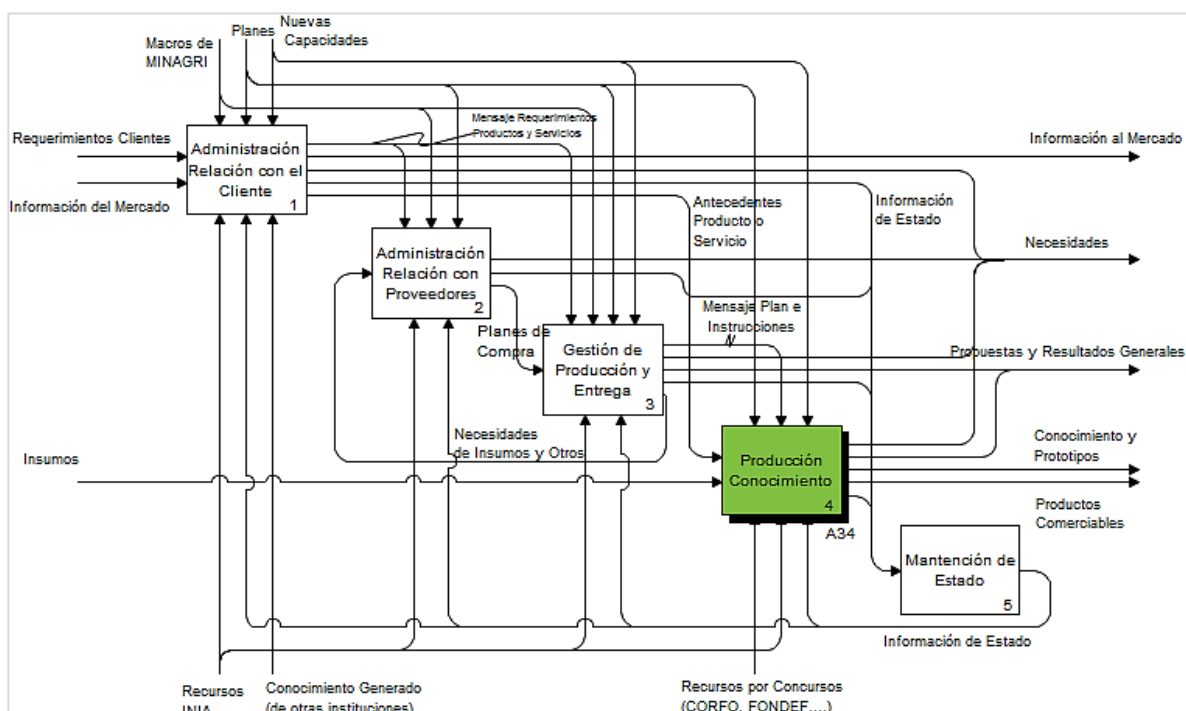


Figura 14: Primer Nivel Macro 1 INIA en IDEF0

- *Administración relación con el cliente*

Los proyectos de investigación de INIA pueden generarse por dos vías: por *requerimiento de un cliente* (sólo Cliente A) o por interés del investigador según la *información de mercado*. En el primer caso los recursos monetarios los entrega el cliente, pero cuando la investigación nace de un profesional de INIA, generalmente se postula a fondos concursables (públicos) para obtener financiamiento.

En cualquiera de esos casos, los proyectos en INIA primero son revisados de forma interna. Esto se hace para verificar que la investigación que se quiere realizar está en línea con el foco estratégico del CRI desde el cual se piensa llevar a cabo, lo cual es transmitido a través de *planes* estratégicos generados en la Planificación del Negocio (Macro3).

En este proceso de administración de la relación con el cliente, INIA se ocupa de que se cumplan los requerimientos del cliente en cuanto a informes, fechas de entrega, hitos del proyecto de investigación, entre otros. Con la *información de estado* generada por los demás procesos, puede además ir informando al cliente en caso de que haya alguna

demora (generando su propia *información de estado*) o que alguno de los requerimientos no pueda ser cumplido por problemas de plazo, imposibilidad tecnológica o de *recursos de INIA*.

El proceso genera un *mensaje* informando los requerimientos del cliente para los productos y servicios finales, y *antecedentes para la investigación* que se desea realizar. Además, va informando – al igual que los demás procesos – las *necesidades* que va teniendo y que no puede suplir con los recursos que se le están entregando.

- *Administración Relación con Proveedores*

Los requerimientos de abastecimiento de las oficinas centrales y CRI son obtenidos de las *necesidades de insumos* de las instalaciones administrativas (oficinas) y de investigación (laboratorios, bibliotecas, banco de germoplasma), velando para que sean satisfechas a través de la creación de *planes de compra*.

- *Gestión de Producción y Entrega*

Este proceso realiza la planificación y control de los *planes de compra*, creando *planes e instrucciones* de entrega de insumos necesarios para la producción de conocimiento de las investigaciones tanto dentro de las instalaciones de INIA como fuera de éstas (en los casos de estudios en terreno). De acuerdo a las actividades realizadas, también se generan *propuestas* que podrían mejorar la planificación del negocio.

- *Producción conocimiento*

Utilizando insumos y antecedentes para la investigación, este proceso realiza las actividades de investigar y empaquetar los resultados, generando *propuestas, conocimiento y prototipos* y *productos comerciables*. Estos últimos irán al siguiente proceso en la cadena de valor de Productos y Servicios.

El proyecto se encuentra inmerso en este proceso y será detallado más adelante.

- *Mantenimiento de Estado*

Aquí se encuentran las actividades que alimentan el flujo de información de la situación de todos los procesos en este nivel, alimentándolos también a ellos.

4.2.2 Segundo nivel (A3.4)

Dentro del proceso de Producción Conocimiento, se encuentran 2 subprocesos, presentados en la Figura 15, destacando el subproceso en el que se encuentra el proyecto.

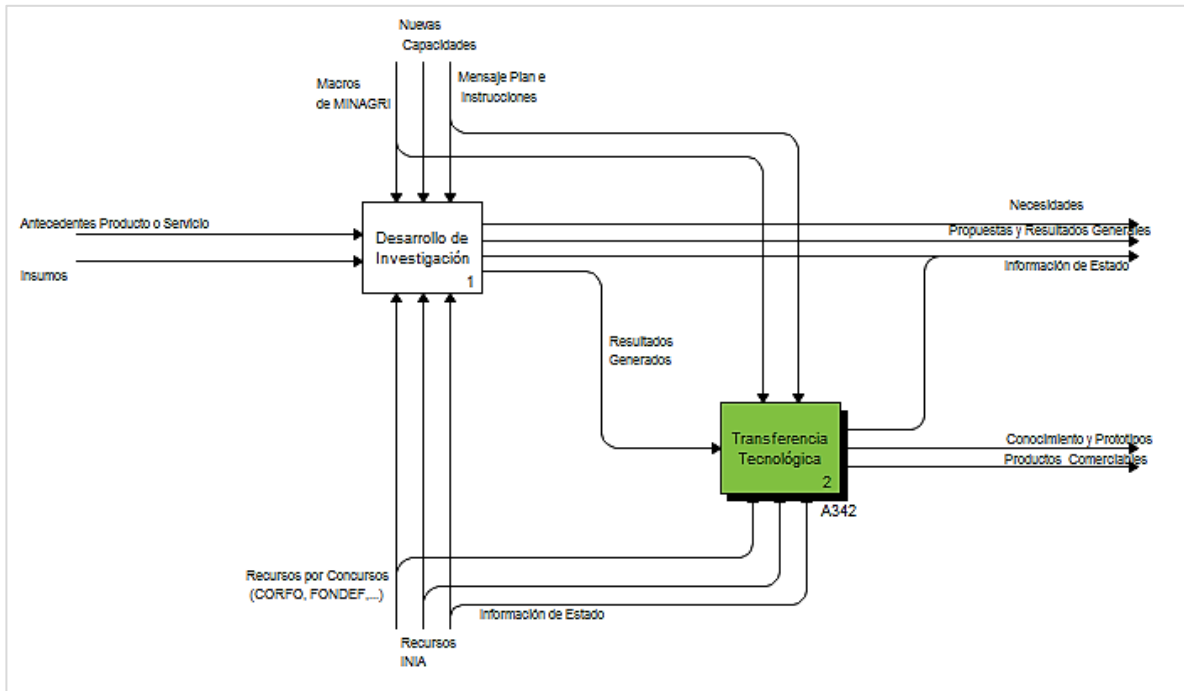


Figura 15: Segundo Nivel Macro 1 INIA en IDEF0: Producción de Conocimiento

- **Desarrollo de Investigación**

Utilizando los *antecedentes de investigación* e *insumos*, este subproceso entrega, además de lo especificado en la sección anterior, *resultados generados* por el desarrollo de la investigación, permitiendo el subproceso siguiente.

- **Transferencia Tecnológica**

Este subproceso es el que genera *productos comercializables* a partir de la investigación realizada, los cuales han sido testados para el Cliente B que necesita productos terminados, como semillas o servicios de consultoría probados ya en el mercado. Cabe señalar que no todas las investigaciones obtienen resultados comercializables, y es misión de este subproceso identificar cuáles outputs tienen potencial comercial y “empaquetarlos” de manera de que INIA pueda venderlos.

4.2.3 Boletín Agrometeorológico

En el proceso de Producción Conocimiento se encuentran todos los proyectos generados por INIA, los cuales engloban más de 500 proyectos de Investigación y Desarrollo ejecutados al 2014 (entre iniciados, en ejecución y finalizados) (Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), 2015). Para esta tesis se escogió uno de los proyectos emblemáticos de la institución, el cual se encuentra en ejecución al momento de este trabajo y que se describirá a continuación.

Por mandato de la Subsecretaría de Agricultura, INIA debe entregar un informe agrometeorológico regional mensual al Subdepartamento de Información, Monitoreo y Prevención del Departamento de Gestión Integral de Riesgo (ex Unidad Nacional de Emergencias Agrícolas y Gestión del Riesgo Agroclimático o UNEA). Este informe se conoce como “*Boletín Nacional de Análisis de Riesgos Agroclimáticos para las principales especies frutales y cultivos, y la ganadería*” (en adelante, Boletín Agrometeorológico) y es una recopilación de las conclusiones y análisis regionales CRI respecto a:

- a) Principales variables climáticas,
- b) Diagnóstico sobre sus efectos, y
- c) Comportamientos anómalos¹⁶.

Se estudia el Boletín Agrometeorológico en particular porque es el único proyecto que requiere información actualizada periódica (mensual), a diferencia de otros que necesitan la información, pero solo para llevar a cabo estudios puntuales.

El Boletín Agrometeorológico se divide en 14 informes regionales. Su producción requiere de la cooperación de distintos investigadores regionales de cada área de todos los CRI, además de encargados nacionales de meteorología, creación de índices, y edición. La Figura 16 muestra las actividades llevadas a cabo para la generación mensual de todos los boletines, comenzando con la apertura de la plataforma de INIA para editar las secciones correspondientes, las cuales son completadas por cada cargo independientemente¹⁷.

El informe se divide en 8 secciones principales:

1. Introducción
2. Resumen Ejecutivo
3. Componente meteorológico
4. Componente hidrológico
5. Análisis de riesgos agroclimáticos en principales especies frutales y cultivos
6. Disponibilidad de Agua
7. Análisis del índice de vegetación normalizado (NDVI)
8. Índice de condición de la vegetación (VCI) (en evaluación)

¹⁶ <http://www.inia.cl/proyecto/501691/>

¹⁷ Información completa sobre actores y la plataforma mencionada para la generación del Boletín se puede encontrar en Anexo XIV.

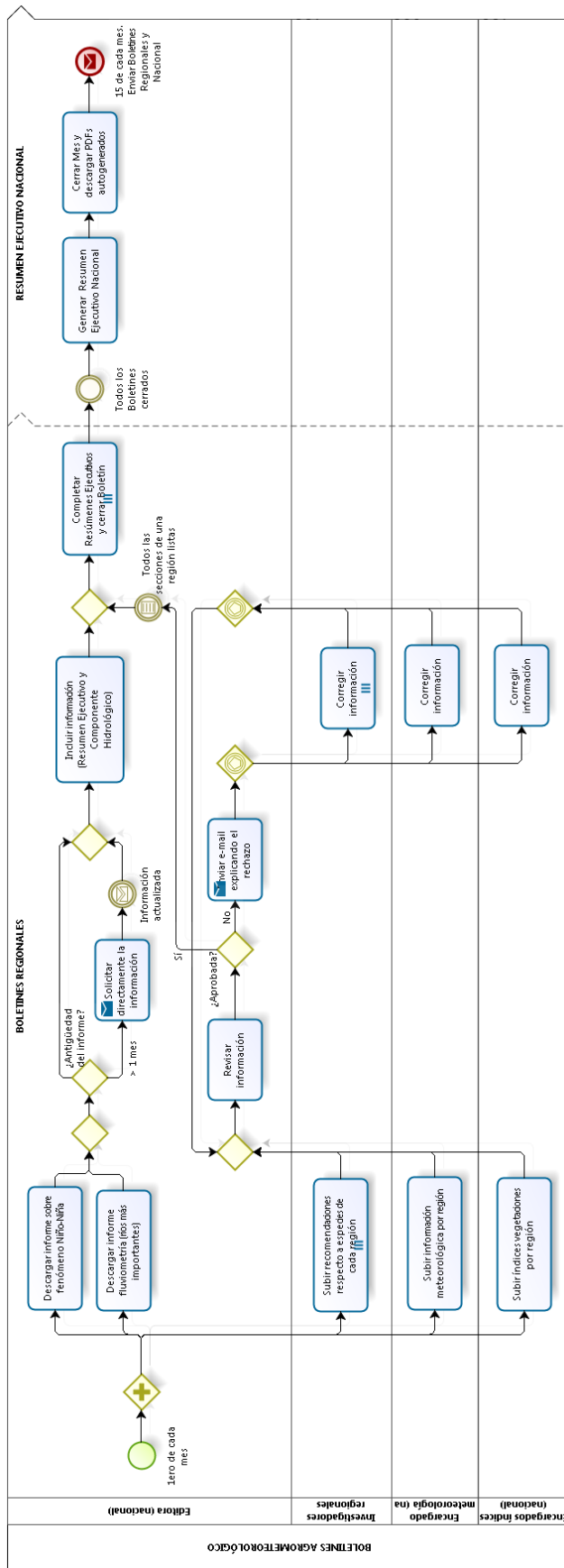


Figura 16: Modelo generación Boletines Agrometeorológicos en BPMN

▪ *Fase Regional*

La sección 3: “Componente meteorológico” se subdivide de acuerdo a la región. Aquí se presenta un resumen de los valores registrados por las estaciones meteorológicas de INIA, con sus gráficos y tablas correspondientes. El número de estaciones es distinto dependiendo de la región de estudio.

La sección 5: “Análisis de posibles riesgos agroclimáticos en las principales especies de frutales y cultivos” se subdivide en distintas áreas de interés, siendo éstas:

- Cultivos
- Frutales
- Hortalizas
- Ganadería
- Apicultura
- Praderas
- Flores

El texto correspondiente se edita de acuerdo a la realidad de la región, existiendo zonas en las que, por ejemplo, no hay industria apícola.

Las secciones 6: “Disponibilidad de Agua”, 7: “Análisis del índice de vegetación normalizado (NDVI)” y 8: “Índice de condición de la vegetación (VCI) (en evaluación)” son editadas por los encargados de índices. Estas secciones no siempre se encuentran en todas las regiones, por lo que dependiendo de qué boletín sea se encontrará esta información. Los índices se obtienen con las imágenes satelitales MODIS y LANDSAT más actualizadas, teniendo a veces que esperar al día de la entrega del informe para poder procesarlas.

Paralelamente, la Editora busca en las páginas de la Dirección Meteorológica de Chile (DMG) y de la Dirección General de Aguas (DGA) los informes de:

- Avance del fenómeno Niño-Niña (DMG), y
- Boletín Información Pluviométrica, Fluviométrica, Estado de Embalses y Aguas subterráneas (DGA).

Tras descargarlos se asegura que sean los informes más actualizados de ambas instituciones. Si tienen una antigüedad mayor a 1 mes, debe escribir un correo electrónico a los encargados de los informes en cada institución, solicitando que le envíen la versión más actualizada. Generalmente ocurre que el informe del mes correspondiente está terminado pero no lo han subido a la página, por lo que se lo envían directamente. La minoría de las veces el informe no está listo, y la Editora utiliza la información disponible en la web. Una vez que se tiene la información más actual, la Editora crea la sección 4: “Componente hidrológico” con la información de la DGA para cada región, y comienza la redacción de los primeros párrafos del “Resumen Ejecutivo” con la información de la DMC respecto a la Investigación del Fenómeno Niño-Niña y las predicciones climáticas para el periodo, para cada región.

A medida que los otros roles van subiendo la información requerida, la Editora revisa que todo esté en concordancia con la realidad de la región, que las imágenes y gráficos se vean nítidos, etcétera. Si encuentra algún error (no aprueba la información), avisa a la persona correspondiente a través de un correo electrónico, explicando las razones de por qué debe editar nuevamente esa sección. Las personas a las que les llega este mensaje deben corregir la información en la plataforma, la cual es nuevamente revisada por la Editora. Si la rechaza nuevamente, se repite el ciclo, pero si la aprueba, avanza a la siguiente actividad.

Cuando todas las secciones de un Boletín Agrometeorológico Regional se encuentran listas, la Editora utiliza la información para completar el Resumen Ejecutivo correspondiente y cerrar el Boletín Agrometeorológico.

▪ *Fase Nacional*

Tras cerrar todos los boletines, la Editora escribe el Resumen Ejecutivo Nacional del mes, el cual le permite cerrar el mes en la plataforma y descargar los PDFs autogenerados de todos los Boletines (15 en total) y el Resumen Ejecutivo Nacional. Todos estos archivos los adjunta en un correo que envía el día 15 de cada mes al Subdepartamento de Información, Monitoreo y Prevención, a los encargados regionales de INIA y a los Directores de todos los Centro Regionales de Investigación.

El Ministerio trata este tipo de información como un bien público y de libre acceso, tanto para particulares como instituciones públicas y privadas. Por ello cuenta con una Red Agrometeorológica que reúne en una sola plataforma web la información recibida por sus instituciones, tal que los actores del sector puedan manejar el conocimiento del riesgo agroclimático. En particular, la información agroclimática y el Boletín Agrometeorológico se pueden hallar en el siguiente link: <http://dgir.minagri.gob.cl/coyuntura-agroclimatica/>.

4.3 DIAGNÓSTICO SITUACIÓN ACTUAL

Las herramientas de agricultura de precisión se utilizan en Chile para estudiar el estado del suelo, vigor de la vegetación, rendimiento posible de la producción y su calidad, y rendimiento hídrico del sector. Para MINAGRI resulta relevante conocer el uso que se le está dando al suelo en grandes extensiones de terreno (comunas, provincias, regiones). El Boletín Agrometeorológico posee la información que necesita el Subdepartamento de Información, Monitoreo y Prevención para establecer cuáles son las zonas anómalas en cuanto a su producción normal y declarar Emergencia Agrícola. Como se explicó en la sección anterior, el Boletín Agrometeorológico presenta datos técnicos respecto a las variables meteorológicas e hidrológicas, además de entregar recomendaciones de las especies más relevantes de cada región e índices de vegetación que establecen la condición vegetal de las distintas regiones.

En la sección 1.3 se mencionó que la información de INIA no es suficiente para establecer qué cultivos se están viendo afectados. Si bien INIA ya utiliza imágenes satelitales en el contenido del Boletín Agrometeorológico (Figura 16) su uso se reduce a la creación de

índices, no aprovechando el potencial de información que éstas podrían entregar a los *stakeholders* del documento.

El Subdepartamento de Información, Monitoreo y Prevención está interesado en la información para la toma de decisiones. El Boletín Agrometeorológico sólo entrega los índices y opiniones de expertos sobre las zonas de anomalías, pero no permite identificar qué se afecta. Como el conocimiento de suelo que se tiene no está actualizado (corresponde al Censo 2007 en su gran mayoría) la información que se entrega es incompleta, no satisfaciendo en su totalidad al cliente (el Subdepartamento de Información, Monitoreo y Prevención en este caso). De esto surge la necesidad de INIA de poseer un sistema que le permita monitorear el uso de suelo en el país, de manera de poder entregar información para que MINAGRI pueda hacer una mejor toma de decisiones.

Se mencionó además en la sección 4.1 que el Patrón de Arquitectura de INIA es de Coordinación y Replicación, el cual presenta una alta integración de los procesos de negocio y baja estandarización de éstos. Por ende, este tipo de información se vuelve un *input* para otros proyectos de INIA, en especial los relacionados con Cambio Climático y Gestión Hídrica ya que necesitan monitoreo constante de la situación país.

4.4 CUANTIFICACIÓN DEL PROBLEMA U OPORTUNIDAD

4.4.1 Imágenes satelitales

El insumo más relevante de este proyecto son las imágenes satelitales. Los satélites con los que trabaja INIA y sus competidores en general se presentan en la Tabla 1.

Si se evalúan una a una las alternativas de imágenes, es posible descartar de inmediato los satélites del 5 al 10, dado su valor por imagen por periodo. INIA especificó desde un inicio que prefería utilizar imágenes gratuitas, siempre que fueran de buena calidad ya que la periodicidad ideal del estudio requeriría al menos 12 imágenes por comuna en el año, lo que representaba un alto costo para la institución.

Los satélites 1 y 5 son satélites experimentales, cuyo objetivo dista de ser una fuente periódica de información. Por lo mismo, si bien tienen una resolución temporal¹⁸ de 16 días, esta es ideal y no representa la realidad de la captura de información.

Observando luego la columna de la resolución espacial¹⁹, el satélite 4 presenta un valor mucho mayor que los satélites 2 y 3. Considerando que los agricultores objetivos de INIA son pequeños (no más de 5 hectáreas de terreno), la resolución es insuficiente para caracterizar el suelo, ya que en un mismo píxel podría encontrarse más de un tipo de cultivo y el satélite lo detectaría como uno solo. Cabe destacar que INIA utiliza imágenes MODIS

¹⁸ R. temporal alude a la periodicidad con la que se adquieren imágenes de la misma porción de la superficie terrestre. Por ejemplo, una resolución temporal de 5 días indica que el satélite tardará 5 días entre una imagen y otra del mismo punto en la Tierra.

¹⁹ R. espacial se refiere al tamaño del píxel es escala real, medido en metros. Por ejemplo, una resolución espacial de 30 m indica que el píxel de la imagen representa un cuadrado de 30x30 m. Mientras menor es la resolución espacial, mejor es el dato ya que es más detallado.

para la generación de índices de vegetación, ya que esto busca tener la panorámica general de un sector y no requiere de información tan específica.

Para el proyecto de tesis se optó por las imágenes del programa espacial Landsat dado su historial espacial²⁰ por sobre las Aster, además de presentar una mejor resolución espacial que MODIS, la segunda mejor opción. En particular se estudiarán los años 2015 y 2016, por lo que los satélites utilizados serán Landsat 7 y Landsat 8.

Tabla 1: Alternativas de imágenes satelitales

Satélite (sensor)	\$CLP Lonquimay	\$CLP Los Sauces	Resolución espacial	Resolución espectral ²¹	Resolución temporal
1. EO-1 Atis	\$ 0	\$ 0	10 m – 30 m	7 bandas	16 días (ideal)
2. Landsat	\$ 0	\$ 0	15 m – 30 m	7 bandas	16 días
3. Aster	\$ 0	\$ 0	15 m – 90 m	3 y 9 bandas	16 días
4. MODIS	\$ 0	\$ 0	250 m	36 bandas	1 – 2 días
5. EO-1 Hyperion	\$ 0	\$ 0	30 m	220 bandas	16 días (ideal)
6. DMC	\$ 270.000	\$ 60.000	22 m	3 bandas	1 día
7. RapidEye	\$ 2.500.000	\$ 550.000	6,5 m	5 bandas	1 día
8. FASAT-Charlie	\$ 7.000.000	\$ 1.150.000	1,5 m – 5,8 m	5 bandas	3 – 5 días
9. SPOT-6/7	\$ 15.000.000	\$ 3.300.000	5 m – 10 m	5 bandas	3 – 4 días
10. IKONOS	\$ 26.600.00	\$ 5.790.000	1 m – 4 m	5 bandas	3 días

²⁰ Para más detalles, ver Anexo XV.

²¹ R. espectral indica el número de las bandas espectrales que puede discriminar el sensor. A mayor resolución espacial, los distintos elementos de una imagen son mejor caracterizados.

4.4.2 Lonquimay y Los Sauces

El Subdepartamento de Información, Monitoreo y Prevención solicita información a través del Boletín Agrometeorológico, el cual se genera 12 veces en el año (de entrega mensual) y se publica en el sitio web de la entidad.

El alcance de este proyecto de tesis considera sólo las comunas de Lonquimay y Los Sauces, por lo que la población objetivo del Subdepartamento de Información, Monitoreo y Prevención es de 490 y 485 personas, considerando dueños agrícolas y empleados permanentes y temporales que trabaja en explotaciones agropecuarias y forestales, como muestra la Tabla 2.

Tabla 2: Resumen datos explotaciones y población objetivo Lonquimay y Los Sauces

	Lonquimay	Los Sauces
Suelos de cultivo ²²	2.069 [ha] (0,5% sup. de la comuna)	4.253 [ha] (5% sup. de la comuna)
Otros suelos ²³	278.208 [ha] (71,1% sup. de la comuna)	81.411 [ha] (95,8% sup. de la comuna)
Población objetivo dueños agricultores, empleados permanentes y temporales	485 personas	490 personas

(Fuente:(Instituto Nacional de Estadística (INE), 2007b))²⁴

4.4.3 Plataforma web

INIA, en colaboración con otras instituciones ministeriales, crea sitios específicos para proyectos en ejecución o desarrollo. Si bien han creado algunos que permiten manejo de imágenes georreferenciadas, por lo general utilizan proveedores externos para su creación, considerando que los archivos de una cubierta satelital no son fáciles de manejar a nivel web.

²² Suelos de cultivo incluye los cultivos anuales y permanentes, las forrajeras permanentes y de rotación, y los suelos en barbecho y descanso (según la definición de INE)

²³ Otros suelos incluye praderas mejoradas, praderas naturales, plantaciones forestales, bosque nativo, matorrales, infraestructura (construcciones, caminos, embalses, etc.), y terrenos estériles y no aprovechados (arenales, pedregales, pantanos) (según la definición de INE)

²⁴ Los porcentajes presentados no suman 100% debido a que la superficie censada por INE supera en el caso de Los Sauces a la superficie de la comuna.

CAPÍTULO 5. PROPUESTA DE DISEÑO DE PROCESOS

5.1 DIRECCIONES DE CAMBIO Y ALCANCE

El proyecto de tesis nace de la falta de información actualizada respecto a la localización de los recursos agroproductivos del país. Las fuentes actuales se consideran no fiables ya que los ciclos productivos agropecuarios pueden llegar a ser de 6 meses, tras lo cual el agricultor puede variar el cultivo o cambiarse de rubro (a forestal, por ejemplo). Ante este escenario, se hace indispensable para INIA mejorar la forma de obtener esta información sin que esto sea muy costoso, de manera de poder agregarlo como información relevante al Boletín Agrometeorológico.

Si bien el proyecto se enfoca en entregar esta información para desarrollar el Boletín Agrometeorológico, ésta puede ser utilizada en otros proyectos en la institución, como por ejemplo, los relacionados con Cambio Climático, que requieren del monitoreo de zonas específicas y para historiales de 30 o más años.

5.1.1 Variables de Dirección de Cambio

Las variables de cambio relevantes para este proyecto son *práctica de trabajo y utilización de TI*. Lo expuesto a continuación se resume en la Tabla 3.

- *Prácticas de Trabajo*

El proyecto busca establecer un procedimiento para obtener información actualizada de las cubiertas de suelo en las comunas de Lonquimay y Los Sauces utilizando algoritmos específicos para ello. En cuanto a los cambios, podemos verlos desde 4 dimensiones: fuentes de información, calidad de la información, tipo de clasificación e interdependencia.

Las fuentes de información actuales corresponden a los datos del Censo Agropecuario del 2007, algunas imágenes satelitales y los datos recolectados en los predios monitoreados por MINAGRI. El proyecto busca tener una fuente de información más fiable y que sea constantemente actualizada, por lo que se utilizarán imágenes satelitales (específicamente imágenes Landsat).

En cuanto a la calidad de información, en la actualidad hay disponible en el mercado imágenes (pagadas) de alta resolución con periodos de captura variables que puede ir desde días hasta meses, dependiendo en su mayoría del presupuesto de la institución. En cambio, al usar Landsat se tienen imágenes cada 15 días (hay excepciones pero se deben a fallas en el satélite o en el punto terrestre) con un retraso de en promedio de 5 días respecto a la fecha de captura y la calidad es variable, ya que las nubes son una de las mayores interferencias.

Tabla 3: Variables de cambio y alcance del proyecto

	Descripción	As-Is	To-Be
Prácticas de trabajo	Fuentes de información sobre cubiertas	Datos Censo Agropecuario 2007 y predios de MINAGRI	Datos obtenidos de imágenes satelitales con menos de 1 mes de antigüedad
	Calidad de información sobre cubiertas	Información desactualizada o muy sectorizada, creada además para otros fines. No es posible establecer con claridad la calidad de estos registros	Imágenes con temporalidad de 15 días en general, calidad variable por la presencia de nubes
	Tipo de detección de cubiertas	INIA no realiza detección de cubiertas con imágenes satelitales. En otras instituciones ministeriales, como CONAF, las detecciones realizadas deben luego ser verificadas en terreno por un grupo de técnicos.	El sistema se basa en puntos conocidos de terreno e imágenes satelitales cada al menos 15 días (idealmente). Con una buena base de puntos conocidos no debiera ser necesario realizar verificaciones en terreno cada vez que se corre el algoritmo
	Dependencia de otras instituciones para detección de cubiertas	INIA no realiza detección de cubiertas. En otras instituciones ministeriales, se utilizan técnicos de distintas instituciones para realizar las verificaciones en terreno u otros asuntos. Por lo general éstos son de otras instituciones ministeriales. El flujo de información depende muchas veces de la “buena voluntad” de las instituciones para entregar esta información	Con una buena base de puntos conocidos no debiera ser necesario realizar verificaciones en terreno cada vez que se corre el algoritmo, disminuyendo la dependencia de INIA con otras instituciones
Utilización de TI	Procedimiento para detección de cubiertas	INIA no realiza detección de cubiertas. En otras instituciones ministeriales, las detecciones de cubiertas se hacen de forma manual (cada vez que se hace una clasificación se le indica al sistema dónde están los puntos conocidos y qué son). Una vez hecho esto, se realiza un reporte de forma manual de las cubiertas detectadas	La detección se realizaría con una rutina semi-automatizada que reciba como input una imagen satelital y un archivo de puntos conocidos en terreno, de manera de que automáticamente realice las clasificaciones y extraiga la información útil para el usuario en forma de un reporte

Si bien ya se utilizan imágenes satelitales en INIA y otras instituciones ministeriales, las detecciones de cubiertas realizadas se basan en identificar manualmente las zonas en una imagen y luego enviar personal a verificar en terreno si se clasificó correctamente. El sistema propuesto se basa en imágenes y puntos conocidos en terreno, tal que no se necesite enviar regularmente técnicos que verifiquen las clasificaciones.

Finalmente, el proyecto busca eliminar la dependencia de la validación en terreno que deban realizar técnicos de INIA u otras instituciones. Se mantendrá a la USGS como proveedor de las imágenes.

- *Utilización de TI*

Uno de los objetivos estratégicos de INIA es modernizarse, especialmente en lo que son los procesos internos (ver Anexo X).

En cuanto a la detección de cubiertas, actualmente se hace verificación en terreno y el ingreso de datos para la realización de las clasificaciones es manual, donde un técnico debe ingresar a un software los puntos de interés marcándolos en un mapa (digital) y explicándole al programa qué es cada polígono dibujado.

En esa línea, el proyecto busca establecer una rutina semi-automatizada en la que los técnicos puedan ingresar los datos de los puntos de control en terreno y que las clasificaciones se realice sin necesidad de que otra persona intervenga. Para ello es necesario tener los procedimientos de obtención de datos de puntos conocidos e imágenes satelitales, clasificar y extraer información útil para los clientes externos e internos de INIA.

5.2 DISEÑO DETALLADO DE PROCESOS TO-BE

5.2.1 Diseño en IDEF0

El proyecto no implica un rediseño de los procesos principales de INIA. Si bien se ubica dentro de la Cadena de Valor de *Investigación y Transferencia* (Figura 13, página 23) y, dentro de ésta, en el proceso de gestión de *Producción conocimiento* (Figura 14, página 25), utiliza las mismas denominaciones presentadas.

Revisando el detalle del *Producción conocimiento* (sección 4.2.2), las actividades de *Desarrollo de Investigación y Transferencia Tecnológica* también se mantienen sin cambios. El proyecto se encuentra inmerso en *Transferencia Tecnológica* ya que la herramienta creada permitirá constantemente transmitir la información de cubiertas por parte de INIA. Sin embargo, el proyecto inicia con una investigación previa respecto a cuáles algoritmos son más útiles y precisos.

Enfocándose en ello, se puede hacer la siguiente especificación en IDEF0 según el proceso de la Figura 15 (página 27):

- Entradas:
 - Antecedentes Producto o Servicio: Información previa sobre el uso de imágenes satelitales en INIA para el Boletín Agrometeorológico, además de los antecedentes sobre las actuales fuentes de información para detectar cubiertas
 - Insumos: Imágenes satelitales y dato de puntos de control en terreno
 - Resultados generados (por la investigación): Algoritmos a utilizar en el sistema y métodos computaciones para automatizar la detección de cubiertas y entrega de reportes
- Salidas:
 - Necesidades: el proyecto deja entrever necesidades que INIA debería implementar para realizar este tipo de proyectos, como por ejemplo el poseer un registro continuo de puntos de control en terreno para realizar clasificaciones
 - Propuestas y resultados generales: de la investigación se extrae cuáles son los mejores algoritmos para la detección de cubiertas y la precisión que se puede alcanzar considerando la información de terreno disponible
 - Información de estado: información estándar de estado para el proyecto
 - Conocimiento y prototipos: de la *Transferencia Tecnológica* se obtendrán conocimientos sobre las cubiertas de las comunas de Lonquimay y Los Sauces, dando pie además a posibles investigaciones y detección de cubiertas en otras comunas y regiones.
 - Productos comerciables: La información de cubiertas se entregará a través del Boletín Agrometeorológico. Sin embargo, la información puede ser utilizada para otros proyectos en INIA, siempre que la institución así lo estime conveniente.

Los Mecanismos y Controles no se explicitan ya que son comunes a todo el quehacer de INIA y no presentan ninguna particularidad para este proyecto.

5.2.2 Diseño en BPMN

Esta sección presenta a grandes rasgos el proceso diseñado del proyecto de tesis. El detalle de los datos y el funcionamiento de los códigos se verán más adelante. La clasificación de imágenes satelitales se diagrama en la Figura 17 y Figura 18.

Cada 15 días el encargado de las clasificaciones debe descargar las imágenes satelitales correspondientes para el periodo utilizando un código Python que se conecta con el servidor de la USGS en Estados Unidos, organización que es dueña de las imágenes Landsat. Los archivos se guardan en una carpeta específica para cada comuna y satélite (a mencionar más adelante). Una vez realizado esto se debe correr el código computacional que realiza las tareas de pre procesamiento y clasificación. Los resultados obtenidos son 3: imagen ráster clasificada, previsualización de la clasificación y reporte.

Estos archivos se almacenan en un servidor en INIA y el encargado debe enviar un aviso al responsable de la plataforma web para que éste actualice las opciones en la plataforma para que si un usuario las necesita pueda acceder a ella (Figura 17).

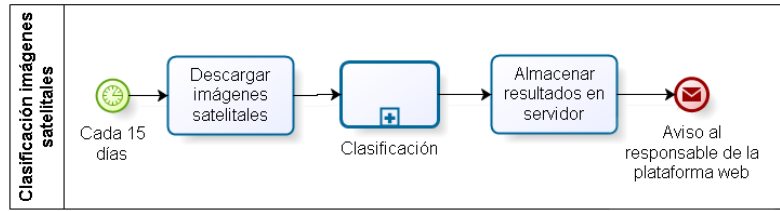


Figura 17: Macroproceso de clasificación

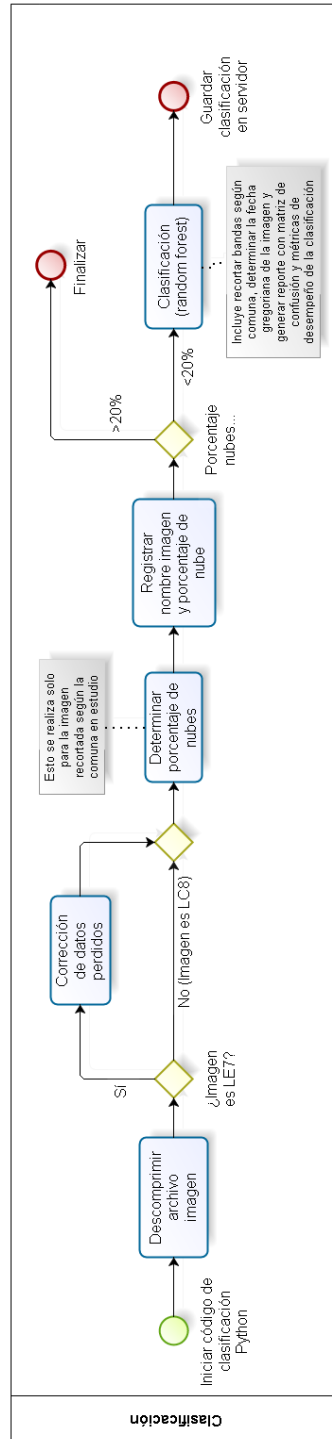


Figura 18: BPMN Clasificación de imagen

Como se muestra en la Figura 18, el proceso de clasificación en sí inicia cuando se corre el código Python diseñado para este proyecto. Las imágenes vienen en paquetes que son descomprimidos por el código para poder trabajarse. Si la imagen es del satélite Landsat 8 (en adelante, LC8) continúa sin problemas, pero si es del satélite Landsat 7 (en adelante, LE7) se debe realizar la corrección de datos perdidos²⁵.

Cualquiera sea el caso, a continuación se determina el porcentaje de nubes y nieve de la imagen. Cabe mencionar que la imagen en sí debe ser recortada según la forma y las coordenadas de la comuna en estudio para que la obtención del porcentaje sea correcta.

En un archivo de texto el código va guardando el nombre de todos los archivos de imágenes que ha trabajado, de manera de que quede registro de ellas. El límite de tolerancia de nubes y nieve para imágenes satelitales es de máximo 20% de la superficie (Dobson et al., 1995; Klemas, 2001), por lo que si la imagen posee más de 20% no se realiza clasificación y el proceso finaliza registrando dicho porcentaje.

En cambio, si el porcentaje de nubes y nieve es menor al 20%, el código procede a realizar la clasificación Random Forest. Esta actividad incluye:

- Recortar las bandas según la comuna en estudio
Si bien este procedimiento es similar para el caso de las nubes, no se utilizan las mismas bandas de la imagen, por lo que debe hacerse nuevamente.
- Determinar fecha gregoriana respecto a la juliana
El calendario juliano enumera los días del año del 1 al 365(o 366), a diferencia del calendario gregoriano (tradicional) que divide el año en meses y en días del mes. Esta etapa rescata la fecha juliana de la imagen y la convierte a gregoriana.
- Clasificación Random Forest
Se lleva a cabo con los rásters recortados y la base de puntos conocidos de terreno por comuna. Considerando que este es un problema con una gran cantidad de datos²⁶, se optó por el método hold-out para entrenar y validar el modelo (Franco-Lopez et al., 2001). Por ende, para la clasificación se eligieron al azar el 80% de los datos para entrenar y el 20% para realizar la validación. El código crea automáticamente la matriz de confusión y los indicadores de desempeño presentados en la sección 2.2.7.

²⁵ Las imágenes LE7 presentan en su forma original un bandedo con pérdida de información, por lo cual deben ser corregidas con una interpolación (http://landsat.usgs.gov/sci_an.php). Los archivos originales de la imagen traen la información que debe ser reconstituida, por lo que basta “rellenar” los datos perdidos para obtener una imagen que sea utilizable.

²⁶ Cada ráster recortado de Lonquimay contiene 4.371.414 píxeles, mientras que los rásters de Los Sauces poseen 941.707 píxeles. Cada uno de estos píxeles es de 7 dimensiones porque contiene los datos de las 7 bandas correspondientes. Más adelante se señalará que el total de imágenes disponibles es de 182, por lo que se concluye que el conjunto de datos justifica el uso de hold-out (Ludwig et al., 2016)

- Generación de reportes

El reporte de cada imagen clasificada incluye:

- porcentaje de nube y nieve,
- matriz de confusión, e
- indicadores de desempeño

La actividad “Clasificación” da los 3 resultados mencionados y los guarda en el servidor.

5.3 DISEÑO LÓGICO DE NEGOCIOS

Esta sección utiliza el modelo CRISP-DM (sección 2.2.5) para explicar la lógica propuesta.

5.3.1 Comprensión del Negocio

Los objetivos general, específicos y resultados esperados fueron cubiertos en la sección 1.4. En cuanto a la comprensión del negocio de INIA, el Capítulo 3 trata ese punto en profundidad.

Resumiendo esta información, es posible decir que el negocio de INIA es la **investigación y transferencia de conocimiento**. Siguiendo esta línea, el proyecto busca entregar una herramienta (un sistema) que le permita a la institución obtener información actualizada sobre las principales cubiertas de las comunas de Lonquimay y Los Sauces para utilizarla en la generación del Boletín Agrometeorológico²⁷.

5.3.2 Comprensión de los Datos

- *Puntos en terreno*

La clasificación requiere de puntos conocidos en terreno de diversas fuentes.

En el caso de cubiertas vegetales, se utilizan polígonos facilitados por la Municipalidad de Los Sauces, SAG e INDAP, correspondientes a 38 predios para Lonquimay (que representan el 0,04% del total de la superficie comunal) y 18 predios para Los Sauces (0,41% del total de la superficie comunal). La información sobre los bosques se obtiene de capas vectoriales creadas por CONAF. Para los elementos no vegetales se usan cubiertas de caminos, ciudades, cuerpos de agua, entre otros, obtenidos de investigadores.

- *Imágenes satelitales*

Como se presentó en la sección 4.4.1, las imágenes a utilizar serán del programa espacial Landsat. Para este proyecto se utilizaron imágenes capturadas por algunos de los sensores

²⁷ Un ejemplo del Boletín puede verse en el link http://dgir.minagri.gob.cl/wp-content/uploads/2017/03/ARAUCANIA_BOLETIN_MARZO_2017.pdf , correspondiente al último Boletín entregado por INIA a la fecha de esta tesis.

de los satélites LE7 y LC8 – ambos con una resolución temporal de 16 días y una resolución radiométrica²⁸ de 8 bits –, los cuales se explican en la Tabla 4.

Tabla 4: Resumen información sensores del proyecto

Satélite	Sensor	Resolución espacial	Resolución espectral	Resolución radiométrica	Resolución temporal	Peso imagen (promedio)
LE7	ETM+	30 m (banda 1-7)	8 bandas	8 bits (256 valores)	16 días	300 MB
LC8	OLI	30 m (banda 1-7,9)	9 bandas	8 bits (256 valores)	16 días	1 GB

Al descargar las imágenes se obtiene un paquete comprimido .tgz cuyo nombre presenta la convención mostrada en la Figura 19. Cada paquete viene con distintos archivos, los cuales se presentan en la Tabla 5 y se explican a continuación.

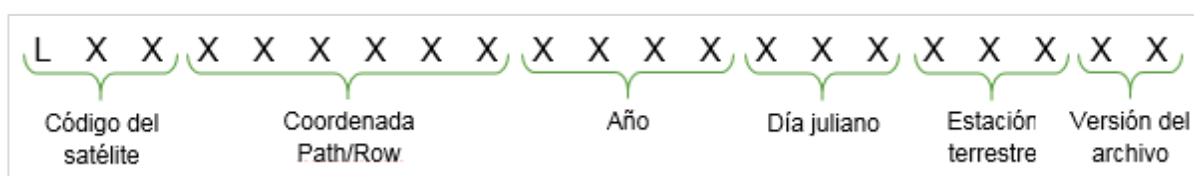


Figura 19: Convención nombre de archivos Landsat

Por ejemplo, una imagen con el nombre LC82320872015341LGN00 significa que la imagen es del satélite LC8, del sector donde se encuentra la comuna de Lonquimay (232/087), del año 2015 y día juliano 341, de la estación terrestre Landsat Ground Network (LGN) y es la versión 00 de la imagen.

²⁸ R. radiométrica en una imagen mide el número de bits, es decir, la variabilidad en la radiancia espectral que puede ser detectada por el sensor.

Tabla 5: Archivos dentro de los paquetes de imágenes satelitales

Satélite	Tipo archivo	Nombre archivo	Nubes y Nieve	Clasificación
LE7	Carpeta	gap_mask/		
	Banda multiespectral	LE7Nombreimagen_B1.TIFF	Sí	Sí
	Banda multiespectral	LE7Nombreimagen_B2.TIFF	Sí	Sí
	Banda multiespectral	LE7Nombreimagen_B3.TIFF	Sí	Sí
	Banda multiespectral	LE7Nombreimagen_B4.TIFF	Sí	Sí
	Banda multiespectral	LE7Nombreimagen_B5.TIFF	Sí	Sí
	Banda térmica	LE7Nombreimagen_B6_VCID_1.TIFF	Sí	No
	Banda térmica	LE7Nombreimagen_B6_VCID_2.TIFF	Sí	No
	Banda multiespectral	LE7Nombreimagen_B7.TIFF	Sí	Sí
	Banda pancromática	LE7Nombreimagen_GCP.txt	No	No
	Archivo metadatos	LE7Nombreimagen_MTL.txt	Sí	No
	Archivo metadatos	README.GTF	No	No
	LC8	Banda multiespectral	LC8Nombreimagen_B1.TIFF	Sí
Banda multiespectral		LC8Nombreimagen_B2.TIFF	Sí	Sí
Banda multiespectral		LC8Nombreimagen_B3.TIFF	Sí	Sí
Banda multiespectral		LC8Nombreimagen_B4.TIFF	Sí	Sí
Banda multiespectral		LC8Nombreimagen_B5.TIFF	Sí	Sí
Banda multiespectral		LC8Nombreimagen_B6.TIFF	Sí	Sí
Banda multiespectral		LC8Nombreimagen_B7.TIFF	Sí	Sí
Banda pancromática		LC8Nombreimagen_B8.TIFF	No	No
Banda multiespectral		LC8Nombreimagen_B9.TIFF	Sí	No
Banda térmica		LC8Nombreimagen_B10.TIFF	Sí	No
Banda térmica		LC8Nombreimagen_B11.TIFF	Sí	No
Banda de calidad		LC8Nombreimagen_BQA.TIFF	No	No
Archivo metadatos		LC8Nombreimagen_MTL.txt	Sí	No

- *Tipos de archivos*

Los posibles tipos de archivos que se encuentran en las imágenes satelitales son:

- **Carpeta gap_mask**
Esta carpeta contiene los archivos de corrección necesarios para llenar los datos faltantes de las imágenes LE7, de manera de que puede ser utilizada.
- **Banda multiespectral**
Estas bandas son las que registran las longitudes de onda correspondientes a las zonas del espectro de luz visible (azul, verde, rojo), infrarrojo cercano (o NIR) e infrarrojo medio (SWIR).
- **Banda térmica**
Estas bandas registran las longitudes de onda del espectro del infrarrojo térmico.
- **Banda pancromática**
Estas bandas en ambos satélites presentan una resolución de 15 metros y pueden ser utilizadas para determinar de mejor manera los bordes en una imagen.
- **Archivos de metadatos**
Estos archivos contienen la información esencial de la imagen (o más bien dicho, del paquete) descargado, entregando información como el porcentaje de nube identificado, las coordenadas en latitud y longitud de sus bordes, radiancia y reflectancia mínima y máxima de cada banda, entre otros datos.
- **Banda de calidad**
Presente sólo en LC8, cada píxel contiene números que representan combinaciones de condiciones de superficie, atmósfera y sensor de bits que pueden afectar la utilidad global de un píxel dado.

Si bien todos estos archivos están disponibles al descomprimir una imagen, su uso depende del objetivo de la imagen. Las columnas “Nubes y nieve” y “Clasificación” de la Tabla 5 serán explicadas más adelante.

Cabe señalar que los 2 tipos de imágenes son tomadas cada 16 días, pero las LE7 tienen un desfase de 8 días respecto a las del LC8 (es decir, si se tienen dos imágenes LC8 con fechas 1 de agosto y 17 de agosto, las imágenes LE7 correspondientes al periodo similar serán con fecha 9 de agosto y 25 de agosto).

En un inicio del proyecto se consideró dividir el año en quincenas y optar por preferir imágenes LC8 y utilizar LE7 si había problemas de nube y nieve. Como se verá más adelante, la cantidad de imágenes desechadas por esto es mayor que la cantidad de imágenes que sí se clasifican, por lo que se optó por utilizar la mayor cantidad posible de imágenes, sin dividir por quincenas.

▪ Caracterización Lonquimay y Los Sauces

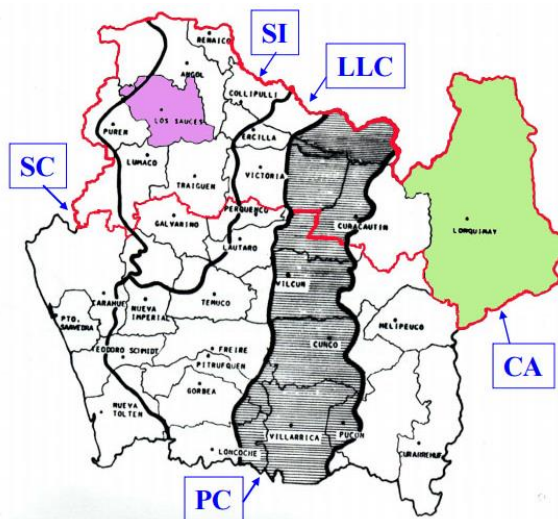


Figura 20: Mapa de la IX región de la Araucanía con zonas agroecológicas
En rojo se destaca la Provincia de Malleco. Las siglas en la imagen representan el área que corresponde a Secano Costero (SC), Secano Interior (SI), Valle o Llano Costero (LLC), Precordillera (PC) y Cordillera de los Andes (CA).

• Caracterización Zonas Agroecológicas

Se debe considerar que las zonas agroecológicas de la región son distinta de Oeste a Este, factores relevante para los estudios agrícolas realizados en la zona. En la Figura 20 se puede ver un mapa de la IX región con sus zonas agroecológicas.

Lonquimay (en verde en la Figura) está presente en el cordón cordillerano del país, el cual se caracteriza por sus bajas temperaturas durante el año y poca vegetación verde excepto en la época de medio verano. Por otro lado, Los Sauces (en rosado en la Figura) se encuentra en gran parte dentro del Secano Interior, sector con poco montañoso con suficientes planicies para desarrollar cultivos de cereales.

• Caracterización Uso de suelo

En la Figura 21 y Figura 22 se puede apreciar el uso de suelo de ambas comunas según el Censo 2007. Se ha de considerar que Lonquimay posee una superficie total de 3.914 km² (391.400 ha), mientras que Los Sauces posee una superficie de 850 km² (85.000 ha)

Es posible identificar que en la comuna de Lonquimay es alta la presencia de bosques y praderas, seguido de lejos por la presencia de matorrales, La comuna de Los Sauces predominan las cubiertas de bosques (plantaciones forestales y bosque nativo) por sobre todas las otras. En segundo lugar, se encuentran las praderas (mejoradas y naturales) y en un lejano tercer lugar los cultivos (anuales y permanentes).

Por ende, éstas son las cubiertas principales que se buscarán en la clasificación. Como cubiertas secundarias se identificarán las demás ya que presentan en conjunto un porcentaje importante (13,8% y 13,6% respectivamente) pero por sí solas serian difíciles de identificar ya que ninguna sobrepasa el 10% de la superficie.

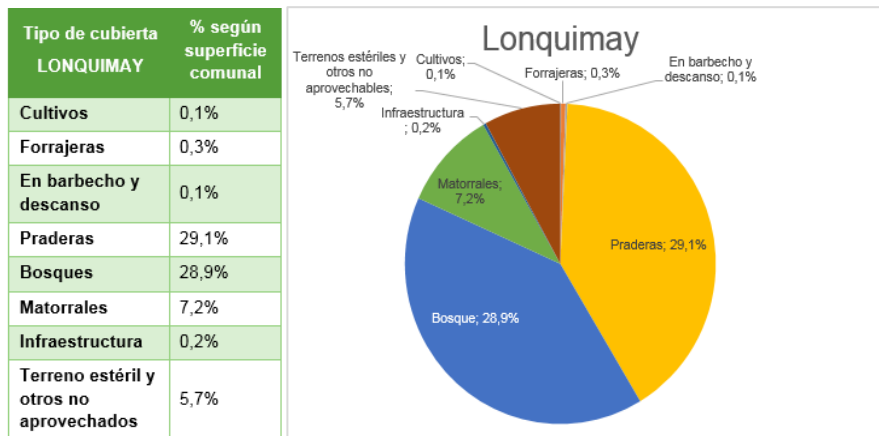


Figura 21: Uso de suelo 2007 para Lonquimay
(Fuente: Elaboración propia según el Censo Agropecuario 2007)

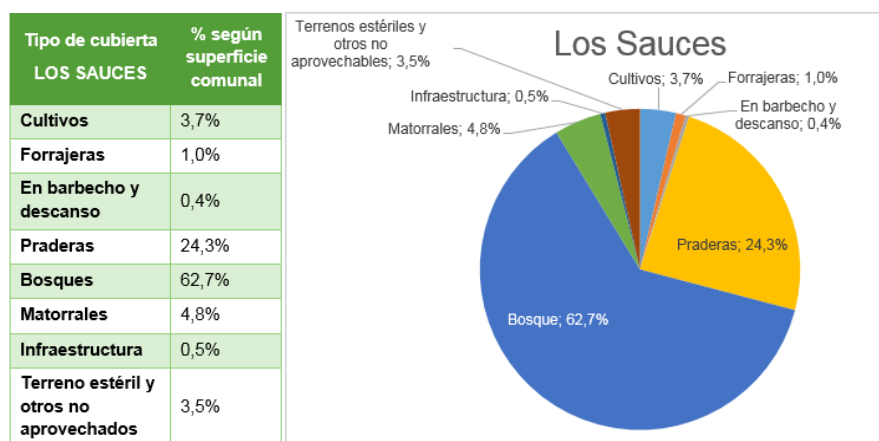


Figura 22: Uso de suelo 2007 para Los Sauces
(Fuente: Elaboración propia según el Censo Agropecuario 2007)

5.3.3 Preparación de los Datos

- Puntos en terreno

- Cubiertas objetivos

Considerando las cubiertas identificadas en la sección anterior, se buscará identificar tanto para Lonquimay como para Los Sauces las siguientes cubiertas:

1. Bosque
2. Cultivo
3. Hidrografía
4. Matorral
5. Pradera
6. Red Vial
7. Suelo Desnudo
8. Zona Urbana

- **Creación base de datos de puntos conocidos**

Cada una de las cubiertas representa un desafío para ser identificado, considerando que se deben tener suficientes puntos para realizar la clasificación.

- Hidrografía, Red Vial y Zona Urbana

Las cubiertas que presentan menos cambios en el tiempo son las de Hidrografía, Red Vial y Zona Urbana. Las capas vectoriales correspondientes se crean con los archivos facilitados por el profesor Christoph Albers en la siguiente dirección web: http://www.rulamahue.cl/mapoteca/fichas/chile_utm19/ficha09utm19.html, cuya última modificación fue en abril 2016. Para Hidrografía se unen las capas de Ríos y Esteros y Lagos, mientras que para Red Vial se utiliza la capa *Rutas* y para Zona Urbana la capa del mismo nombre. A continuación cada uno se recorta y se crean archivos diferentes para cada comuna.

- Bosque, Matorral, Suelo Desnudo

La mejor fuente de información para este tipo de cubiertas corresponde al *Catastro de uso de suelo y vegetación* realizado por CONAF en el año 2013. Éste corresponde a una actualización de las cubiertas obtenidas con el Censo 2007. El archivo original contiene toda la información del país por regiones, por lo que sólo se necesita la carpeta correspondiente a la IX región. Luego es necesario recortar para ambas comunas en estudio y se procede a agrupar categorías para crear las capas. Por ejemplo, en el caso de Lonquimay se agregaron los datos de *Bosque Nativo Adulto*, *Achaparrado* y *Renoval*, mientras que para Los Sauces se utilizaron las categorías de *Plantación*, *Plantación joven* y *Renoval*. El detalle del análisis realizado para determinar qué categorías son más relevantes que otras se encuentra en el Anexo XVIII, sección 2).

- Cultivo, Pradera

Como se menciona en la sección 5.3.2, estas capas se crean con a los datos facilitados por las Municipalidades, SAG e INDAP de las comunas. El procedimiento para crear los polígonos útiles se detalla en Anexo XVIII, sección 2).

Como resultado de esto, se obtiene que la base de datos de puntos conocidos cubre el porcentaje de la comuna mostrado en la Tabla 6.

Tabla 6: Porcentaje cubierto con puntos conocidos en terreno

	Lonquimay	Los Sauces
Datos octubre 2016 (Hidrografía, Red Vial y Zona Urbana)	1,25%	1,02%
Datos 2013 (Bosque, Matorral y Suelo Desnudo, Cultivo Lonquimay)	87,72%	83,63%
Datos noviembre 2015 (Cultivo Los Sauces, Pradera)	0,04%	0,33%
Total (% de la superficie de la comuna identificada)	89,02%	85,06%

Los puntos conocidos más relevantes son los del 2015, en especial en el caso de los Cultivos y las Praderas, ya que éstos fueron preguntados en terreno. Sin embargo, no se tenía información de cultivos en la comuna de Lonquimay, por lo que se utilizó información de CONAF para crear esa capa.

- **De polígonos a puntos**

Una vez que se tienen todas las capas vectoriales de polígonos (se requieren en total 16 capas, siendo 8 por cada comuna) se procede a pasar la información a puntos, considerando que 1 pixel para las imágenes Landsat es 30x30 m². Esto se puede procesar rápidamente con un módulo de Python, especificando el tamaño del pixel deseado.

- **Identificar puntos en un mismo pixel**

Las capas de puntos obtenidos no son perfectas, y muchas veces la información se traslapa. Por ejemplo, si por un bosque pasa un río, para un mismo pixel puede haber más de 1 categoría asociada (en este caso, bosque e hidrografía).

Para evitar esto se le da a cada punto un buffer de 30 m y luego se intersectan cada una de las capas, manteniendo los puntos más nuevos y seguros por sobre los antiguos (el detalle de las reglas para la selección se presenta en el Anexo XVIII, sección 2)).

- **Datos de entrenamiento y validación**

Ya que se realizará una clasificación, se necesitarán puntos tanto para el entrenamiento del modelo como para la validación de éste. Para ello se utiliza los módulos del software QGIS 2.14 que permiten seleccionar de manera aleatoria un porcentaje de puntos y crear una capa nueva, quitándolos de la capa original.

Como se mencionó anteriormente, cada capa vectorial de puntos conocidos se divide en un 80% para el entrenamiento y 20% para validación.

- *Imágenes satelitales*

- **Ubicación comunas de interés**

Para obtener las imágenes de la IX región es necesario identificar cuáles son las coordenadas Path/Row (Órbita/punto) de la zona que se desea estudiar. Se utilizó la aplicación de la página web <http://glovis.usgs.gov/> que para identificar que los Path/Row de interés (de Oeste a Este y de Norte a Sur). En particular, la comuna de Lonquimay se ubica en el 232/087, y la comuna de Los Sauces en el 233/086²⁹.

- **Selección de fechas de interés**

Se determinó que se utilizarán imágenes satelitales desde enero 2015 a diciembre 2016 de acuerdo a la información de terreno que se tiene y la duración del proyecto de tesis.

- **Descarga de imágenes**

La descarga oficial de las imágenes Landsat se hace a través de la página web de la USGS destinada para ello: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Si bien esta plataforma es útil para identificar otros productos interesantes de los satélites de la organización, no es muy simple de navegar. Además, considerando la cantidad de imágenes que se desea descargar, se prefirió usar un código Python que realiza consultas a la página web y descarga las imágenes del satélite seleccionado para el periodo elegido³⁰.

En total para el proyecto de tesis se utilizan 182 imágenes satelitales desde enero 2015 a diciembre 2016, distribuidas equitativamente para cada comuna como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7: Distribución imágenes satelitales obtenidas

	Lonquimay	Los Sauces	Total
2015	23 imágenes LC8 23 imágenes LE7	23 imágenes LC8 23 imágenes LE7	91 imágenes
2016	23 imágenes LC8 22 imágenes LE7	22 imágenes LC8 23 imágenes LE7	91 imágenes
Total	91 imágenes	91 imágenes	

Desde este punto en adelante, se utiliza el código Python creado para el proyecto de tesis para el pre procesamiento de las imágenes. El código comienza recogiendo los archivos de imágenes en bruto descargados y continúa funcionando hacia adelante. El detalle de los códigos y cómo funcionan se puede ver en el Anexo XVIII, sección 3).

²⁹ El mapa en detalle de los Path/Row de la zona puede verse en el Anexo XVI.

³⁰ El código, creado por Olivier Hagolle, puede descargarse en <https://github.com/olivierhagolle/LANDSAT-Download>. Los pasos a seguir para realizar las descargas se explican en el Anexo XVIII, sección 1).

- **Descomprimir archivos de imágenes**

Las imágenes se descargan en archivos comprimidos .tgz, los cuales son descomprimidos por el código. Dependiente del satélite, cada paquete .tgz trae los archivos mostrados en la Tabla 5 (página 43).

- **Tratamiento LE7**

Como se ha mencionado, las imágenes LE7 requieren de una corrección para ser utilizadas. Para ello el código identifica que la imagen a trabajar es de este tipo y entra a la carpeta correspondiente *gap_mask* y descomprime los archivos de corrección de cada banda.

Luego utiliza un módulo de Python para rellenar la *no data*, tomando el archivo de la banda original y el archivo de corrección de la banda. El archivo resultante se llama igual que el archivo de banda original, y lo sobrescribe para ahorrar espacio. Por la misma razón, tras finalizar la corrección de todas las bandas, el código borra la carpeta *gap_mask*.

- **Porcentaje de nubes y nieve**

Una vez que se tiene acceso a los archivos de las bandas espectrales – o a los archivos corregidos en el caso de LE7 – se procede a determinar la utilidad de la imagen. Para ello se debe mirar el porcentaje de nubes y nieve de la imagen.

Como muestra la Figura 23, un archivo original abarca mucha más superficie que las comunas en estudio (en el caso de Los Sauces, ocurre el mismo problema para el PathRow 233086).

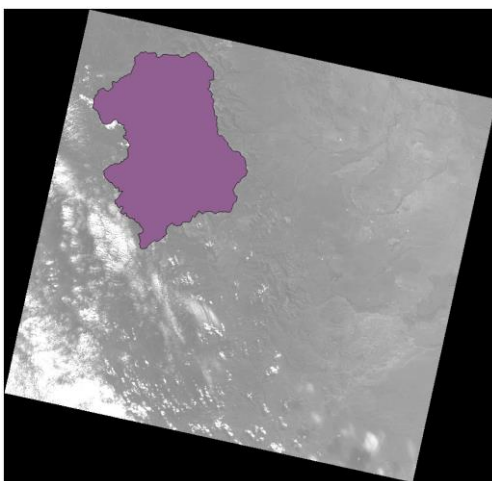


Figura 23: Comuna de Lonquimay sobre imagen original de Path/Row 232087

Debido a esto, el código en esta etapa lo primero que hace es apilar las bandas multiespectrales útiles en un solo archivo .TIFF y en otro archivos las bandas térmicas, como se señaló en la columna *Nubes y Nieve* de la Tabla 5 (página 43). En este procedimiento no se utilizan las bandas pancromáticas.

En la misma carpeta donde descomprime los archivos originales se crea una carpeta llamada *CloudAndSnow* donde se guardan estos nuevos archivos. Utilizando ambos

archivos y el módulo Fmask de Python (Zhu et al., 2015; Zhu & Woodcock, 2012) se identifican las nubes, sombra de nubes y nieve., creando un nuevo archivo *cloud.TIFF*.

Este archivo ráster luego es recortado con la forma (y coordenadas) de la comuna correspondiente y se convierte a un archivo tipo vector para poder calcular la superficie total de nubes, sombra y nieve respecto a la superficie total de la comuna.

Este porcentaje se guarda como una variable y se determina si es mayor o menor a 20%. Si es mayor, se registra en un archivo de texto que el porcentaje está fuera de los parámetros normales, se registra el número y se termina el procesamiento, es decir, no se realiza la clasificación.

Por otro lado, si el porcentaje es menor a 20%, también se crea el registro pero se especifica que está dentro de los parámetros normales, se registra el número y se continúa con el código con normalidad.

- **Recortar la comuna**

Si el porcentaje de la imagen según las coordenadas de la comuna es menor al 20%, el código crea una nueva carpeta y recorta las bandas señaladas en la Tabla 5 en la columna *Clasificación* para poder ser luego utilizadas.

La actividad de clasificación se realizará con esas bandas recortadas (ya no se utilizan los archivos creados para determinar el porcentaje de nubes y nieve). El proceso a continuación se detallará en la etapa de Modelado más adelante.

- **Fecha juliana a gregoriana**

Para crear un archivo final con un nombre más sencillo de interpretar, el código recupera la fecha juliana de la imagen y la transforma a gregoriana. Esta información se guarda para el momento en que se creen los archivos finales.

5.3.4 Modelado

En la totalidad del proyecto de tesis se han probado diferentes algoritmos de clasificación y segmentación de cubiertas para imágenes satelitales con la base de puntos conocidos obtenida. Como se mencionó en la sección 2.2.6, se seleccionó el algoritmo Random Forest para realizar las clasificaciones por limitaciones de capacidad computacional y por la automatización del código. Considerando el gran impulso que ha tenido Python en el procesamiento de datos geoespaciales, se opta por utilizar sus librerías para clasificar con Random Forest.

El código original se obtuvo de un ejemplo publicado en el blog online de *Machinalis*, compañía de software argentina especializada en *data mining* y *machine learning*. El código (creado por Carlos De La Torre³¹) utiliza la librería *open source* de *machine learning* scikit-

³¹ <http://www.machinalis.com/blog/python-for-geospatial-data-processing/> [consultado el 28/12/2016]

learn, la cual contiene módulos de clusterización, regresión y clasificación. Entre ellos se encuentra el algoritmo de Random Forest utilizado para este proyecto.

Como se mencionó anteriormente, el proyecto utilizó el 80% de los puntos conocidos para realizar entrenamiento del modelo y 20% de ellos para la validación.

Considerando además que se creará un archivo de imagen .png para la previsualización de la clasificación obtenida, se creó un archivo de mapa de color (.clr) para etiquetar con colores las distintas cubiertas buscadas. El tipo de archivo creado se muestra en Tabla 7.

Tabla 8: Capa de colores para la previsualización de la clasificación

ID	Categoría	R	G	B
0	NoData	255	255	255
1	Bosque	166	226	166
2	Cultivo	220	152	051
3	Hidrografía	116	155	213
4	Matorral	027	141	027
5	Pradera	192	209	042
6	Red Vial	178	179	162
7	Suelo Desnudo	202	188	132
8	Zona Urbana	039	215	235
9	Extra	000	000	255

Nótese que los colores de la Tabla 7 corresponden al código RGB descrito. En el caso del ID 0, la combinación da color blanco. El ID 9 fue creado para que en caso de algún error en la clasificación, éste lo colorea de azul para poder identificarlo rápidamente.

Esta etapa el código clasifica según un algoritmo Random Forest con $n_{tree} = 100$ y $M = \sqrt{8} \approx 3$. Se crean 3 archivos resultantes con el mismo nombre, que sigue la convención presentada en la Figura 24.

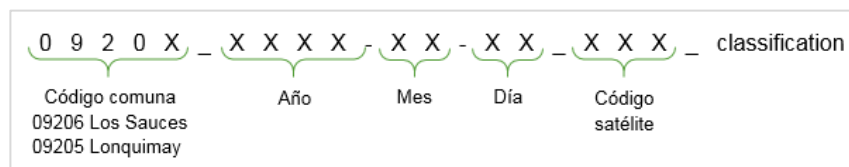


Figura 24: Convención nombre de archivos clasificados

Por ejemplo, una imagen con el nombre original LC82320872015341LGN00 al clasificarla (si el porcentaje de nubes y nieve está dentro de los parámetros) se pasaría a llamarse 09205_2015-12-07_LC8_classification.

Los archivos resultantes son:

1. Ráster de clasificación

Al abrirse este archivo en un software de Sistemas de Información Geográfica (SIG, o GIS en inglés) la imagen se presenta por lo general una banda gris, por lo que a simple vista no es posible identificar qué es qué. Sin embargo, este archivo es muy útil para quienes requieren conocer la geolocalización de los puntos. Basta clicar un espacio para que el programa arroje el ID y se pueda identificar a qué categoría de cubiertas pertenece ese punto. En la Figura 25 se puede ver un ejemplo para la clasificación de una imagen LE7 de la comuna de Los Sauces (Nubes y nieve: 0.0%).

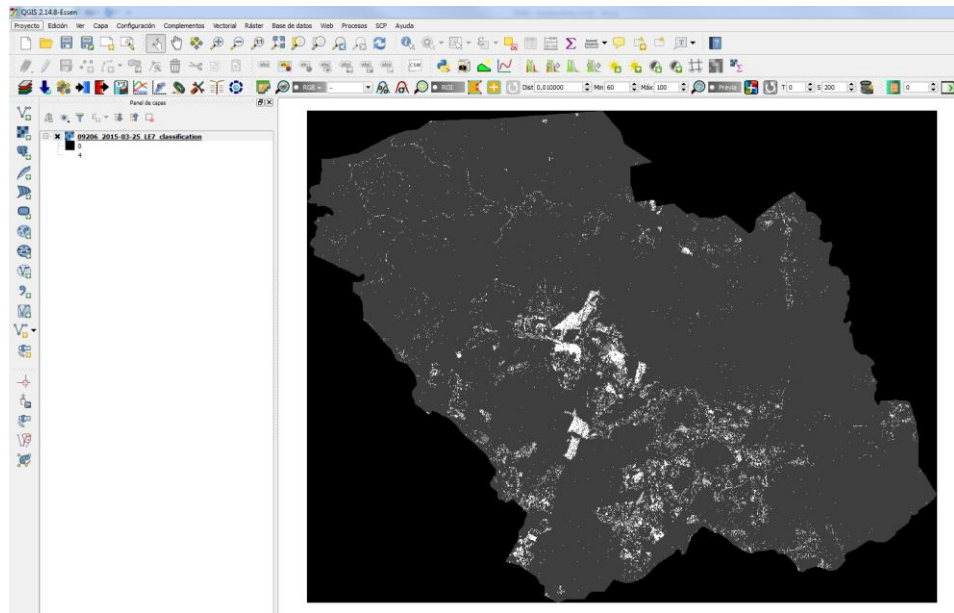


Figura 25: Ejemplo de visualización del ráster clasificado en un programa SIG

Los softwares en general también permiten colocar una máscara de colores, lo que es a gusto del investigador que revisa la imagen ráster.

2. Archivo imagen .png para previsualizar clasificación

Para un rápido entendimiento de los resultados de la clasificación se crea el archivo .png correspondiente al ráster de clasificación. En este caso, el archivo presenta los colores determinados en el mapa de colores (Tabla 8) pero no es útil para realizar un análisis geoespacial ya que no posee información de coordenadas ni de las categorías clasificadas.

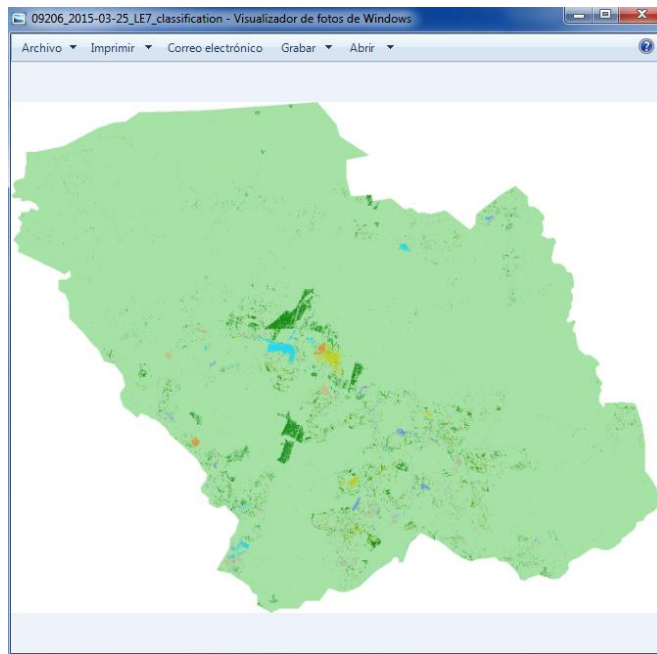


Figura 26: Ejemplo de visualización del archivo imagen .png

3. Reporte

Finalmente, el reporte contiene:

- Nombre del archivo
- Porcentaje de nubes y nieve
- Matriz de confusión
- Reporte de clasificación (*precision*, *recall*, *f1-score*, *support*)
- Accuracy

Este archivo es el que entrega por escrito los indicadores de desempeño de la clasificación, para mantener el registro del resultado obtenido. La matriz de confusión y los indicadores son generados por el mismo paquete scikit-learn, que los calcula de acuerdo a las fórmulas explicitadas en la sección 2.2.7.

```

09206_2015-03-25_LE7_classification.TIF_report - Wo...
Inicio Ver
09206_2015-03-25_LE7_classification.TIF
Cloud and Snow Percent: 0.00%

Confusion matrix:
[[109135  12  11  374  37  56  19  19]
 [  80  46  0  3  2  0  0  7]
 [  168  0  58  4  0  1  0  1]
 [ 1317  2  1 388 12 13  0  0]
 [  216  1  0  36  93  4  0  0]
 [  688  2  1  7  4 14  0  0]
 [  110  0  2  2  0  1 26  1]
 [  108  4  0  1  0  1  1 216]]

Classification report:
              precision    recall  f1-score   support

 Class Bosque      0.98      1.00      0.99    109663
 Class Cultivo     0.69      0.33      0.45      138
 Class Hidrografia 0.79      0.25      0.38      232
 Class Matorral    0.48      0.22      0.30     1733
 Class Pradera     0.63      0.27      0.37      350
 Class RedVial     0.16      0.02      0.03      716
 Class SueloDesnudo 0.57      0.18      0.28      142
 Class ZonaUrbana 0.89      0.65      0.75      331

 avg / total      0.96      0.97      0.96    113305

Classification accuracy: 0.970619
  
```

Figura 27: Ejemplo de visualización del archivo de reporte

5.3.5 Evaluación

▪ Porcentaje nubes y nieve

De las 182 imágenes disponibles entre los satélites LE7 y LC8, entre enero 2015 y diciembre 2016, sólo el 29% pudo ser clasificado. Es decir, solo 53 imágenes cumplieron con la restricción de nubes y nieve. La distribución mensual de las imágenes clasificadas se puede ver en la Tabla 9, junto con el porcentaje de nubes y nieve promedio de las imágenes útiles y su desviación estándar³².

Tabla 9: Distribución mensual de imágenes clasificadas

	Lonquimay						Los Sauces					
	2015			2016			2015			2016		
	Cant. img	Prom. %nubes	Desv. Est.	Cant. img	Prom. %nubes	Desv. Est.	Cant. img	Prom. %nubes	Desv. Est.	Cant. img	Prom. %nubes	Desv. Est.
Enero	4	2,34%	1,63%	1	4,43%	-	3	0,12%	0,04%	2	6,20%	8,65%
Febrero	3	0,52%	0,29%	3	4,42%	6,11%	2	0,21%	0,05%	2	0,88%	0,83%
Marzo	4	5,63%	8,03%	3	0,31%	0,01%	2	0,06%	0,08%	2	0,42%	0,06%
Abril	2	3,26%	3,85%	1	2,21%	-	1	10,17%	-	1	16,61%	-
Mayo	0	-	-	0	-	-	0	-	-	0	-	-
Junio	0	-	-	2	12,60%	1,45%	0	-	-	0	-	-
Julio	0	-	-	0	-	-	0	-	-	0	-	-
Agosto	0	-	-	0	-	-	1	5,03%	-	0	-	-
Septiembre	0	-	-	0	-	-	0	-	-	2	3,41%	4,46%
Octubre	0	-	-	0	-	-	1	0,15%	-	1	0,19%	-
Noviembre	0	-	-	1	12,99%	-	2	5,92%	7,54%	1	0,00%	-
Diciembre	3	9,03%	8,38%	0	-	-	2	0,79%	1,04%	1	0,00%	-
Total	16			11			14			12		

El máximo de imágenes disponible para cada mes es de 4 imágenes, excepto algunos meses donde – por el desfase de los 16 días de resolución temporal –, el máximo es sólo 3 imágenes. Esto se representa en los colores de la Tabla 9. Los meses particulares son:

- Lonquimay:
 - Febrero 2015
 - Julio 2015
 - Enero 2016
 - Junio 2016
- Los Sauces:
 - Febrero 2015
 - Agosto 2015
 - Febrero 2016
 - Junio 2016

Los resultados de la Tabla 9 dejan entrever que para cada año las clasificaciones pueden ser realizadas a fines de primavera y durante verano, siendo imposible por la cantidad de nubes (y nieve, pero principalmente por nubes) realizar clasificaciones el resto del año (de acuerdo al límite de 20% establecido).

³² El análisis no se realizó por satélite ya que para este caso sólo influye en la fecha de captura de la imagen y no en el porcentaje de nubes y nieve que ésta presenta.

Para Lonquimay, los meses de información son diciembre, enero, febrero, marzo y abril, los cuales presentan un bajo porcentaje de nubes y nieve – alrededor de 3,66% por temporada. El resto del año el porcentaje de nubes y nieve sobrepasa el 20% de superficie. Si bien hay otros meses como junio y noviembre que sí se encuentran dentro de los parámetros, éstos no presentan una continuidad temporal, por lo que se consideran poco relevantes para el estudio.

En el caso de Los Sauces, la temporada de baja nubosidad comienza en octubre y contiene los meses de noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo y abril, meses que presentan bajo porcentaje de nubes y nieve – alrededor de 2,45% por temporada. El resto del año el porcentaje de nubes promedio mensual sobrepasa ese valor, por lo que también se consideran poco relevantes para el estudio.

La diferencia de temporadas para cada comuna se explica por su posición geográfica y zonas agroecológicas (sección 5.3.2). Dado que Lonquimay se encuentra en la Cordillera de Los Andes, presenta problemas de nieve que no se encuentran en Los Sauces, además de mayor nubosidad durante la época de primavera.

En conclusión, del porcentaje de nubes y nieve estudiado se puede extraer que el clasificador creado para el proyecto de tesis sería útil para apoyar la toma de decisiones en Emergencias Agrícolas asociadas a las temporadas mencionadas, como por ejemplo, sequías. También podrían resultar información útil para otros eventos – como incendios – y para otros usos que investigadores de INIA estimen convenientes.

- *Matrices de confusión*

Para este análisis se comparó cada imagen con las demás de la comuna. Al mirar las matrices de confusión promedio para cada comuna en la Tabla 10 y Tabla 11, es posible sacar conclusiones respecto a la calidad de las cubiertas clasificadas. Tanto para el caso de Lonquimay y Los Sauces para la clasificación en ambas comunas es posible ver que el clasificador tiende a etiquetar los píxeles en Bosque y Matorral, los cuales representan la mayoría de los puntos conocidos (*support*).

- **Lonquimay**

Tabla 10: Matriz de confusión promediada. Lonquimay

	Bosque	Cult.	Hidro.	Mato.	Prad.	Rvial	SDesn.	Z.Urb.	Support
Bosque	84,5%	0,1%	0,5%	14,3%	0,0%	0,0%	0,6%	0,0%	420.929
Cultivo	27,9%	16,5%	0,3%	54,1%	0,1%	0,2%	0,9%	0,1%	8.189
Hidrografía	33,4%	0,6%	35,1%	28,5%	0,0%	0,1%	2,3%	0,0%	14.139
Matorral	21,1%	0,3%	0,1%	75,6%	0,0%	0,1%	2,8%	0,0%	305.509
Pradera	27,6%	13,9%	0,2%	54,0%	3,8%	0,2%	0,3%	0,0%	412
RedVial	33,2%	0,7%	0,3%	59,1%	0,0%	1,2%	5,4%	0,1%	6.730
SueloDesnudo	13,7%	0,1%	0,1%	36,3%	0,0%	0,1%	49,7%	0,0%	53.405
ZonaUrbana	14,5%	1,4%	0,1%	33,9%	0,0%	0,5%	17,3%	32,3%	278
Total									809.591

Existe una gran cantidad de pixeles etiquetados originalmente como Bosque (52%), Matorral (37,7%) y Suelo Desnudo (6,6%), mientras que el resto de las categorías por sí solas no sobrepasan el 3% del total de datos de la comuna.

El clasificador etiqueta bien las categorías de Bosque (84,5% de aciertos) y Matorral (75,6% de aciertos), y en menor medida las de Suelo Desnudo (49,7% de aciertos), Hidrografía (35,1% de aciertos). Las demás categorías; Cultivo, Pradera, Red Vial y Zona Urbana las suele confundir con Matorral (54,1%, 54%, 59,1% y 33,9% respectivamente).

- **Los Sauces**

Tabla 11: Matriz de confusión promediada. Los Sauces

	Bosque	Cult.	Hidro.	Mato.	Prad.	Rvial	SDesn.	Z.Urb.	Support
Bosque	96,1%	0,0%	0,2%	3,4%	0,0%	0,2%	0,0%	0,0%	120.890
Cultivo	48,6%	17,9%	0,5%	28,6%	0,1%	2,4%	0,0%	1,9%	236
Hidrografía	74,5%	0,1%	4,2%	19,3%	0,1%	1,8%	0,0%	0,1%	888
Matorral	49,4%	0,0%	0,1%	49,6%	0,1%	0,7%	0,0%	0,1%	17.489
Pradera	34,7%	0,2%	0,4%	45,2%	15,1%	4,3%	0,0%	0,1%	344
RedVial	73,5%	0,1%	0,2%	20,4%	0,2%	5,4%	0,1%	0,2%	3.805
SueloDesnudo	47,3%	0,2%	0,0%	6,1%	0,1%	8,0%	30,9%	7,4%	107
ZonaUrbana	25,1%	0,8%	0,1%	7,9%	0,0%	3,2%	0,3%	62,6%	331
Total									144.090

Para el caso de Los Sauces, la mayoría de los pixeles conocidos corresponden a Bosque (83,9%) y en menor medida a Matorral (12,1%), mientras que el resto de las categorías por sí solas no sobrepasan el 3% del total de datos de la comuna.

El clasificador por tanto tiende a etiquetar menos casos en Matorral y más en Bosque, a diferencia de Lonquimay, debido a la densidad de tales puntos. Bosque es correctamente etiquetado casi en todos los casos (96,1% de aciertos), y en menor medida Zona Urbana (62,6%), Matorral (49,6% de aciertos) y Pradera (45,2% de aciertos). Las demás categorías; Cultivo, Hidrografía, Red Vial y Suelo Desnudo suelen confundirse con Bosque (48,6%, 74,5%, 73,5% y 47,3% respectivamente).

- *Indicadores de desempeño*

Para este análisis se comparó cada imagen con las demás de la comuna, debido a que se busca comparar la disimilitud de los indicadores de desempeño y no las categorías clasificadas. La Tabla 12 resume el promedio de los indicadores de desempeño de las clasificaciones (según los reportes de cada una de las clasificaciones) mencionados en la sección 2.2.7 y su desviación estándar.

Tabla 12: Resumen indicadores de desempeño de las clasificaciones

	Accuracy	Desv. Estándar	Precision	Desv. Estándar	Recall	Desv. Estándar	F1-score	Desv. Estándar
Lonquimay	0,765	0,041	0,756	0,043	0,765	0,351	0,757	0,042
Los Sauces	0,870	0,011	0,848	0,016	0,870	0,010	0,853	0,011

Como puede verse, los indicadores por comuna presentan en promedio similar magnitud, apreciable por la baja desviación estándar de cada uno. Dado que el *accuracy* es el indicador más global, el primer análisis se hará en relación a él.

Para Lonquimay el *accuracy* promedio es de 0,765 el cual es similar para todos los casos (22) clasificados excepto para 2 fechas: 13/01/2015 y 24/06/2016, donde el indicador tiene un valor de 0,59 y 0,69 respectivamente.

La clasificación de Los Sauces entrega mejores indicadores que la otra comuna. Con un *accuracy* promedio de 0,87 todas las clasificaciones de esta comuna entregan resultados parecidos (considerando que la desviación estándar es pequeña: 0,01) lo que implica que a pesar de la diferencia temporal, el clasificador se comporta adecuadamente.

Sin embargo, considerando las matrices de confusión, es posible ver que los buenos resultados de la clasificación de Bosque (y Matorral en el caso de Lonquimay) esconden los malos resultados de las demás categorías. Por esto, para entender el desempeño del clasificador es necesario mirar los demás indicadores por categoría, los cuales se resumen en la Tabla 13 y Tabla 14 según el promedio de las clasificaciones de las comunas.

Tabla 13: Indicadores de desempeño por categorías. Lonquimay

Lonquimay	Precision	Recall	F1-score	Support
Bosque	0,81	0,84	0,83	420.929
Matorral	0,71	0,76	0,73	305.509
SueloDesnudo	0,69	0,50	0,58	53.405
Hidrografía	0,66	0,35	0,46	14.139
ZonaUrbana	0,67	0,32	0,43	278
Cultivo	0,48	0,16	0,24	8.189
Pradera	0,41	0,04	0,07	412
RedVial	0,23	0,01	0,02	6.730
Promedio / Total	0,76	0,77	0,76	809.591

Tabla 14: Indicadores de desempeño por categorías. Los Sauces

Los Sauces	Precision	Recall	F1-score	Support
Bosque	0,90	0,96	0,93	120.890
ZonaUrbana	0,83	0,63	0,71	331
Matorral	0,62	0,50	0,55	17.489
SueloDesnudo	0,66	0,31	0,42	107
Cultivo	0,65	0,18	0,28	236
Pradera	0,57	0,15	0,24	344
RedVial	0,36	0,06	0,09	3.805
Hidrografía	0,13	0,04	0,06	888
Promedio / Total	0,85	0,87	0,85	144.090

Se analiza el F1-score de cada categoría por comuna, ya que como se mencionó en la sección 2.2.7 corresponde al promedio ponderado entre *precisión* y *recall*.

La conclusión tanto de las matrices de confusión como de los indicadores de desempeño, apunta que el clasificador no es estable, ya que en general su rendimiento depende de la comuna en la que clasifica. Los resultados en Bosque y Matorral se ven fuertemente influenciados por la densidad de puntos conocidos respecto a las demás categorías, lo que tiene su origen en las capas vectoriales originales utilizadas, pertenecientes a CONAF.

Las demás categorías poseen poca representación en la base de puntos conocidos, lo que las hace difíciles de identificar, especialmente las que ocupan poca superficie y atraviesan grandes extensiones de otras cubiertas, como Hidrografía y Red Vial. Para mejorar los resultados de la clasificación utilizada (Random Forest) sería necesario desagregar estas categorías en distintos tipos de Bosque y Matorral y/o aumentar la cantidad de puntos conocidos en las categorías de interés.

El modelo necesita considerar la identificación de las especies que se pueden reconocer (y que son interesantes para INIA) y bajo qué restricciones (superficie, estado de desarrollo agrícola y forestal) se puede utilizar.

Cabe mencionar que a pesar de que no en todos los meses estudiados se obtuvieron clasificaciones, sí es necesario descargar imágenes todos los meses. Algunos meses de la temporada nubosa sí entregan información, la cual se vuelve particularmente valiosa para planificar cómo agregar estos meses al estudio realizado.

5.3.6 Implantación

De la sección anterior se puede concluir que el proceso propuesto se encuentra a nivel de prototipo y requiere de una etapa de validación y ajuste para su posterior implementación. Así mismo, es necesario establecer un proceso anexo que entregue a INIA una fuente continua y confiable de puntos conocidos, útiles tanto para el proceso propuesto como para otras investigaciones y proyectos.

- *Plan de mejora y validación del modelo*

- **Socios estratégicos**

Se recomienda crear una asociación con otras instituciones ministeriales que tengan mayor presencia en terreno en las comunas estudiadas, como CONAF y CIREN, de manera que puedan aportar a la validación de terreno del modelo. Estas organizaciones además son usuarios potenciales de las cubiertas detectadas, por lo que una alianza sería beneficiosa tanto para INIA como para ellas.

- **Determinación áreas de recolección de datos y entrenamiento**

Se sugiere hacer una reevaluación por localización de cuáles son las especies de interés para las partes involucradas y el nivel de desagregación requerido. También es necesario identificar si existen factores que influyan en la confusión del clasificador, como puede ser el estado de desarrollo de las especies vegetales. Por ende, se debe establecer cuáles serían los parámetros básicos de cada categoría y tener información que permita contrastar los resultados con la realidad del terreno estudiado.

Como parte de una campaña en terreno se recomienda fuertemente identificar áreas representativas para cada una de las categorías seleccionadas, de manera de facilitar su discriminación en las imágenes. Las áreas deben ser verificadas por personas en terreno y registradas en la base de puntos conocidos, de manera que el proceso pueda reconocer los patrones espectrales de las categorías. Para la selección de áreas se considerará por tanto las posibles diferencias de comportamiento para un mismo tipo vegetal en distintas áreas, y además que la especie sea dominante en la zona seleccionada tal que abarque una superficie de tamaño relevante.

- **Validación**

La obtención de mejores puntos conocidos permitiría una correcta validación del modelo al seguir el método hold-out explicado en la sección 5.3.3.

Una vez aprobada el modelo de clasificación y el proceso de detección de cubiertas se espera pasar de un prototipo a un proyecto más consolidado que pueda ser implementado en INIA con otras localizaciones de interés y utilizado para las investigaciones respectivas.

A continuación se explica el plan de implementación del proyecto. Si bien está pensado para INIA, la implementación de este sistema requiere de equipos multidisciplinarios de distintas instituciones con competencia en las distintas categorías de uso del suelo para pensar en una implementación a nivel nacional.

- *Plan de Implementación*

- **Justificación**

Considerando que el proyecto tendrá una fuerte influencia en el Boletín Agrometeorológico, el desarrollo del plan de implementación se enfoca en cómo se espera que la clasificación de imágenes satelitales sea incorporado a éste no como una sección nueva, sino como complemento potenciador de la información ya entregada.

Las cubiertas de suelo identificadas son relevante para poder ligar la información de los índices NDVI y VCI con la vista en terreno en la sección de *Análisis de posibles riesgos agroclimáticos principales especies de frutales y cultivos* del Boletín Agrometeorológico, posibilitando la generación de sinergia de información y mejorando la calidad y utilidad de ésta.

- **Mensaje**

El mensaje que se debe entregar a los interesados en el proyecto es que éste permitirá tener información actualizada de la cobertura de suelo para determinar los tipos de cultivos en las zonas de riesgo estudiadas por los índices mencionados.

En la Figura 28 se presenta un ejemplo de la información NDVI que se entrega actualmente. Las zonas más verdes indican sectores con abundante vegetación (valores cercanos a +1) mientras que las zonas rojas representan zonas cada vez más desérticas (valores cercanos a 0). El proyecto permitirá situar geográficamente el tipo de cultivo que se encuentra en un punto del de ese mapa.

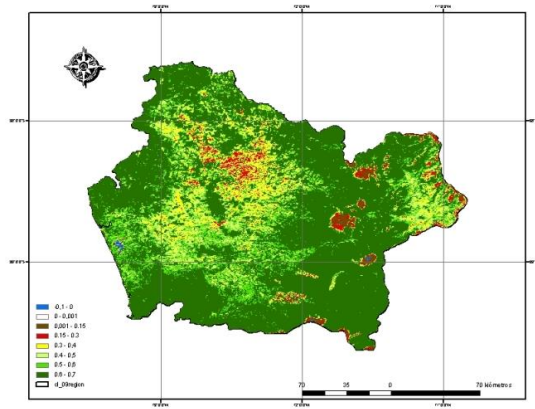


Figura 28: Mapa NDVI Región de la Araucanía, 2da quincena de marzo 2008

- **Plan de Recursos Humanos**

A continuación se mencionarán los roles y responsabilidades necesarias para llevar este plan a cabo.

- Jefe de Proyecto, quien será responsable de que el proyecto se implemente de forma adecuada en INIA
- Desarrollador, será responsable de crear los algoritmos necesarios para realizar el procesamiento de datos y clasificación de imágenes satelitales
- Implementador, es quien implementará correctamente la solución y se responsabilizará por su disponibilidad en línea para todos los actores interesados.
- Capacitadores, quienes guiarán a los investigadores de INIA a través del uso del producto del proyecto, enseñándoles a cómo utilizar la herramienta.

- *Plan de Acción*

- **Presentación y capacitación en el uso del proceso al equipo de Agrometeorología y Manejo de Riesgo Climático de INIA, quienes generan la información incluida en el Boletín Agrometeorológico.**

Dado que el proceso está diseñado para complementar el trabajo con las imágenes satelitales utilizadas en los trabajos de monitoreo, esta contribución permitirá mejorar la calidad del producto final que se entregará para la elaboración del Boletín Agrometeorológico. .

- **Incorporar el algoritmo en los servidores de trabajo de INIA**

Ejecutada la capacitación se procederá a incorporar el proceso en los servidores para que esté disponible a todo profesional que desee hacer uso de esta herramienta. Para ello se tomará como base la plataforma ya existente que presenta los resultados NDVI obtenidos, tal como muestra en la Figura 29 y será el equipo de Agrometeorología y Manejo de Riesgo climático quien capacite a los nuevos usuarios.

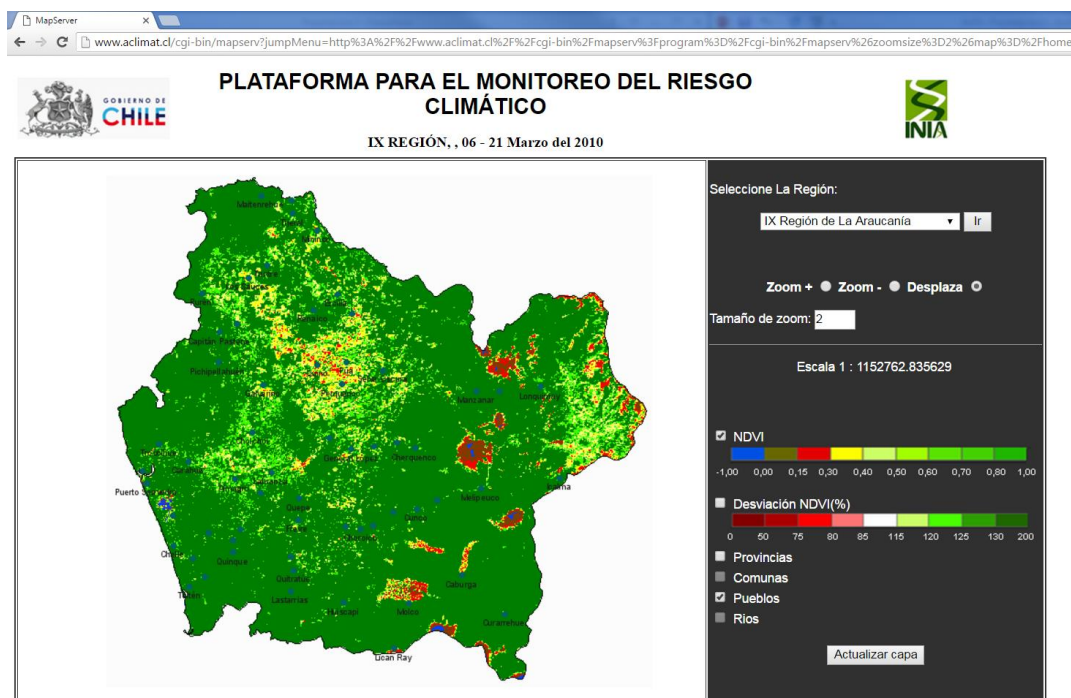


Figura 29: Plataforma de presentación mapas NDVI

▪ Plan de Operación

Para realizar detección de cubiertas se requiere diseñar un sistema de monitoreo que depende de un modelo matemático que clasifica imágenes satelitales según información de puntos en terreno. La lógica y arquitectura necesarias para ello se revisa en las secciones 5.2 y 6.2 respectivamente.

• Plan de Recursos Humanos

A continuación se explican los roles necesarios para la operación del proyecto. Nótese que si bien existen meses sin clasificación, de todas maneras las imágenes deben ser descargadas y clasificadas.

- Recolectar de Datos, encargado de obtener la información de puntos de control de terreno en sectores específicos. Esta responsabilidad es compartida por transferencistas en terreno de INIA, quienes están a cargo de monitorear a agricultores específicos de la zona³³.
- Gestor del servidor, quien velará porque los modelos de clasificación desarrollados estén dentro del margen de error preestablecido.
- Administrador del servidor, quien verá la mantención del servidor para asegurar que su funcionamiento permita la descarga y procesamiento de las imágenes. Se sugiere que la

³³ En INIA la recolección se realiza en algunas zonas. Un proyecto paralelo a éste se está ocupando de entregar herramientas y capacitación a personas en terreno para que puedan registrar información sobre el tipo de cultivo y las coordenadas geográficas de dicho punto (a través de GPS)

descarga de imágenes se realice cada 15 días para mantener la base de imágenes actualizada.

La etapa de Acceso a la Información no se desarrollará para el proyecto, ya que más allá de mantener las imágenes clasificadas, la entrega de la información quedará en manos de la institución.

CAPÍTULO 6. PROPUESTA DE APOYO TECNOLÓGICO

Las imágenes satelitales serán procesadas según lo expuesto en el capítulo anterior. Las cubiertas y reportes serán guardados en servidor de INIA, a la cual podrá acceder la aplicación propuesta.

La aplicación computacional debe ser un sistema que le permita al usuario seleccionar una fecha (entre el 2015 y 2016) y descargar los resultados disponibles.

6.1 ESPECIFICACIÓN DE REQUERIMIENTOS

6.1.1 Requerimientos Funcionales

Se requiere una aplicación computacional que permita a un usuario:

- Seleccionar una comuna de un listado de comunas disponibles
- Seleccionar una fecha, seleccionando primero el año de los años disponibles para la comuna seleccionada. El sistema debe identificar los meses disponibles para el año seleccionado. El usuario selecciona el mes de los meses disponibles. El sistema identifica los días disponibles para el año y mes seleccionados. El usuario selecciona el día de los días disponibles.
- Los resultados posibles de una imagen satelital son:
 - Ráster clasificado
 - Imagen de previsualización
 - Geotiff
- El sistema muestra una previsualización del archivo geotiff para el periodo seleccionado.
- El usuario selecciona descargar los archivos correspondientes del periodo, o puede cambiar la fecha.
- El sistema genera un enlace desde el cual el usuario podrá descargar en un archivo empaquetado .zip de la fecha y comuna seleccionada.

6.1.2 Requerimientos No Funcionales

- La interfaz debe ser de la siguiente manera:
 - Estructurada en 3 columnas.
 - La primera columna contiene un selector de comunas de acuerdo a las comunas disponibles, de tipo *radio buttons*
 - La segunda comuna contiene un selector de fechas. Se utilizan *dropdownlist* para mostrar los años, meses y días disponibles (de forma ascendente dentro de cada lista).
 - La tercera columna contiene un recuadro con la imagen de previsualización (el archivo .png).
 - Un botón gris centrado horizontalmente en la pantalla permite al usuario confirmar su deseo de descargar los archivos seleccionados.
- La aplicación debe ser dirigida a un usuario que lea y entienda español

6.2 ARQUITECTURA TECNOLÓGICA

El sector agropecuario chileno presenta muchos desafíos, en especial considerando la geografía, distintos climas y la poca urbanización de algunos sectores agrarios, impidiendo que a veces puedan utilizarse instrumentos que transmiten datos de manera inalámbrica, porque no está la infraestructura en antenas para que haya fluidez en este sentido.

Dado esto, es difícil converger datos que puedan transformarse en información útil, por lo que una de las posibles respuestas ante la problemática de tener información actualizada sobre el estado agropecuario del país es utilizar imágenes satelitales, para así reducir también la cantidad de personal que se envía a monitorear manual y personalmente a los predios.

Ante este escenario, se hace indispensable para INIA en mejorar la forma de obtener esta información, de manera de que tampoco sea muy costoso para el país, y que permita en este caso particular una mejor distribución de los bonos de emergencia asociados a estas catástrofes.

Para esto se requiere diseñar un sistema de monitoreo que depende de un modelo matemático que clasifica imágenes satelitales según información de puntos de control en terreno o segmentación.

La propuesta de arquitectura tecnológica se puede ver en la Figura 30. En primer lugar, un usuario se conecta a la plataforma web manejada por INIA, la cual a su vez está conectada con un Servidor que contiene la información de las clasificaciones ya realizadas, como capas vectoriales y reportes de los porcentajes.

Estas clasificaciones se realizan con anterioridad en un computador de INIA., el cual posee los clústers analíticos necesarios y que desarrollará las clasificaciones.

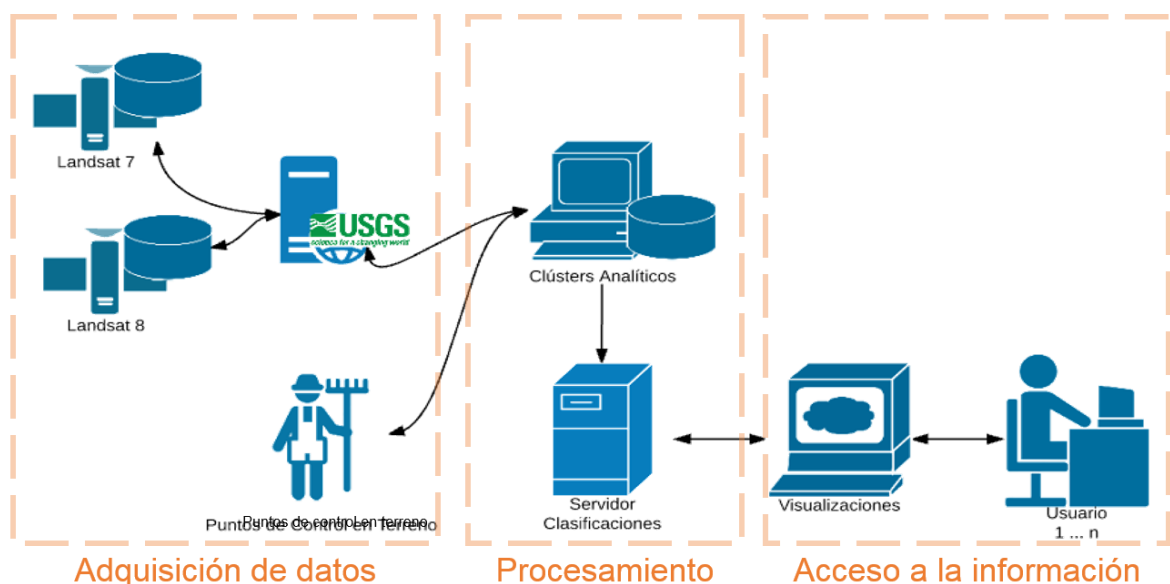


Figura 30: Arquitectura tecnológica propuesta

A su vez, este computador necesita información de puntos de control (que debiesen estar almacenadas dentro del mismo) y de imágenes satelitales, las cuales son obtenidas conectándose al servidor de la USGS, el cual almacena los datos (imágenes) de los satélites Landsat 7 y Landsat 8.

En la etapa de Procesamiento se necesitará contar con Servidor permita almacenar las clasificaciones realizadas (aproximadamente 120 MegaBytes por año), mientras que en la Adquisición de Datos, INIA no necesita poner equipos aparte, ya que los servidores y bases de datos de las imágenes son costeados por la USGS, considerando así una integración del proyecto con un sistema externo.

En cuanto a la estructura de la información, las imágenes son entregadas en paquetes estándares por la USGS. Por otro lado, los datos de puntos conocidos en terreno deben tener un tratamiento especial, el cual se detalla en Anexo XVIII, sección 2).

6.3 DISEÑO DE LA APLICACIÓN

La aplicación se puede revisar en <http://sna.dii.uchile.cl/~aperry/clasificacionSatelites/>. El pantallazo de la aplicación se muestra en la Figura 31.

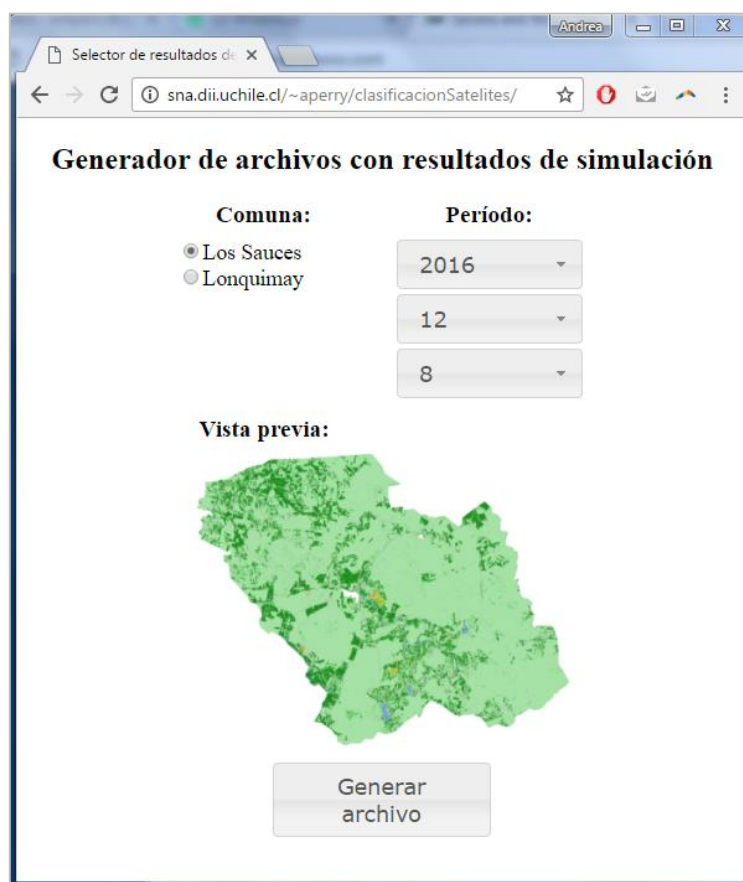


Figura 31: Diseño de la aplicación

6.3.1 Caso de Uso

En la Figura 32 existen 2 actores: el investigador y el servidor de almacenamiento de INIA, donde se encuentran guardados los resultados de todas las detecciones de cubiertas realizadas.

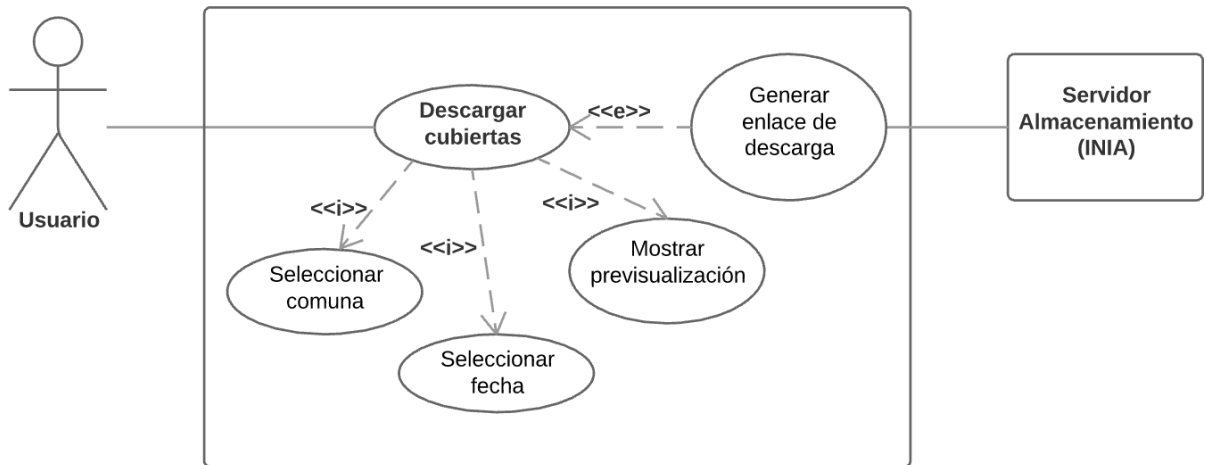


Figura 32: Caso de Uso

6.3.2 Diagramas de Secuencia

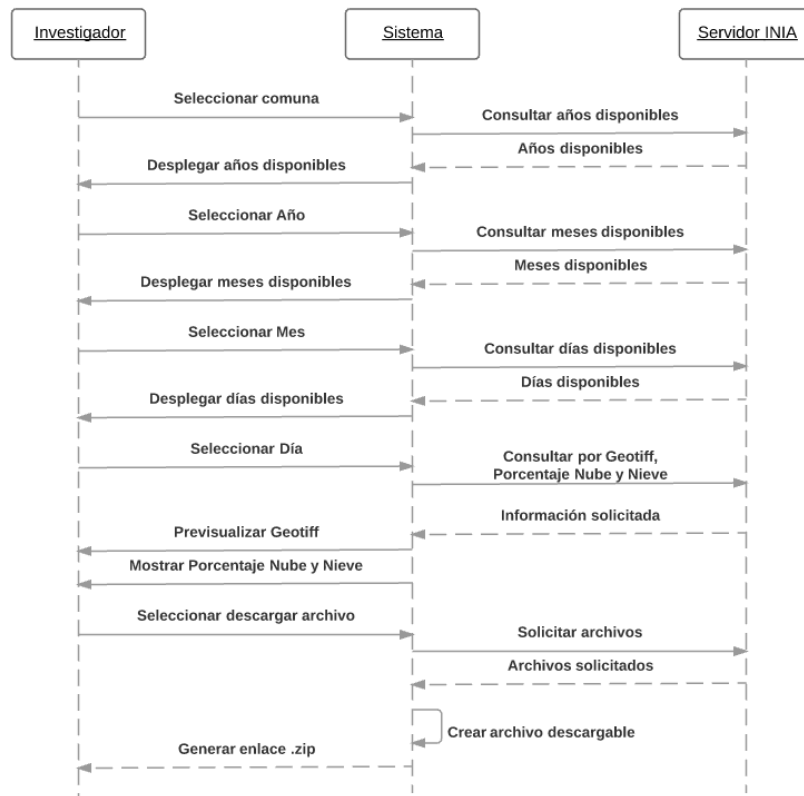


Figura 33: Diagrama de Secuencia

6.3.3 Diagramas de Clases

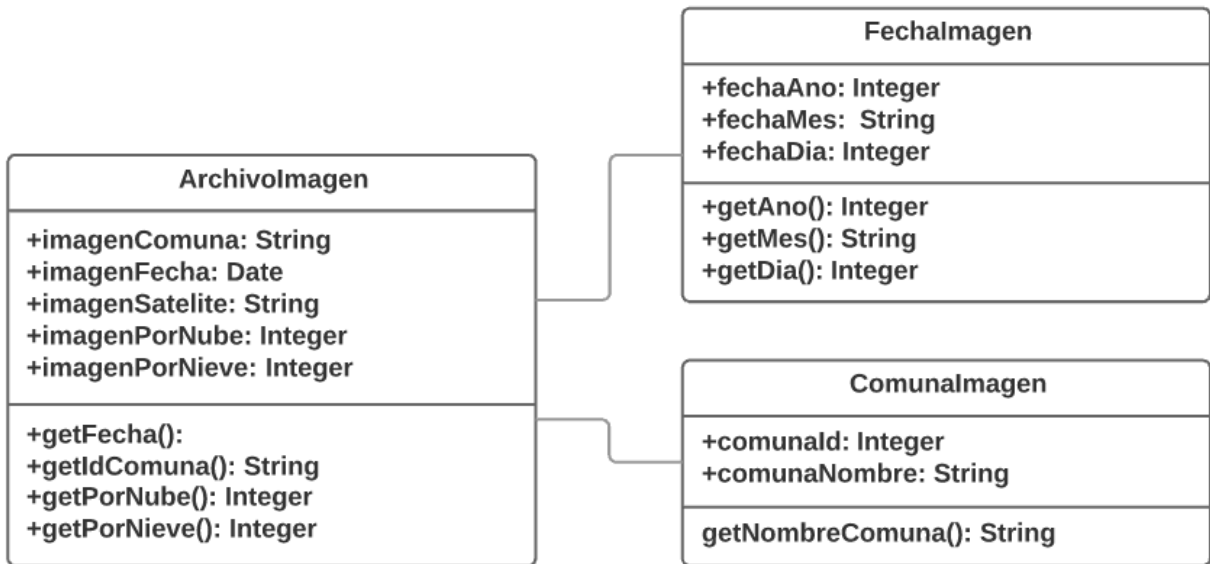


Figura 34: Diagrama de clases

CAPÍTULO 7. EVALUACIÓN DEL PROYECTO

7.1 ANÁLISIS RETROSPECTIVO

7.1.1 Resultados obtenidos

Los resultados obtenidos de la clasificación de imágenes satelitales para Lonquimay y Los Sauces entre enero 2015 y diciembre 2016 se presentan en la sección 5.3.5.

7.1.2 Equipamiento e Infraestructura

- **Hardware:** Servidor para procesar y almacenar
INIA Quilamapu (en Chillán) posee la infraestructura necesaria para implementar un servidor (Figura 35), el cual ya fue adquirido para un proyecto anterior, con capacidad suficiente para almacenar al menos 3 años de imágenes clasificadas.



Figura 35: Estación de trabajo e infraestructura disponible para el servidor en INIA

Las especificaciones de la cotización realizada para el servidor pueden encontrarse en Anexo XVII.

- **Software:** Softwares libres
 - *Sistemas de Información Geográfica (SIG).*
En palabras simple, un SIG es un sistema computacional que permite manejar imágenes y datos satelitales georreferenciados para realizar análisis y procedimientos relacionados. En el caso de este proyecto, se utilizara el software QGIS, versión 2.8
 - *Lenguajes de programación.*
Para programar los algoritmos de clasificación se optó por utilizar el lenguaje Python, compatible con QGIS.

7.2 DEFINICIÓN DE BENEFICIOS Y COSTOS

7.2.1 Inversión

Para comenzar la ejecución de lo propuesto en esta tesis, se presenta en la Tabla 15 el salario para el proyecto, considerando un tiempo de implementación de 2 años (desde el inicio de este proyecto). El Jefe de Proyecto debe estar presente durante toda la implementación, pero sólo se requerirá que dedique un cuarto (1/4) de su jornada laboral a monitorizar el avance de éste. Por otro lado, el Desarrollador estará desde el inicio del proyecto de forma full time, terminando en el mes 22 sus responsabilidades para dar paso a que el Implementador, quien trabajará part time por 1 mes para implementar los algoritmos desarrollados. Finalmente, se considerará un capacitador que se contratará por 10 horas. Esto da un total de \$10.252.400 CLP en inversión en RR.HH.

Por otro lado, como se mencionó en la sección 7.1.2, no se necesita realizar inversión en equipamiento e infraestructura, ya que INIA realizó esa inversión en proyectos anteriores.

Tabla 15: Inversión Recursos Humanos

	Rol	Tiempo	Salario MO mensual*	Monto Total
Inversión Recursos Humanos	Jefe de Proyecto	24 meses ¼ Jornada laboral	\$147.000	\$3.528.000
	Desarrollador	22 meses Full time	\$294.000	\$6.468.000
	Implementador	1 mes Part time	\$176.400	\$176.400
	Capacitador	10 horas	\$80.000	\$80.000
	Total			\$10.252.400
Eq. E Infr.	Total			\$0

*Factor de Corrección de Mano de Obra calificada de 0,98 según el Ministerio de Desarrollo Social para el 2016

7.2.2 Costos

El costo anual del proyecto una vez implementado será en total \$1.411.200 CLP.

La Tabla 16 presenta el costo anual en Recursos Humanos. El Recolector de Datos está contratado por otro proyecto y no requiere realizar tareas extras para la operación de este proyecto. Por otro lado, el Gestor del Servidor se contratará por 40 horas mensuales, ya que es necesario que esté pendiente del servidor en ciertos períodos de tiempo. De esta misma manera, el Mantenedor del Servidor será necesario cada 15 días, por lo que se consideran 3 horas de trabajo por cada quincena son suficiente para realizar mantención.

Como se mencionó en secciones anteriores, las imágenes satelitales a utilizar serán las de los satélites Landsat, las cuales no representan un costo para INIA. Por otra parte, tampoco será necesario pagar licencias de software, ya que el proyecto está diseñado de manera de utilizar softwares libres y gratuitos.

Tabla 16: Costos Recursos Humanos

Costos Recursos Humanos	Rol	Horas mensual	Costo mensual efectivo*	Costo anual*
	Recolector de Datos	<i>Contratado por otro proyecto INIA</i>		
	Gestor del servidor	40 horas	\$88.200	\$1.058.400
	Mantenedor del servidor	6 horas	\$29.400	\$352.800
	Total			\$1.411.200
Tecnol.	Total			\$0

*Factor de Corrección de Mano de Obra calificada de 0,98 según el Ministerio de Desarrollo Social para el 2016

7.2.3 Beneficios

Los beneficios del proyecto se medirán de acuerdo a los ahorros que genera para INIA el obtener información actualizada de las cubiertas manera automática en los meses mencionados. Dado que esta es una de las primeras aplicaciones para detección de cubiertas en INIA, no hay un referente claro de los recursos liberados por el uso de esta nueva información, por lo que se evaluará el símil de la detección de cubiertas. Es decir, los recursos ahorrados son los técnicos que se requeriría enviar a terreno para obtener una cubierta similar de ambas comunas, ya que en esencia cada vez que el sistema realice una clasificación estará haciendo un catastro de los recursos de la zona.

Se tomará como base la información del Censo Nacional Agropecuario y Forestal 2007, tomando en consideración las explotaciones agropecuarias y forestales censadas³⁴. En la IX región de la Araucanía se censaron en total 351.022 explotaciones, de las cuales sólo 6.322 pertenecen a Lonquimay y Los Sauces, representando un 1,8% del total.

Con esta cifra se realizó la estimación de personal designado para ambas comunas, de acuerdo a la estimación de personal a nivel regional del Censo Agropecuario 2007 (Instituto Nacional de Estadística (INE), 2007a), la cual se presenta en Tabla 17. La designación de sueldo base de realizó de acuerdo a lo informado por INE (Gobierno Transparente, 2016a, 2016b).

Considerando que al año se realizan 12 Boletines en los que están presentes las comunas de Lonquimay y Los Sauces, se espera obtener ahorros equivalentes a \$14.596.140 anuales. Si bien no todos los meses se clasifican, la información más antigua de imágenes clasificadas correspondería a 8 meses, por lo que de todas maneras sería útil considerando los ciclos de cosecha de los agricultores de la zona.

³⁴ Si bien podría también realizarse respecto a la superficie, la verdad es que metodológicamente las asignaciones de personal se realizaron de acuerdo a la cantidad de explotaciones que se debían visitar de acuerdo a registros de INDAP (Instituto Nacional de Estadística (INE), 2007a)

Tabla 17: Beneficios

	Empadronadores	Supervisores	Superv. instructores	Digitadores
IX región	206	34	13	22
Lonquimay y Los Sauces	4	1	1	1
Sueldo base mensual³⁵	\$171.458	\$196.289	\$211.985	\$122.239
Total mensual	\$685.832	\$196.289	\$211.985	\$122.239
Total * 12 (# Boletines al año)	\$8.229.984	\$2.355.486	\$2.543.820	\$1.466.868
TOTAL ANUAL				\$14.596.140

7.3 FLUJO DE CAJA

El flujo de caja presentado a continuación en la Tabla 18 está pensado en una evaluación social³⁶ del proyecto para 3 años, en el que el servidor de INIA tiene capacidad para almacenar las imágenes satelitales procesadas.

Podemos ver que en el Año 0 la inversión es de \$10.452.400 CLP. Del Año 1 al 3 los flujos anuales son iguales.

Los *Beneficios* corresponden a lo expresado en la sección 7.2.3 de acuerdo a la liberación de recursos ante el ahorro de personal en terreno para la detección de cubiertas.

Los *costos en Recursos Humanos y en Tecnología* corresponden a lo expresado en la sección 7.2.2. Los *gastos operacionales* no se consideran ya que el proyecto utilizará la infraestructura ya disponible en INIA para llevarse a cabo. Los ítems de *Interés, Depreciación, Ganancia o Pérdida de Capital y Pérdida del Ejercicio Anterior* también se dejan vacías debido a la naturaleza del proyecto, cuyos gastos serán costeados por INIA y no a través de algún préstamo. Al ser un proyecto social, se encuentra exento del pago de *impuestos*, entregando un resultado monetario para el Flujo de Caja Operacional.

³⁵ El sueldo base mensual se designó de acuerdo a lo informado por INE para los funcionarios en el 2007 y los sueldos base del 2016, considerando que los empadronadores son del estamento *Técnicos sin Asignación profesional*, los supervisores y supervisores instructores son *Profesionales con Asignación profesional*, y los digitadores son *Administrativos sin Asignación profesional*. Para cada función se asignó el menor sueldo considerado para el estamento, excepto en el caso de los supervisores instructores que son el segundo menor.

³⁶ Se considera un proyecto de evaluación social ya que en conjunto se espera que el proyecto tenga un impacto en los usuarios finales, los agricultores, a través del Subdepartamento de Información, Monitoreo y Prevención, el cual realiza una transferencia a INIA de recursos, sin crear ni destruir valor al liberar recursos (ahorro personal en terreno).

En cuanto al Flujo de Caja de Capitales, como ya se mencionó el proyecto será financiado íntegramente por INIA con fondos estatales. Finalmente, para calcular el VAN se utiliza la tasa social de descuento establecida por el Ministerio del Desarrollo Social³⁷, correspondiente a un 6%.

En total, el VAN para el proyecto es de \$60.034.604

Tabla 18: Flujo de Caja del proyecto a 3 años

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3
Beneficios		\$ 14.596.140	\$ 14.596.140	\$ 14.596.140
Costos Recursos Humanos		-\$ 1.411.200	-\$ 1.411.200	-\$ 1.411.200
Costos Tecnología				
Gastos administrativos				
Resultado Operacional		\$ 13.184.940	\$ 13.184.940	\$ 13.184.940
Interés				
Depreciación				
G/P de Capital				
Pérdida Ejercicio Anterior				
Resultado No Operacional		\$ -	\$ -	\$ -
Utilidades antes de Impuesto		\$ 26.369.880	\$ 26.369.880	\$ 26.369.880
Impuesto				
Utilidades después de Impuesto		\$ 26.369.880	\$ 26.369.880	\$ 26.369.880
(+)Depreciación				
G/P de Capital				
(+)Pérdida Ejercicio Anterior				
Flujo de Caja Operacional		\$ 26.369.880	\$ 26.369.880	\$ 26.369.880
Préstamo				
Amortizaciones				
Inversiones	-\$ 10.452.400			
Valor de Mercado				
Capital de Trabajo				
Recuperación del Capital de Trabajo				
Flujo de Caja de Capitales	-\$ 10.452.400	\$ -	\$ -	\$ -
FLUJO DE CAJA TOTAL	-\$ 10.452.400	\$ 26.369.880	\$ 26.369.880	\$ 26.369.880
Flujo de Caja descontado (Al 6%)	-\$ 10.452.400	\$ 24.877.245	\$ 23.469.099	\$ 22.140.660
VAN		\$60.034.604		

³⁷ <http://bit.ly/29IOdFJ> (08/06/2016)

7.4 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

El mayor atractivo de este proyecto para INIA es el nulo costo que representa para la institución la utilización de imágenes satelitales y softwares gratuitos, teniendo costos sólo en Recursos Humanos.

Considerando esto, se mantendrán fijos los beneficios, efectuando cambios en los costos para evaluar 3 escenarios: pesimista, realista y optimista.

Sin embargo, dentro de los costos sólo se evaluarán la variable en Recursos Humanos, ya que un cambio en los costos de Tecnología, específicamente en lo que se refiere a información de entrada para el sistema, implicaría un rediseño de todo el sistema de detección de cubiertas. Esto debido a que el sistema no es lo suficientemente flexible como para aceptar entradas de otro tipo de imágenes que no sean LE7 o LC8 sin que se requiera una modificación al código del script³⁸. De igual manera, si se prefiriera utilizar MATLAB o algún otro software de procesamiento pagado que no fueran los de código abierto ya mencionados, también se requeriría un cambio en los algoritmos.

Para tener un VAN < \$0 y, por tanto, el proyecto no fuera conveniente, se necesitaría que los costos y gastos fueran de \$12.640.968 anuales, de manera de que VAN = -\$4, *ceteris paribus*, lo que supondría un aumento de los costos cercano al 800%. Por lo tanto existe un margen aproximado de \$11.230.000 (anual) para posibles gastos administrativos y costos en recursos humanos y tecnología, para un periodo de evaluación de 3 años.

Considerando los beneficios obtenidos con este proyecto para su uso en el Boletín Agrometeorológico y el margen de costos, podría creerse que costear imágenes satelitales de mejor calidad podría ser posible. Pero, tomando en cuenta que se requerirían imágenes para 12 Boletines mensuales, en el año no se podría solventar la compra de imágenes para ambas comunas.

Según lo expuesto en la sección 5.3.2, si se quisiera pagar por imágenes la mejor opción sería las imágenes RapidEye por su resolución espectral³⁹. Para ambas comunas mensualmente se requeriría un gasto de \$3.050.000, es decir, \$36.600.000 al año, lo que supera con creces el margen de costos que el proyecto puede solventar, sin considerar los costos de reimplementar los algoritmos para este tipo de imágenes

En conclusión, los beneficios calculados para el proyecto no permiten costear otro tipo de imágenes que no sean las imágenes LE7 y LC8. Sin embargo, sí considera un margen anual de más de \$11.000.000 para posibles gastos administrativos y costos en tecnología y/o Recursos Humanos.

³⁸ Por ejemplo, si en un futuro quisieran utilizarse imágenes del Landsat 9 (aún no en órbita) debiese replantearse el código, ya que es posible que los números de las bandas cambien, tanto en cantidad como en frecuencias captadas.

³⁹ Si bien por precio la mejor opción sería la DMC, con un costo anual para ambas comunas de casi \$4.000.000, su baja resolución espectral (3 bandas) no es suficiente para realizar la detección de cubiertas necesaria para el proyecto.

CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES

Para que Chile pueda convertirse en una potencia agrícola es necesario que su industria se mantenga al día con respecto a su competencia. La mejora continua en la generación y el uso de información actualizada para las entidades públicas, permiten una mejor gestión de los recursos naturales, lo que en este caso corresponde a más de 300.000 explotaciones agrícolas en el país.

Dentro de las instituciones públicas que velan por el buen funcionamiento de la agricultura en Chile se encuentra INIA, el Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Su visión es generar conocimiento y transferirlo de manera directa e indirecta a los agricultores, para crear innovación en el rubro y mejorar la competitividad del sector. Dentro de los servicios que ofrece, mantiene un convenio con MINAGRI, quien a través del Subdepartamento de Información, Monitoreo y Prevención del Departamento de Gestión Integral de Riesgo le solicita a INIA mensualmente información sobre el estado del rubro agropecuario en Chile. El Boletín Agrometeorológico generado por INIA se utiliza mayormente para determinar la necesidad de decretar Emergencias Agrícolas en las distintas comunas del país, lo que se justifica técnicamente con el uso de índices de vegetación generados con imágenes satelitales.

Sin embargo, hoy en día no existe información confiable y actualizada sobre qué cubiertas hay en los sectores que presentan anomalías. Esto provoca que la información entregada a las autoridades públicas sea incompleta y que no sea posible precisar las repercusiones de las Emergencias Agrícolas ni tomar decisiones adecuadas para ello.

Una de las herramientas de mayor información a un bajo costo en la institución son las imágenes satelitales de libre acceso. Sin embargo, este recurso es subutilizado en la generación del Boletín Agrometeorológico y otros proyectos, siendo un elemento que podría utilizarse para la mayoría de los proyectos de cambio climático en INIA.

Es por esto que el proyecto de tesis presentado busca diseñar un proceso que entregue información de cubiertas con datos actualizados de forma mensual, para agregar esta información al Boletín Agrometeorológico. Se definió que el proyecto se enfocaría en detectar cubiertas de las comunas de Lonquimay y Los Sauces (ambas en el IX región de la Araucanía) debido a la disponibilidad de información por proyectos previos de INIA.

Para el desarrollo del sistema se opta por escoger como entrada imágenes satelitales Landsat 7 y Landsat 8, debido a su periodicidad y continuidad temporal, permitiendo tener imágenes entre enero 2015 a diciembre 2016. En total se tienen 182 imágenes, obteniendo alrededor de 46 imágenes por año por comuna.

Luego se realiza un estudio de las comunas mencionadas para identificar cuáles son las cubiertas principales que se debería buscar, de manera definir el esquema de detección de elementos vegetales y no vegetales. Se llegó a las siguientes 8 cubiertas objetivo: 1) Bosque, 2) Cultivo, 3) Hidrografía, 4) Matorral, 5) Pradera, 6) Red Vial, 7) Suelo Desnudo, y 8) Zona Urbana.

Los algoritmos seleccionados para realizar las clasificaciones están basados en lenguaje Python. El procedimiento para una clasificación comienza con la identificación de su porcentaje de nubes y nieve, según la comuna en estudio. Luego, si la imagen posee menos del 20% de nubes y nieve, se procede a la clasificación. El algoritmo seleccionado para esto es Random Forest, el cual se implementó a través de la librería scikit-learn de Python. Finalmente se crean 3 archivos: 1) ráster clasificado, 2) imagen de previsualización, y 3) reporte de clasificación.

Sin quitarle valor al diseño de la lógica de detección de cubiertas por minería de datos, es necesario recalcar que el fin del proyecto es crear el sistema tal que pueda ser incorporado como información en el Boletín Agrometeorológico para los investigadores. Para ello el sistema se diseña tal que una vez obtenida la imagen satelital, la clasificación se puede realizar automáticamente, sin necesidad de que un investigador le diga al algoritmo donde está cada cubierta (lo que sería una clasificación semi-automática). Esto se logra gracias a la base de puntos conocidos generada para el proyecto, la cual está actualizada al 2013 para la mayoría de los puntos, y 2015 para cultivos, praderas y zonas no vegetales.

El usuario-investigador podrá acceder a las clasificaciones a través de una plataforma web en la que tendrá que seleccionar la fecha que necesita y las cubiertas que requiere, generando así un archivo descargable para que pueda utilizar y manipular esta información.

La evaluación económica del proyecto da un VAN = \$60.034.604, cifra que justifica la generación del proyecto considerando los ahorros en personal en terreno como beneficios. El análisis de sensibilidad se enfoca en entender la holgura que tiene anualmente el proyecto para los costos, entregando un amplio margen para involucrar más personal y quizás considerar la adquisición de equipos específicos, como un servidor dedicado solo a la detección de cubiertas y almacenamiento de los resultados. Sin embargo, este margen no permite la compra anual de imágenes satelitales, ya que su alto valor por km² excede esta holgura.

Los resultados obtenidos hasta el momento indican que debido al alto porcentaje de nubes y nieve en algunos meses, existen ventanas de tiempo donde sí se puede realizar clasificación: de diciembre a abril para Lonquimay y de octubre a abril para Los Sauces. Esto se traduce en que el modelo creado es útil en épocas de Emergencias Agrícolas de verano, tipo sequías o incendios forestales. Sin embargo, el análisis de las matrices de confusión e indicadores de desempeño permiten concluir que el clasificador es fuertemente influenciado por la presencia de Bosque y Matorral, confundiendo las cubiertas menos representadas en los datos.

Dado esto se requiere de una reevaluación de la base de puntos conocidos, de manera de equilibrar la densidad de puntos en las demás categorías, o replantearse si las categorías presentadas pueden ser desagregadas o si son relevantes para INIA. Para

ello se recomienda fuertemente la creación de alianzas con otras instituciones ministeriales con tal de crear equipos con diferentes competencias en las distintas categorías de cubiertas.

De cualquier manera, se sugiere que para todos los meses del año se realicen clasificaciones, incluyendo otoño e invierno, ya que en comparación a los datos actuales (Censo 2007-CONAF 2013) cualquier información que se logre obtener de estas imágenes es un beneficio para la toma de decisiones y para el diseño de una metodología que mejore las clasificaciones en los meses de mayor nubosidad. Así, esta información podría mejorar la calidad del Boletín Agrometeorológico al utilizar las clasificaciones durante todo el año.

Si bien las imágenes satelitales presentan algunos problemas (nubes, nieve y píxeles que deben ser corregidos) éstos escapan al alcance del INIA para manejarlos. Lo que sí puede ser influenciado por la Institución es la base de puntos conocidos, la cual requiere un esfuerzo propio para su generación y mantenimiento. Los puntos bases permiten el uso de imágenes satelitales independiente del formato en que estas vengan.

INIA mantiene una conexión directa con los agricultores a través de los grupos de transferencia tecnológica (GTT) y transferencistas. Ambos grupos podrían alimentar una base de datos con puntos conocidos, que le permita a la Institución saber a nivel país el estado de la agricultura en terreno y otras variables, proveyendo esta información a otros proyectos de investigación realizados por INIA u otras instituciones afines. Sin embargo, no basta solamente el recolectar dichos datos, para que la red propuesta sea viable en el tiempo es necesario invertir en un área de control y mantenimiento para supervisar la calidad de los datos y el acceso a éstos.

Finalmente, si bien el proyecto solo estudió las comunas de Lonquimay y Los Sauces, se espera que los algoritmos y metodologías aquí descritas permitan probar el sistema para otras comunas y regiones del país. Una vez mejorada la base y el algoritmo de clasificación, el proceso generaría una gran cantidad de información de cubiertas para el Boletín Agrometeorológico, además de generar nuevas líneas de investigación en cada actividad en la clasificación de las imágenes, apoyando así el fin último de INIA que es la generación y transferencia de conocimiento para mejorar y potenciar la agricultura chilena.

CAPÍTULO 9. BIBLIOGRAFÍA

1. Banco Central de Chile. (2016a). Balanza Comercial por países (anual).
2. Banco Central de Chile. (2016b). Cuentas Nacionales de Chile 2008-2015.
3. Barros, O. (2015). Ingeniería de Negocios: Diseño Integrado de Servicios, sus Procesos y Apoyo TI.
4. Barros, O., & Julio, C. (2011). Enterprise and process architecture patterns. *Business Process Management Journal*, 17(4), 598-618.
5. Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine learning*, 45(1), 5-32.
6. Contreras-Piña, C., & Ríos, S. A. (2016). An empirical comparison of latent semantic models for applications in industry. *Neurocomputing*, 179, 176-185.
7. Costacnioiu, T., Constantinescu, R., AlZenk, B., & Datcu, M. (2012). *Semantic analysis of satellite image time series*. Paper presented at the Signal Processing Conference (EUSIPCO), 2012 Proceedings of the 20th European.
8. Costachioiu, T., Alzenk, B., Constantinescu, R., & Datcu, M. (2013). *Unsupervised classification of EO-1 Hyperion hyperspectral data using Latent Dirichlet Allocation*. Paper presented at the 2013 International Symposium on Signals, Circuits and Systems (ISSCS).
9. Chuvieco, E. (2010). *Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio. Revisada, Barcelona. Editorial Ariel*: ISBN 978-84-344-3498-1.
10. Dobson, J., Bright, E., Ferguson, R., Field, D., Wood, L., Haddad, K., . . . Orth, R. (1995). *NOAA coastal change analysis program (C-CAP): guidance for regional implementation*: US Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Marine Fisheries Service.
11. Farias, S. (2002). Red Nacional de Viticultura de Precisión.
12. Feng, D., Zhao, Y., Yu, L., Li, C., Wang, J., Clinton, N., . . . Gong, P. (2016). Circa 2014 African land-cover maps compatible with FROM-GLC and GLC2000 classification schemes based on multi-seasonal Landsat data. *International Journal of Remote Sensing*, 37(19), 4648-4664.
13. Franco-Lopez, H., Ek, A. R., & Bauer, M. E. (2001). Estimation and mapping of forest stand density, volume, and cover type using the k-nearest neighbors method. *Remote Sensing of Environment*, 77(3), 251-274.
14. Fundación para la Innovación Agraria (FIA). (2008). Resultados y Lecciones en Agricultura de Precisión en Viñedos.
15. Gislason, P. O., Benediktsson, J. A., & Sveinsson, J. R. (2006). Random forests for land cover classification. *Pattern Recognition Letters*, 27(4), 294-300.

16. Gobierno Transparente, I. (2016a, 30 de Enero 2016). Dotación de Funcionarios de honorarios existentes 2007. Retrieved 05 de Septiembre 2016, 2016, from <http://transparencia.ine.cl/personal/2007/honorarios2007.html>
17. Gobierno Transparente, I. (2016b, 29 de marzo 2016). Escala de Remuneraciones. Retrieved 05 de Septiembre 2016, 2016, from <http://transparencia.ine.cl/remuneraciones.html>
18. Guo, L., Chehata, N., Mallet, C., & Boukir, S. (2011). Relevance of airborne lidar and multispectral image data for urban scene classification using Random Forests. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 66(1), 56-66.
19. Hax, A. C. (2009). *The delta model: reinventing your business strategy*: Springer Science & Business Media.
20. Hernández, J., & Montaner, D. (2009). Patrones de Respuesta Espectral. In C. Mena (Ed.), *Tecnologías Geoespaciales: Experiencias Aplicadas al Estudio y Gestión del Territorio*: Publicaciones SAF.
21. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). (2012). Plan Estratégico Institucional y Planes de Acción para el Periodo 2013 - 2017.
22. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). (2015). Memoria INIA 2014.
23. Instituto Nacional de Estadística (INE). (2007a). Informe Metodológico, VII Censo Nacional Agropecuario y Forestal.
24. Instituto Nacional de Estadística (INE). (2007b). VII Censo Agropecuario y Forestal. *Resultados por comuna, Cuadro 1, 2, 13 y 16*. from <http://bit.ly/2c41B7K>
25. Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (2000). *Cómo utilizar el cuadro de mando integral: para implementar y gestionar su estrategia*: Gestión 2000.
26. Klemas, V. V. (2001). Remote sensing of landscape-level coastal environmental indicators. *Environmental management*, 27(1), 47-57.
27. Ludwig, A., Meyer, H., & Nauss, T. (2016). Automatic classification of Google Earth images for a larger scale monitoring of bush encroachment in South Africa. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 50, 89-94.
28. Müller, H., Rufin, P., Griffiths, P., Siqueira, A. J. B., & Hostert, P. (2015). Mining dense Landsat time series for separating cropland and pasture in a heterogeneous Brazilian savanna landscape. *Remote Sensing of Environment*, 156, 490-499.
29. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). (2013). Panorama de la Agricultura chilena. *Santiago, Chile*.
30. Ortega, R., & Flores, L. (1999). Agricultura de Precisión: Introducción al manejo sitio-específico. *Ministerio de Agricultura, Instituto de investigaciones agropecuarias. CRI Quilamapu.(Chile)*, 13-46.

31. Polanco, F. (2013, 10 de junio 2013). Por qué la agricultura de precisión no se consolida en Chile. *Revista CAMPO*, 10-11.
32. Rashmi, S., Addamani, S., & Ravikiran, S. (2014). Spectral Angle Mapper Algorithm for Remote Sensing Image Classification. *IJSET–International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, 50(4), 201-205.
33. Rasiwasia, N., & Vasconcelos, N. (2013). Latent dirichlet allocation models for image classification. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 35(11), 2665-2679.
34. Rios, S. A., Aguilera, F., Bustos, F., Omitola, T., & Shadbolt, N. (2011). *Leveraging social network analysis with topic models and the semantic web*. Paper presented at the Proceedings of the 2011 IEEE/WIC/ACM International Conferences on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology-Volume 03.
35. Ríos, S. A., Silva, R. A., & Aguilera, F. (2012). *A dissimilarity measure for automate moderation in online social networks*. Paper presented at the Proceedings of the 4th International Workshop on Web Intelligence & Communities.
36. Rodriguez-Galiano, V. F., Ghimire, B., Rogan, J., Chica-Olmo, M., & Rigol-Sanchez, J. P. (2012). An assessment of the effectiveness of a random forest classifier for land-cover classification. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 67, 93-104.
37. Sarmah, S., & Bhattacharyya, D. K. (2012). A grid-density based technique for finding clusters in satellite image. *Pattern Recognition Letters*, 33(5), 589-604.
38. Tatsumi, K., Yamashiki, Y., Torres, M. A. C., & Taípe, C. L. R. (2015). Crop classification of upland fields using Random forest of time-series Landsat 7 ETM+ data. *Computers and Electronics in Agriculture*, 115, 171-179.
39. Vaduva, C., Costachioiu, T., Patrascu, C., Gavat, I., Lazarescu, V., & Datcu, M. (2011). *Classification of dynamic evolutions from satellitar image time series based on similarity measures*. Paper presented at the Analysis of Multi-temporal Remote Sensing Images (Multi-Temp), 2011 6th International Workshop on the.
40. Villalobos, P., Manríquez, R., Acevedo, C., & Ortega, S. (2009). Estudio del alcance de la agricultura de precisión en Chile: estado del arte, ámbito de aplicación y perspectivas. *Departamento de economía agraria en colaboración con el centro de investigación y transferencia en riego y agroclimatología (CITRA), Universidad de Talca, Chile*.
41. Wirth, R., & Hipp, J. (2000). *CRISP-DM: Towards a standard process model for data mining*. Paper presented at the Proceedings of the 4th international conference on the practical applications of knowledge discovery and data mining.

42. Zarco-Tejada, P., Hubbard, N., & Loudjani, P. (2014). Precision Agriculture: An Opportunity for EU Farmers—Potential Support with the CAP 2014-2020. *Joint Research Centre (JRC) of the European Commission*.
43. Zhong, L., Gong, P., & Biging, G. S. (2014). Efficient corn and soybean mapping with temporal extendability: A multi-year experiment using Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 140, 1-13.
44. Zhu, Z., Wang, S., & Woodcock, C. E. (2015). Improvement and expansion of the Fmask algorithm: Cloud, cloud shadow, and snow detection for Landsats 4–7, 8, and Sentinel 2 images. *Remote Sensing of Environment*, 159, 269-277.
45. Zhu, Z., & Woodcock, C. E. (2012). Object-based cloud and cloud shadow detection in Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 118, 83-94.

CAPÍTULO 10. ANEXOS

I. Equipamiento básico Agricultura de Precisión

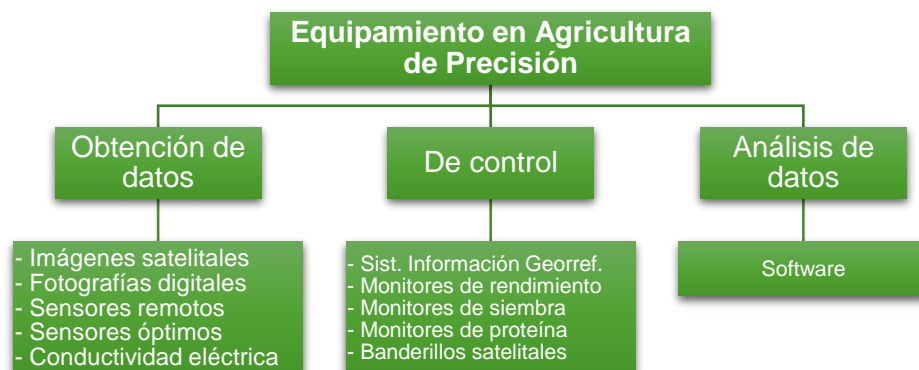


Figura 36: Equipos e instrumentos más utilizados en Agricultura de Precisión

II. Competencia y Oferta de mercado

Para analizar el tema de la teledetección en Chile se debe considerar la labor que ejercen las empresas privadas de teledetección, las cuales dentro de sus servicios ofrecen el reconocimiento de recursos a través de imágenes satelitales. Existe una gran proliferación de estas empresas, pero en Chile las que tienen más experiencia en este aspecto, y que compiten con INIA en cuanto a la innovación y uso de herramientas de agricultura de precisión, son las presentadas en la Tabla 19.

Tabla 19: Principales Competidores Nacionales

Nombre	Actividad principal
Centro de Investigación y Transferencia en Riego y Agroclimatología (CITRA), Universidad de Talca⁴⁰	Trabaja principalmente en el área vitícola de la zona, desarrollando una Red nacional de Viticultura de Precisión para programar el riego en viñas de acuerdo a los recursos hídricos detectados.
AgropPrecisión⁴¹	Empresa privada dedicada a la venta de equipamiento de agricultura de precisión (sensores, estaciones meteorológicas, instrumentación agrícola) en conjunto con servicios de asesoramiento de monitoreo remoto y teledetección, especializado en viñedos.
Agrosat⁴²	Empresa dedicada a la creación, desarrollo e implementación de tecnologías de información para el sector silvoagropecuario, utilizando tecnología satelital y SIG de manera de entregar soluciones integradas
NEOAG⁴³	Empresa fundada por Rodrigo Ortega Blu, uno de los especialistas en AP del país. Entrega servicios integrados de estudios de suelo, percepción remota y SIG para la agricultura.

⁴⁰ Para más información, visitar <http://www.citrautalca.cl/new/>

⁴¹ Para más información, visitar <http://www.agroprecision.cl/es/>

⁴² Para más información, visitar <http://www.agrosatchile.cl/>

⁴³ Para más información, visitar <http://www.neoag.net/empresa.htm>

Cabe mencionar que de estos competidores, ninguno de ellos presta el servicio específico de este proyecto, si bien el CITRA ha mostrado interés en detectar cubiertas. AgroPrecisión, Agrosat y NEOAG trabajan en su mayoría con productores de viñas.

III. Organigrama de INIA

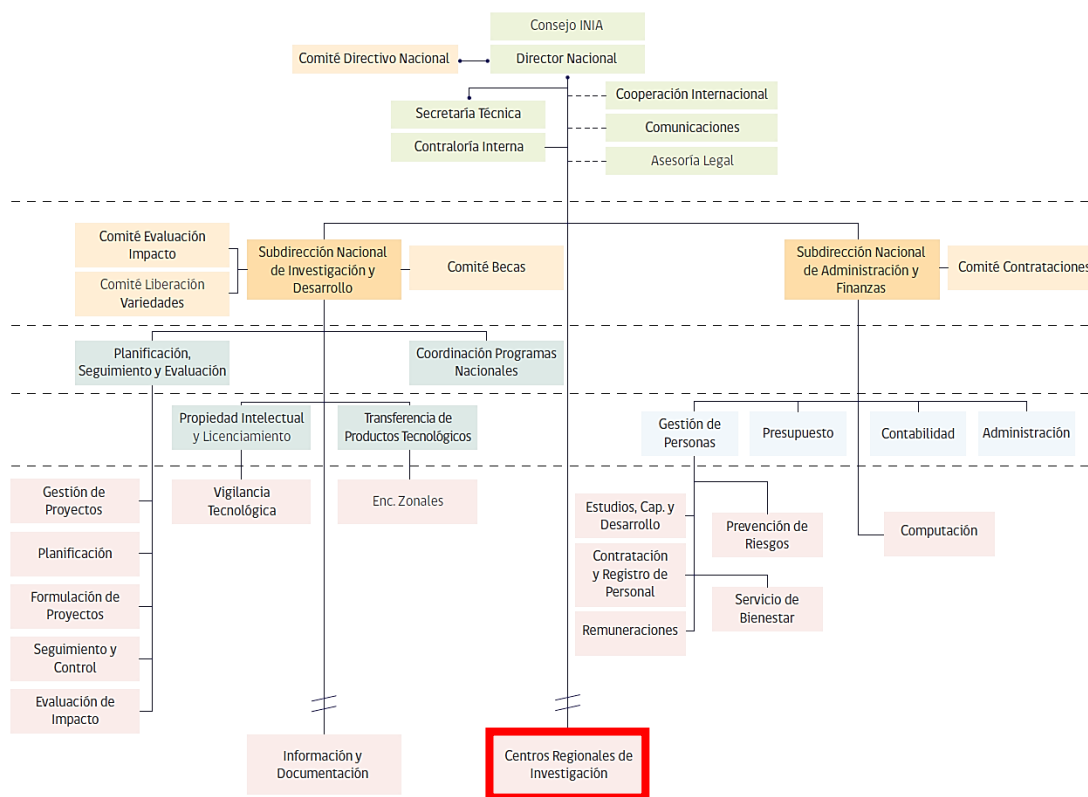


Figura 37: Organigrama Institucional de INIA

(Fuente: Memoria INIA 2014)

INIA es dirigido por un Comité Directivo Nacional presidido por el Ministro de Agricultura (Carlos Furche Guajardo, a agosto 2016). El Comité en pleno es designado por el Ministro según los candidatos de las asociaciones gremiales, el Colegio de Agrónomos y las Universidades fundadores. El Comité se compone de 6 consejeros:

- 2 representantes del MINAGRI (Luis Cox y Juan Paillan),
- 1 representante de las organizaciones gremiales relevantes constituidas por pequeños productores agrícolas (Segundo Corvalán de la Unión Nacional de la Agricultura Familiar Campesina Chile A.G.),
- 1 representante de las organizaciones gremiales relevantes de los productores agrícolas de mayor tamaño (Eulogio Allende de la Federación Nacional de Productores de Fruta),
- 1 experto en gestión y transferencia tecnológica del ámbito agropecuario (Carlos Altmann, presidente Colegio de Ingenieros Agrónomos), y
- 1 académico del sector agropecuario (Raúl Cerda, decano de Agronomía de la Universidad de Concepción).

El Ministro de Agricultura designa y delega la Dirección Ejecutiva al Director Nacional (Julio Kalazich a agosto 2016), el cual propone un plan anual de actividades y un presupuesto para ello, además de fijar las políticas a aplicar en las líneas de negocios del Instituto. Todo esto debe además ser aprobado por el Comité.

A continuación se detallan las funciones y competencias de unidades de la Figura 37.

Director Nacional

Autoridad ejecutiva, técnica y administrativa superior del Instituto, del cual es su representante legal, con las facultades, deberes y limitaciones establecidas en sus Estatutos. La dirección superior del INIA la ejerce de acuerdo con el Consejo de INIA o por delegación de éste, considerando las orientaciones estratégicas y reglamentación interna vigentes.

Secretaría Técnica

Apoyar técnicamente al Director Nacional, coordinando adecuada y oportunamente las acciones necesarias en cumplimiento de sus atribuciones.

Contraloría Interna

Velar por el cumplimiento de las políticas y procedimientos internos, mediante una estrategia preventiva orientada a minimizar los riesgos operacionales y financieros, resguardando los recursos institucionales.

Cooperación Internacional

Vincular al INIA con instituciones y organismos de ciencia y tecnología presentes en el escenario internacional, tendiente al intercambio científico-tecnológico, el desarrollo de proyectos de cooperación mutua y la capacitación de profesionales.

Comunicaciones

Comunicar interna y externamente el quehacer del INIA y resguardar la imagen institucional, coordinando a nivel nacional las acciones vinculadas a los asuntos corporativos del Instituto.

Asesoría Legal

Prestar asesoría legal en todas aquellas materias vinculadas con el INIA que requieran una apreciación de carácter jurídico especialmente en la protección del patrimonio, patentes de invención y marcas comerciales; asesorar a las unidades en todo lo relacionado con actos, contratos y convenios que realice el INIA con terceros y representarlo en lo judicial.

Subdirección Nacional de Investigación y Desarrollo

Dirigir el ámbito científico técnico del Instituto atendiendo las demandas del entorno, conforme a las directrices estratégicas institucionales.

Subdirección Nacional de Administración y Finanzas

Dirigir, coordinar y controlar las áreas de administración y finanzas de acuerdo con los lineamientos y políticas institucionales, cautelando el uso eficiente de los recursos y la correcta aplicación de la normativa legal vigente.

Unidad de Planificación, Seguimiento y Evaluación (UPSE)

Planificar y realizar seguimiento a las acciones estratégicas y operacionales asociadas a la investigación, desarrollo y transferencia tecnológica del INIA; evaluar sus resultados e impactos en el sector agroalimentario, para asegurar el cumplimiento de la Misión de INIA.

Coordinación Programas Nacionales

Apoyar al Subdirector Nacional de Investigación y Desarrollo en la coordinación de las acciones del ámbito científico – técnico del INIA, velando por el cumplimiento de las directrices institucionales y asegurando la respuesta a las necesidades del entorno. Conformar y mantener cohesionados los equipos de trabajo interdisciplinarios, asociados a un área, rubro o disciplina, con el objeto de potenciar, orientar y priorizar las actividades y proyectos científicos y tecnológicos, con una visión institucional, vinculados a la demanda y con orientación a resultados.

Propiedad Intelectual y Licenciamiento

Elaborar estrategias para la detección de oportunidades de negocio de las tecnologías INIA con potencial de comercialización y ejecutar los procesos vinculados a la protección de las invenciones y creaciones intelectuales de INIA.

Transferencia de Productos Tecnológicos

Diseñar, proponer y supervisar las políticas y planes de producción y comercialización de insumos tecnológicos; administrar los activos agrícolas y gestionar la comercialización de los negocios tecnológicos del INIA. Garantizar además que la tecnología agroalimentaria principalmente desarrollada o adaptada por INIA, llegue a los clientes y usuarios finales y produzca impacto en las cadenas productivas, coordinando, orientando e implementando políticas y planes de trabajo de transferencia, extensión y difusión tecnológica en los CRI.

Gestión de Personas

Proponer y alinear las políticas de Recursos Humanos a la estrategia y objetivos Institucionales, creando un ambiente de trabajo satisfactorio para los trabajadores, conforme a los valores de INIA; e implementar, organizar, dirigir y supervisar su puesta en marcha considerando la legislación vigente y los planes estratégicos del INIA.

Presupuesto y Contabilidad

Gestionar eficientemente los recursos financieros de corto plazo del INIA, realizar análisis económico y financiero de las operaciones, supervisar funciones contables y presupuestarias, y apoyar a la Subdirección Nacional de Administración y Finanzas en todas las actividades del ámbito financiero.

Administración

Definir políticas, normas y procedimientos para eficiente gestión de servicios generales.

Departamento de Gestión de la información

Proveer el soporte tecnológico e informático requerido para el cumplimiento de sus objetivos estratégicos, asegurando la continuidad operacional.

Información y Documentación

Gestionar el sistema de información y documentación científica-técnica y ponerla a disposición de los usuarios del sector agroalimentario, de manera actualizada y oportuna.

IV. Cobertura de los Centros Regionales de INIA

Tabla 20: Centros Regionales INIA

Nombre	Cobertura	Foco Estratégico	Otras Dependencias
INIA Intihuasi	Regiones de Coquimbo Atacama	<ul style="list-style-type: none"> • Fruticultura y horticultura de zonas semiáridas (vides, olivos, paltos, cítricos, nogales, otros). • Recursos fitogenéticos. • Mejoramiento genético de hortalizas. • Gestión del agua. • Nuevas alternativas productivas. • Transferencia Tecnológica. • Producción de Insumos Tecnológicos 	<ul style="list-style-type: none"> • Centro Experimental Huasco • Centro Experimental Vicuña • Oficina Técnica Limarí • Centro Experimental Choapa • Parcela Experimental Pan de Azúcar
INIA La Cruz	Región de Valparaíso	<ul style="list-style-type: none"> • Control Biológico y Manejo Integrado de Plagas. • Manejo de riego. • Fisiología y nutrición vegetal (paltos, cítricos, vides y hortalizas). • Fisiología de hortalizas. • Transferencia Tecnológica. 	
INIA La Platina	Región Metropolitana	<ul style="list-style-type: none"> • Manejo agronómico de especies vegetales (frutales, cultivos). • Desarrollo de nuevas variedades vegetales. • Manejo de riego. • Manejo de plagas y enfermedades. • Postcosecha. • Biotecnología para mejoramiento de cultivos y frutales. • Recursos fitogenéticos. • Transferencia Tecnológica. • Producción de Insumos Tecnológicos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Oficina Técnica Ururi • Centro Experimental Los Tilos
INIA Rayentué	Región del General Libertador Bernardo O'Higgins	<ul style="list-style-type: none"> • Tecnologías de riego en cultivos hortícolas y frutales. • Tecnologías para cereales. • Ganadería ovina. • Praderas del Secano Costero. • Frutales de carozo. • Transferencia Tecnológica. • Producción de Insumos Tecnológicos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Centro Experimental Hidango
INIA Raihuéni	Región del Maule	<ul style="list-style-type: none"> • Manejo agronómico de berries, fruticultura y vitivinicultura. • Ganadería ovina y bovina. • Riego y drenaje. • Fertilidad de suelos. • Sanidad vegetal, producción limpia. • Transferencia Tecnológica. • Producción de Insumos Tecnológicos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Centro Experimental Cauquenes

Tabla 21: Centros Regionales INIA (continuación)

Nombre	Cobertura	Foco Estratégico	Otras Dependencias
INIA Quilamapu	Región del Biobío	<ul style="list-style-type: none"> • Mejoramiento genético vegetal. • Recursos fitogenéticos y microorganismos. • Manejo agronómico en cultivos anuales, frutales y hortalizas. • Agricultura sustentable. • Control biológico de plagas. • Transferencia Tecnológica. • Producción de Insumos Tecnológicos 	<ul style="list-style-type: none"> • Centro Experimental Humán • Campo Experimental Santa Rosa
INIA Carillanca	Región de La Araucanía	<ul style="list-style-type: none"> • Recursos fitogenéticos. • Manejo agronómico en cultivos anuales, hortalizas y frutales. • Nuevas alternativas de exportación de especies vegetales (frutales, hortalizas, papas, flores). • Calidad y diferenciación de productos cárneos. • Agricultura limpia y medioambiente. • Transferencia Tecnológica. • Producción de Insumos Tecnológicos. 	
INIA Remehue	Región de Los Ríos y Los Lagos	<ul style="list-style-type: none"> • Optimización de la producción de leche y carne bovina. • Mejoramiento de papas. • Nutrición animal. • Sustentabilidad y medio ambiente. • Transferencia Tecnológica. • Producción de Insumos Tecnológicos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Centro Experimental La Pampa • Oficina Técnica Butalcura • Oficina Técnica Valdivia
INIA Tamel Aike	Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo	<ul style="list-style-type: none"> • Investigación en ganadería ovina y bovina, y medioambiente. • Conservación de suelos. • Riego de praderas y manejo de sistemas de drenaje. • Hortalizas y frutales de zonas frías. • Manejo agronómico de cultivos. • Transferencia Tecnológica. 	<ul style="list-style-type: none"> • Oficina Técnica Chile Chico
INIA Kampenaike	Región de Magallanes y Antártica Chilena	<ul style="list-style-type: none"> • Investigación en ganadería ovina y bovina. • Conservación de suelos. • Riego de praderas y manejo de sistemas de drenaje. • Hortalizas y frutales de zonas frías. • Manejo agronómico de cultivos. • Transferencia Tecnológica. • Producción de Insumos Tecnológicos. 	

V. Coordinaciones Nacionales

Las investigaciones en general están agrupadas en 8 Coordinaciones nacionales.

Las cuatro primeras son las Coordinaciones de alimentos, cultivos (trigo panadero y candeal, avena, arroz, triticale, papa, leguminosas de grano y oleaginosas), fruticultura y horticultura. Las líneas de investigación que son comunes a éstas 4 son:

- a) mejoramiento genético de semillas para aumentar su valor y competitividad
- b) manejo de plagas, enfermedades y malezas que afecten a los cultivos
- c) generar, adaptar y transferir conocimientos y tecnología para mejorar la producción y calidad.

Otra Coordinación es la de recursos genéticos, que se dedica al rescate y conservación del patrimonio genético vegetal, animal y de microorganismos del país, a través de su Red de Bancos de Germoplasma, ya que los recursos genéticos poseen un alto valor estratégico para Chile por ser base biológica para la generación de nuevos productos y/o nuevos negocios⁴⁴.

El área de sistemas ganaderos tiene como misión producir conocimientos, basados en investigación, que contribuyan al mejoramiento y sostenibilidad de los sistemas pecuarios, obteniendo así alimentos con altos estándares y generados en sistemas productivos de bajo impacto ambiental.

La Coordinación de sustentabilidad y medio ambiente se ocupa de analizar el impacto de las actividades de la agricultura chilena y la gestión de los recursos naturales sobre el medio ambiente, para mitigar sus efectos adversos y desarrollarla con criterios de sostenibilidad ecológica y productiva.

Finalmente, la transferencia tecnológica permite a INIA contribuir a la competitividad y sustentabilidad social, económica y ambiental de la agricultura y del medio rural mediante aportes en tecnologías de procesos y alternativas productivas. Además, en esta área se entrega información relevante para que agricultores e instituciones puedan tomar decisiones acertadas según el estado de los cultivos o la agricultura nacional.

Para facilitar la Transferencia, INIA utiliza los Grupos de Transferencia Tecnológica (GTT). Su metodología de ellos establece la formación de grupos de 10 a 15 productores que comparten características similares (geografía, tamaño, rubro, orientación productiva e intereses), que acuerdan reunirse periódicamente bajo la coordinación de INIA, recibiendo juntos conocimientos técnicos y económicos a través de actividades como cursos, talleres, seminarios y días de campo. En la actualidad operan 35 GTT, desde Arica a Puerto Montt, con aproximadamente 400 productores.

⁴⁴ Para más información, visitar la página del INIA sobre los Bancos de Germoplasma (<http://www.inia.cl/red-de-bancos-de-germoplasma/>)

VI. Productos y servicios principales

1) Semillas INIA

La Unidad de Transferencia de Productos Tecnológicos es la encargada de administrar y vender en el mercado nuevas variedades vegetales desarrolladas por investigadores del INIA. Estas nuevas semillas creadas a través del Programa de Mejoramiento Genético, así como otras tecnologías potenciadoras del desarrollo agroindustrial.

2) Revistas

a) Revista Tierra Adentro

Producida desde 1995 por INIA, la revista Tierra Adentro se distribuye trimestralmente en el país. Contiene artículos sobre transferencia tecnológica y avances en las investigaciones de INIA en sus distintas líneas de negocios.

b) Chilean Journal of Agricultural Research

Esta revista se publica trimestralmente en inglés. Tiene como misión publicar artículos inéditos de resultados de investigaciones relacionadas con el sector agropecuario, realizadas en el INIA, universidades chilenas y organismos similares en otros países.

La publicación es financiada por INIA y la Comisión Nacional de la Ciencia y de la Tecnología (CONICYT) y se encuentra indizada en Scopus, SciELO (factor de impacto: 0,2039), WoS (ex ISI, factor de impacto: 0,633), entre otras.

3) Red de Bancos de Germoplasma INIA

Los Bancos de Germoplasma funcionan en línea según estándares internacionales. Buscan ser el reservorio de diversidad genética para el desarrollo de variedades vegetales cultivables a través de la investigación. La Red contiene los siguientes tipos de materiales:

- Germoplasma para el cimiento de nuevas variedades
- Genotipos obsoletos de programas de mejoramiento genético
- Variedades antiguas, razas locales y variedades obsoletas de cultivos
- Plantas silvestres de uso actual
- Especies silvestres
- Plantas nativas, endémicas y en riesgo de extinción

4) Servicios de Laboratorio

Su objetivo es aumentar la competitividad del sector silvoagropecuario, mediante el desarrollo y la aplicación de la biotecnología y su transferencia y difusión al sector productivo.

Los distintos servicios de laboratorios disponibles son:

- Laboratorio Post-cosecha
- Laboratorio de Análisis Genético y Propagación de Plantas
- Laboratorio de Suelos
- Laboratorio Calidad de Trigo (Temuco)
- Laboratorio de Suelos y Plantas (Temuco)
- Laboratorio Calidad de Leche
- Laboratorio de Virología (Santiago)
- Laboratorio de Reproducción Ovina
- Laboratorio de Física de Suelos
- Laboratorio de Patología Frutal

5) Informe Agrometeorológico

Para declarar una emergencia agrícola, el MINAGRI creó la Comisión Asesora de Emergencia Agrícola y de Gestión del Riesgo Agroclimático, quien recibe un Informe Técnico del INIA de acuerdo a la información que el propio instituto obtiene gracias a las nuevas tecnologías que el MINAGRI dispone para este fin. Este informe contiene datos meteorológicos, mapas con los principales indicadores agrometeorológicos y un informe de situaciones técnicas para enfrentar una situación de emergencia. Toda esta información (más otras de otras instituciones de MINAGRI) permiten a la Comisión tomar decisiones respecto a la situación agrícola del país, siendo INIA un apoyo para éstas.

VII. Análisis de alternativas

Para resolver el tema de la obtención de información actualizada, se encuentran las siguientes alternativas:

1) Consulta a los agricultores

La primera alternativa es realizar un Censo a menor escala, solo en las comunas de Lonquimay y Los Sauces, en la que personal de INIA (en conjunto con otras instituciones ministeriales) consulten a los agricultores de la zona sus cultivos de esa temporada.

Si bien esta alternativa permite a INIA una fuente de primera mano de la situación de las comunas, debido a su ubicación geográfica puede que las inclemencias del clima (en especial en Lonquimay que es zona precordillerana) impidan la completa realización de la actividad. Además, esto debiese realizarse 2 veces al año, por lo que representaría un alto costo para la institución por las horas que debiesen destinarse a realizar este Censo.

2) Registro de agricultores

Otra alternativa es generar algún incentivo para que los agricultores se acerquen a INIA a dar cuenta de sus cultivos de ese año, las semillas plantadas y el tiempo de crecimiento.

La desventaja de esa alternativa es que se debe confiar en demasía en la información entregada por el agricultor, lo cual podría generar múltiples errores por la recolección de datos de personas no capacitadas. Además, culturalmente la información que se entregaría no sería confiable.

3) Uso de imágenes satelitales

La tercera alternativa es el uso de imágenes de teledetección para identificar los cultivos de la región, los cuales se ha probado que son distinguibles de acuerdo a la longitud de onda reflejada.

Existen diversos tipos de imágenes que pueden ser utilizadas:

- Imágenes aéreas: consisten en contratar un avión al cual se le entrega una ruta de vuelo para que tome fotografías.
- Imágenes drones: los drones pueden alcanzar alturas bajas y en general tienen mayor flexibilidad para determinar sus rutas de vuelo
- Imágenes satelitales: existen distintos satélites orbitando la Tierra, que presentan sensores con imágenes de distintas resoluciones y usos.

Los primeros 2 tipos de imágenes presentan una mejor resolución que las imágenes satelitales, en cuando a información entregada en 1 píxel. Además, son más flexibles a problemas climáticos, como por ejemplo la presencia de nubes que “ensucien” la imagen (simplemente se sale a volar otro día). Sin embargo, el alto costo que implica cubrir una región entera con imágenes aéreas o con drones es una gran desventaja de esas alternativas.

Por otro lado, el costo de las imágenes satelitales varía según su precio, incluyendo imágenes de mediana resolución que han sido liberadas (gratis) por la Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS). En esta categoría se encuentran las imágenes del programa de satélites Landsat, los cuales poseen un largo historial espacial.

La alternativa de las imágenes satelitales es la que se seleccionó para el proyecto, ya que representa una información más confiable que la que podría obtenerse en terreno.

VIII. Espectro electromagnético

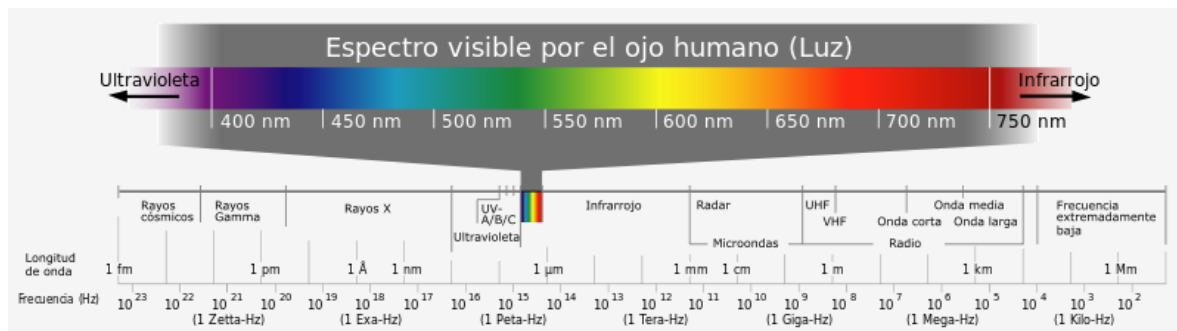


Figura 38: Espectro electromagnético

IX. Corrección imágenes satelitales

1) Corrección radiométrica

Se refiere a aquellas técnicas que modifican los valores numéricos de cada píxel para acercarlos a lo que sería una percepción ideal (funcionamiento y condiciones atmosféricas perfectas). Se tratan casos de:

- Líneas o píxeles perdidos
Se corrigen artificialmente según los píxeles vecinos por auto-correlación espacial.
- Bandeado de la imagen
Mala codificación de la radiancia por mala calibración de los sensores que se soluciona considerando que toda la imagen debiese presentar histogramas de bandas similares.
- Cálculo reflectividades o correcciones atmosféricas
La obtención de variables comparables entre bandas requiere armonizar el calibrado del sensor con las condiciones de observación – como ángulo de iluminación y adquisición – y elementos ambientales – efecto atmosférico.
- Detección de nubes
Cubierta nubosa introduce distorsión en las series temporales, por lo que es imprescindible discriminarlas a través de técnicas que permitan clasificar un píxel como nuboso cuando cumple una serie de condiciones.

2) Corrección geométrica

Las correcciones geométricas incluyen cambios en la posición que ocupan los píxeles basándose en funciones numéricas. Esto se emplea para corregir imágenes de forma cartográfica para corregir errores derivados de la rotación e inclinación de órbita, o para superponer imágenes entre sí, de manera de poder realizar estudios multitemporales o crear mosaicos para abarcar mayor territorio.

3) LEDAPS

El modelo Landsat Ecosystem Disturbance Adaptive Processing System (LEDAPS) fue desarrollado por NASA en 2004 y se utiliza para realizar correcciones atmosféricas considerando la reflectividad superficial de cada imagen. La herramienta LEDAPS incluye módulos para calibraciones de reflectancia top-of-atmosphere, detección de nubes y corrección atmosférica.

Su uso permite asegurar la compatibilidad entre diferentes sensores y también entre distintas fechas de adquisición de las imágenes.

X. Pilares y Objetivos Estratégicos de INIA

1) Pilar Competitividad

“Convertir a INIA en el gran facilitador del desarrollo de Chile como potencia agroalimentaria, mediante la generación y transferencia de conocimientos y tecnologías competitivas a escala global”.

Este Pilar se refiere a la actividad principal realizada por INIA: Investigación y Desarrollo (I+D) y Transferencia Tecnológica, abordando las oportunidades de mejora que afectan el cumplimiento de la visión y misión de la institución.

2) Pilar Modernización

“Modernizar la organización, incrementando la eficiencia, eficacia y transparencia para su adaptación a los actuales y nuevos escenarios”.

El éxito del proceso de I+D requiere de un soporte institucional sólido. Para afrontar los escenarios cada vez más competitivos, INIA debe optimizar sus mecanismos de funcionamiento, adaptar procesos y agilizar la capacidad de respuesta a las exigencias externas e internas. Los ámbitos críticos a abortar están asociados a la gestión de personas, gestión financiera y gestión de calidad, apoyándose en tecnologías de alto nivel.

3) Pilar Posicionamiento

“Posicionar la marca de INIA, comunicando y promocionando su oferta de valor para el cliente interno y externo”.

Junto con alcanzar y mantener niveles internos de información, la organización debe ser capaz de mirar a INIA desde el mercado para focalizar contenidos, canales y segmentos objetivos de comunicación, sobre la base del conocimiento de su oferta de valor. Los mecanismos para lograr esto son el fortalecimiento de los canales, puntos focales y el liderazgo ejercido a través de las comunicaciones internas y externas.

4) Pilar Sustentabilidad

“Alcanzar el equilibrio entre el desempeño institucional y científico de INIA en materia de sustentabilidad”.

Con esto se busca avanzar en la mejora de los parámetros de sustentabilidad de las operaciones de INIA, incorporando buenas prácticas de desempeño ambiental en las oficinas y equipos de trabajo asociado a la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero. Desde el punto de vista de I+D, se quiere consolidar y proyectar la oferta tecnológica con énfasis en temas de cambio climático, recursos hídricos y uso de agroquímicos principalmente.

XI. Detalle Plan Estratégico de INIA

PILAR COMPETITIVIDAD					
PROPOSITO	Convertir a INIA en el gran facilitador del desarrollo de Chile como potencia agroalimentaria, mediante la generación y transferencia de conocimientos y tecnologías competitivas a escala global.				
META al año 2017	Generar impacto con la I+D desarrollada por INIA, para que Chile avance en convertirse en potencia alimentaria.				
PLAN	LIDERAZGO	LINEAMIENTO	INDICADOR DE GESTION	VALOR BASE	VALOR META
1. INTELIGENCIA COMPETITIVA I+D	Unidad de PI y Unidad de Documentación e Información	Seguimiento de factores críticos de vigilancia tecnológica a partir de fuentes válidas	N° consultas al año al software de vigilancia tecnológica Goldfire. % de incremento de consultas al año a la base Biblioteca Electrónica de Información Científica (BEIC).	6 2000 consultas	>= 30 10%
		Análisis para la focalización y generación de información de vigilancia tecnológica de apoyo a la toma de decisiones	N° reuniones mensuales entre coordinador, investigador y unidad PI N° reportes Vigilancia Tecnológica mensual generada y difundida por Unidad PI por Coordinación	0 0	>=1 >=1
		Aplicación de la información por los tomadores de decisiones I+D	% de patentamientos anuales que se originan con el apoyo de reportes de vigilancia tecnológica	0	1
		Facilitar el acceso de la información a equipos de trabajo I+D	N° de licencias de software de vigilancia tecnológica vigentes y disponibles	1	1
		2. GENERACION DE CONOCIMIENTO Y TECNOLOGIA	Coordinación de Programas Nacionales I&D	Focalización en tecnologías sustentables de alto valor:	N° de solicitudes anuales de patentes valoradas en el cuadrante II ampliado de acuerdo a método Patent Valuations de Murphy W., Orsuti J., Remus P.
Alineamiento de proyectos I+D con las líneas de Investigación con el foco I+D Institucional	% de proyectos en ejecución alineados con los focos estratégicos de las coordinaciones.	Por determinar		>= 70 %	
Posicionamiento del Mejoramiento Genético como eje estratégico transversal de la I+D	N° de variedades vegetales de alto valor registradas al año	4		>= 4	
Posicionamiento de la Sustentabilidad como un atributo que agrega valor al Mejoramiento Genético	N° de variedades vegetales de alto valor registradas al año	4		>= 4	
Desarrollo de un Modelo de Apalancamiento de recursos a través de proyectos concursables	% de incremento anual de los recursos apalancados desde fondos concursables (valor UF del 31 de diciembre del año calendario).	209.713 UF		>= 3 %	
Acercamiento a Fuentes de Financiamiento	N° reuniones anuales por fuente de financiamiento	<1		>= 1	
Vinculación a empresas e instituciones líderes del sector agroalimentario nacional e internacional	% de incremento anual de las empresas que participan en proyectos de I+D INIA con aporte pecuniario	Por determinar		5%	
Fortalecer el concepto de la Propiedad Intelectual en INIA	N° anual de actividades de difusión interna sobre el concepto e importancia de la Propiedad Intelectual en INIA % de incremento anual de patentes de tecnologías INIA de alto valor comercializadas	10 0		10 1%	
Generar e implementar Indicadores de Gestión de la I+D INIA.	N° de evaluaciones semestrales de indicadores de apalancamiento de recursos por Coordinación y CRI	0		1	
	N° de evaluaciones semestrales de indicadores de productividad científica por Coordinación y CRI	0		1	

PLAN	LIDERAZGO	LINEAMIENTO	INDICADOR DE GESTION	VALOR BASE	VALOR META
3. TRANSFERENCIA DE CONOCIMIENTO Y TECNOLOGIA (TT)	Coordinación Nacional de Transferencia Tecnológica	Rol activo de TT en los Consejos Directivos Externos de los CRI	N° de Planes Territoriales definidos con cada Consejo Directivo Externo	0	>=10
		Levantamiento y priorización de la demanda con actores de las cadenas productivas:	N° de Líneas de Base territoriales definidas con actores relevantes	4	10
		Especialización de transferencistas en rubros prioritarios demandados por territorio:	N° anual de cursos externos de especialización para transferencistas.	Por determinar	3
			N° anual de cursos internos de capacitación con investigadores INIA para transferencistas	Por determinar	5
			N° anual de cursos de capacitación dirigidos a los investigadores INIA que juegan el rol de capacitador de capacitadores (agentes de extensión del territorio).		
		Validación de las tecnologías con productores líderes de cada territorio para reducir brechas	N° anual de Tecnologías validadas en el periodo 2014-2017	14	15
		Incorporar la medición de Impacto de la Transferencia INIA	N° anual de Evaluaciones de Impacto Territoriales	0	10
Documentación de los resultados TT	N° de informes anuales con resultados por territorio	0	10		
4. PRODUCCION Y COMERCIALIZACION DE INSUMOS TECNOLOGICOS	Unidad de Producción y Comercialización de Insumos Tecnológicos	Implementar indicadores de gestión que midan la eficiencia productiva	% disminución de costo directo/ha/año por especie y variedad de semillas priorizadas	Por determinar	5%
			% incremento del rendimiento/ha/año por especie y variedad de semillas priorizadas	Por determinar	10%
		Promover la vinculación e integración de I+D con los Negocios Tecnológicos	N° de planes anuales de trabajo con Programas I+D asociados a la comercialización de variedades INIA.	1	>=1
			N° de reuniones anuales entre el equipo de trabajo I+D e Insumos Tecnológicos	1	1
		Fortalecimiento de la marca "Semillas INIA", y mensaje "Genética que da confianza" a través de la comercialización de la Unidad de Producción y Comercialización de Insumos Tecnológicos	N° anual de actividades promoción por zona (seminarios, días de campo, feria, etc).	Por determinar	1
		Evaluar la generación de una empresa filial o coligada a INIA que permita optimizar la operación de Insumos Tecnológicos	N° de evaluaciones de posibles empresas filiales o coligadas a INIA	0	3
5. EVALUACION DE IMPACTO DE LA I+D	Unidad de Planificación Seguimiento y Evaluación (UPSE)	Definición e Implementación de la metodología de Evaluación de Impacto de la I+D INIA	N° de rubros anuales con evaluación de impacto	0	2
		Retroalimentación de la I+D INIA con los resultados de la Evaluación de Impacto:	N° de rubros anuales con retroalimentación de su evaluación de impacto	0	2
		Difusión de reporte de impacto I+D y TT INIA	N° anual de actividades de difusión de las evaluaciones de impacto (foros estratégicos, seminarios, ferias, etc).	0	>=1

PILAR MODERNIZACIÓN					
PROPOSITO	Modernizar la organización, incrementando la eficiencia, eficacia y transparencia para su adaptación a los actuales y nuevos escenarios.				
META para el año 2017	La plataforma que soporta la I+D alcanza los estándares de calidad establecidos para cada área de mejora considerada en este Plan.				
PLAN	LIDERAZGO	LINEAMIENTO	INDICADOR DE GESTION	VALOR BASE	VALOR META
6. GESTION DE CALIDAD Y RIESGO	Secretaría Técnica	Levantamiento e implementación de procesos institucionales asociados a la matriz de riesgo	% de procesos institucionales levantados	6	100%
			% de procesos institucionales implementados	Por determinar	100%
		Levantamiento e implementación de procesos institucionales asociados a gestión de calidad	% de procesos institucionales levantados	25%	100%
			% de procesos implementados	Por determinar	100%
		Monitoreo de la implementación de los procesos asociados a gestión de riesgos y gestión de calidad	% cumplimiento/ anual del plan de tratamiento implementado	Por determinar	100%
		Certificaciones de calidad vigentes (ISO Bancos de Germoplasma, laboratorios, procesos I+D; BPA campos; PARCO)	N° de certificaciones de calidad implementadas	Por determinar	5
7. GESTION FINANCIERA	Subdirección Nacional de A&F	Sistema de administración por indicadores financieros	4 tipos de indicadores: Rentabilidad: Margen Operacional Liquidez: Prueba re-ácida Actividad: CoC (días) y CoP (días) ($\frac{\text{Deuda total}}{\text{Activo Total}} \times 100$) ($\frac{\sum \text{de saldos cte. operaciones y exclusivas}}{\text{deuda con FF Externas}} \times 100$)	Actual Mg. operac. 2012: 2,34% Prueba re-ácida 2012: 0,36 CoC 2012: 22,4 días CoP 2012: 20,5 días Deuda Total = 22,7% ($\frac{\text{IMMS } 5.528 + \text{MMIS } 9.632}{\text{MMIS } 66.814} \times 100$) Deuda FF Ext = 29,6% ($\frac{\text{IMMS } 1.578 + \text{MMIS } 81}{\text{MMIS } 5.062} \times 100$)	Mg. Operac.: Mantener Prueba re-ácida: =1, superando año anterior. CoC: Mantener bajo 30 días. CoP: Comprar de FF 70, no superar los 30 días. Compra otras FF, no superar los 60 días. Deuda total ≤ 22,7% Deuda FF Ext ≤ 30%
		Acercamiento a Fuentes de Financiamiento	Número de reuniones anuales con fuentes de financiamiento (I+D con A+F).	0	1 reunión anual con cada una de las 4 FF Est. más relevantes
7. GESTION FINANCIERA	Subdirección Nacional de A&F	Mejora continua en el control de gasto y rendición a fuentes de financiamiento	Control de desviaciones: % de rechazo de recursos y % de ejecución de los recursos asignados	Subsecretaría % de rechazo año 2012: 0,14% % de ejecución recursos: 99,65% Otras Fuentes % de rechazo otras FF año 2012: N/D % de ejecución recursos	Subsecretaría: % rechazo: Disminuir o mantener % ejecución: Aumentar o mantener Otras Fuentes: Construir indicador % rechazo y realizar seguimiento Construir indicador % ejecución y realizar seguimiento
		Continuar con la estandarización de procesos administrativos y contables	N° proceso incorporados al ERP (software de gestión de recursos empresariales en proceso de implementación)	No aplica	Todos los procesos estarán en operación al 31/12/2014 Contabilidad, Tesorería, Adquisiciones, Presupuesto, Insumos Tecnológicos

PLAN	LIDERAZGO	LINEAMIENTO	INDICADOR DE GESTION	VALOR BASE	VALOR META			
B. GESTION DE PERSONAS	Dpto. RR.HH	Reforzamiento y optimización de los RR.HH	Retiros Mandatorios	Cumplimiento según norma	Mantener cumplimiento según norma			
			Optimización Administrativa y Productiva	No aplica	Plan de Optimización a largo plazo			
		Adecuar la Estructura Organizacional a las necesidades de la institución	Actualización de perfiles de cargo y competencias	3	100% de los perfiles de cargos y competencias descritos			
			Homologación de cargos	Por determinar	100% de los cargos homologados, en matriz de cargos			
			Estructuras Organizacionales de los CRI's actualizados	0	10			
		Revisión de Sistema de Remuneraciones de PMA	Estudio de remuneraciones acorde al mercado	No existe	1 estudio cada dos años			
			Sistema de Evaluación de Desempeño Actualizado para cada estamento	0	100% de los estamentos disponen de un nuevo sistema de evaluación de desempeño.			
			Sistema de Compensaciones, Beneficios e Incentivo actualizado	0	100% de los estamentos disponen de un nuevo sistema de compensaciones, beneficios e incentivo.			
			B. GESTION DE PERSONAS	Dpto. RR.HH	Formación y capacitación de personas	N° de horas de capacitación por trabajador por estamento	Por determinar	Aumento de un 10% anual en número de horas de capacitación
					Fortalecimiento procesos de selección y reclutamiento de personal	N° de días del proceso de Reclutamiento, Selección e Inducción (desde la solicitud hasta la selección)	95	Disminuir el tiempo de ejecución del proceso de reclutamiento y selección en un 50%
Sucesión de Cargos Críticos	Plan de sucesión validado e implementado	No existe			1			
	Cumplimiento de plazo de reemplazo establecidos según Plan	No existe			Disponer de un reemplazo del cargo crítico dentro del plazo establecido por el Plan			
Investigador Emérito	Política y Procedimiento definido e implementado	No existe			Revisión anual de las postulaciones al proceso de nombramiento de Investigador emérito			
Prevención de riesgos	N° anual de accidentes en el periodo	Por determinar			Disminuir un 10% anual el número de accidentes			
	N° anual de días perdidos	Por determinar			Disminuir un 20% anual el número de días			

PLAN	LIDERAZGO	LINEAMIENTO	INDICADOR DE GESTION	VALOR BASE	VALOR META
9. TECNOLOGIAS DE INFORMACION	Unidad de GDI	Arquitectura de TI	Documento de Arquitectura de TI definido y actualizado anualmente	No existe	1 Documento generado 1 Documento actualizado anualmente
		Implementación de Sistemas de Información Avanzados	Sistema BPMS instalado y operativo	1 Sistema BPMS instalado. No operativo. - 1 Sistema RRHH instalado y operativo parcialmente - 1 Sistema Integrado de Proyectos operativo y requiere mejoras	1 Sistema BPMS operativo
			Sistema ERP instalado y operativo	1 Sistema ERP no instalado	1 Sistema ERP operativo
			Sistema RRHH instalado y operativo	1 Sistema RRHH instalado y operativo parcialmente	1 Sistema RRHH operativo
			Mejoras al Sistema Integrado de Proyectos	1 Sistema Integrado de Proyectos operativo y requiere mejoras	1 Sistema Integrado de Proyectos mejorado
		Mantenimiento de Infraestructura	Revisión preventiva de Infraestructura de TI	nº Reparaciones reactivas cada vez que se requiera	4 Revisiones preventivas anuales

PILAR POSICIONAMIENTO					
PROPÓSITO	Posicionar la marca INIA, comunicando y promocionando su oferta de valor para el cliente interno y externo.				
META para el año 2017	INIA continuará posicionado como el Instituto referente en HDV TT para el sector agroalimentario a nivel nacional, y se fortalecerá su presencia a nivel internacional.				
PLAN	UBICAZO	LINEAMIENTOS	INDICADOR DE GESTIÓN	VALOR BASE	VALOR META
10. FORTALECIMIENTO DE LAS COMUNICACIONES INTERNAS	Unidad de Comunicaciones	Fortalecimiento de los canales de comunicaciones internas	Política de Comunicación actualizada y difundida	0	1
			NP Procesos y procedimientos de comunicación implementados	0	100%
			% Actividades del Plan Anual de comunicaciones internas, implementadas	0	100%
			% Aceptación y uso de Intranet	No existe	100%
			NP Manual de comunicación para líderes internos	0	Por determinar
			NP Horas/año en capacitaciones en comunicaciones	Por determinar	Incrementar en 10% anual
			% Situaciones de crisis superadas satisfactoriamente, de acuerdo a instrucciones institucionales	No existe	100%
		Institucionalización de la comunicación con los trabajadores	% de canales de comunicación definidos, validados e implementados, entre trabajadores y autoridades	Por determinar	100%
			% Efectividad de los canales de comunicación internos	Por determinar	Alcanzar el 100% de efectividad
			NP reuniones de los trabajadores con Director nacional	Por determinar	Incrementar en 10% anual
			NP reuniones de los trabajadores con Director regional	Por determinar	Incrementar en 10% anual
		Promoción del Orgullo de Pertenecer	N° de mecanismos de reconocimiento individual, al desempeño y compromiso institucional, implementados	Por determinar	Implementados 100%
			N° de mecanismos de reconocimiento al trabajo en equipo creados e implementados	Por determinar	Implementados 100%
			N° de mecanismos de difusión de hitos de impacto y vinculación difundidos internamente	2	>=2
			N° de programas nacionales de ISD con metas comunicacionales Internas establecidas	7	7
		11. FORTALECIMIENTO DE COMUNICACIONES EXTERNAS	Unidad de Comunicaciones	Fortalecimiento de los canales de comunicación externas	Plan de Marketing institucional, diseñado e implementado
Plan de Comunicaciones externas, implementado	0				1
Plan para el fortalecimiento de la Web INIA como principal canal de comunicaciones externas	0				1
% Efectividad de los canales de comunicación externos	Por determinar				Alcanzar el 100% efectividad
% Alineamiento de la estrategia comunicacional entre las distintas dependencias de INIA	Por determinar				100%
Identificación y base de datos de actores claves/público objetivo, nacionales e internacionales	0				1
Plan para la generación de certamen institucional con los actores claves identificados	0				1
Estandarización en la aplicación de la Imagen Corporativa	% Incremento anual de las apariciones INIA en medios de prensa externos			Por determinar	Incremento de un 15% anual
	Manual de Normas gráficas actualizado, difundido y aplicado			1	1
	% cumplimiento de procedimiento establecido para aplicación de normas gráficas			Por determinar	100%
Desarrollo de la estrategia global para la marca INIA y submarcas INIA (por ej. Semillas INIA)	Diseño del Plan de Posicionamiento de la marca y submarcas INIA			No existe	100%
	Socialización interna y externo directo			No existe	100%
	Implementación de la estrategia de marca			No existe	100%
	Plan de Monitoreo e incorporación de mejoras a la estrategia de marca			No existe	100%

PLAN SUSTENTABILIDAD					
PROPÓSITO	Alcanzar el equilibrio entre el desempeño institucional y científico de INIA en materia de sustentabilidad.				
METAS PARA EL AÑO 2017	INIA se consolida como referente científico en la generación y transferencia de tecnologías para la sustentabilidad, mientras sus parámetros institucionales evolucionan favorablemente.				
PLAN	LIDERAZGO	LINEAMIENTO:	INDICADOR DE GESTION	VALOR BASE	VALOR META
12. SUSTENTABILIDAD DEL QUEHACER INIA	Secretaría Técnica de la DN	Política de sustentabilidad Institucional	Política de sustentabilidad aplicada y revisada anualmente	0	1
		Certificación de Huella de Carbono CEMARS obtenida anualmente	Renovación anual obtenida satisfactoriamente	1	1
			% cumplimiento actividades del Plan de mitigación GEI	por determinar	100%
		% Disminución anual de emisión de GEI	por determinar	Disminuir en un 5% anual	
		Campaña Difusión interna	% actividades del Plan de difusión, implementadas	0	100%
13. APOORTE DE LA I+D INIA A LA SUSTENTABILIDAD	Coordinador de Sustentabilidad y Medio Ambiente	Iniciativas de I+D en Cambio Climático	Proyectos de Investigación	Dos proyecto en ejecución: mejoramiento genético tolerancia a estrés hídrico y renovación inventario GEI	Posicionar a INIA como referente nacional en estas líneas de investigación en el largo plazo.
		Reducción de Agroquímicos:	Contribuir a la reducción de analitos presentes en la fruta de exportación y / o hortalizas de consumo fresco.	1 empaquetamiento tecnológico por año	> o = 1
		Optimización del uso del agua:	Contribución a la optimización de uso del agua.	no aplica	Disponer mediante agromet.inia.cl dos recomendaciones de riego anual abarcando los principales cultivos asociados a la red.
		Reducción de gases efecto invernadero	Contribuir a la reducción de gases invernadero.	1	Validar una tecnología/práctica por año
		Uso de Energías Renovables No Convencionales (ERNCC)	Implementación de tecnologías de ERNC	1	Al menos dos tecnologías ERNC implementadas

XII. Modelo de Negocio

1) Segmento de clientes

Como ya se mencionó, los principales segmentos de clientes de INIA corresponden a:

- a) MINAGRI e instituciones ministeriales, quienes se ocupan del desarrollo del país en su conjunto en el rubro de lo silvoagropecuario.
- b) Instituciones financieras de los proyectos de investigación, quienes buscan desarrollo tecnológico para el país o manera privada al financiar investigaciones.
- c) Productores agropecuarios chilenos de todos los tamaños, quienes son los beneficiarios finales de la cadena de valor de INIA, ya que en definitiva son ellos quienes aplican las técnicas y utilizan las tecnologías diseñadas.

2) Propuesta de valor

Los dos ejes principales de INIA son la investigación y la transferencia tecnológica. Ambos conceptos engloban todas las tareas que se realizan en la institución, la cual busca servir al país en el ámbito agropecuario.

Por tanto, INIA es una institución que ofrece innovación por investigación y/o adaptación de tecnologías existentes para su uso en la agricultura chilena, transfiriendo este conocimiento directamente a los agricultores.

3) Canales

INIA realiza difusión de su propuesta de valor en medios escritos, radiales, televisivos e internet, además de efectuar actividades con los agricultores y participar activamente de exposiciones agrícolas, charlas especializadas y días de campo a lo largo del país.

En los medios escritos, se encuentra la producción y redacción de artículos, reportajes, crónicas escritas y audiovisuales para ser difundida en periódicos y revistas, como las mismas revistas de INIA: Chilean Journal of Agriculture Research y Tierra Adentro.

INIA posee su propio sitio web: www.inia.cl, el cual permite dar a conocer información institucional y publicita las actividades realizadas en las áreas de Investigación y Desarrollo, además de permitir al acceso a la sección de ventas de semillas y otros servicios. Además de este sitio, al 2013 INIA poseía 51 dominios inscritos, correspondientes a cada uno de los proyectos desarrollados.

Respecto a las redes sociales, INIA posee una cuenta institucional en YouTube⁴⁵, medio a través del cual publica videos temáticas sobre actividades de transferencia tecnológica y resultados de investigaciones. También publica información en sus cuentas de twitter y Facebook.

⁴⁵ INIA en YouTube: <https://www.youtube.com/channel/UCKX0hSprur3OK1XMez1BH-g>

4) Relación con los clientes

INIA se comunica con la gran mayoría de sus clientes a través de los Grupos de Transferencia Tecnológica (GTT). Su metodología establece la formación de grupos de 10 a 15 productores agrícolas o pecuarios que comparten características similares (geografía, tamaño, rubro, orientación productiva e intereses), que acuerdan reunirse periódicamente bajo la coordinación de un experto del INIA. Así, estos grupos reciben conocimientos técnicos y económicos a través de múltiples actividades (cursos, talleres, seminarios, días de campo), para alcanzar sus objetivos. En la actualidad se operan 37 GTT (445 productores).

Además de esto, INIA también realiza capacitaciones a empresas privadas que apoyan sus proyectos, interviniendo en sus procesos de producción para mejorarlos y aumentar la calidad de éstos.

En cuanto a las instituciones ministeriales, INIA entrega reportes periódicos a las instituciones que lo requieren con la información procesada de algún tema en particular, por ejemplo el informe agrometeorológico mencionado anteriormente.

5) Actividades claves

Las actividades claves de INIA pueden dividirse en 4:

a) Recolección de datos

Sin los datos para las investigaciones, INIA no tendría el sustento científico para justificar sus descubrimientos e innovaciones. La recolección de datos se realiza de manera online o manual, dependiendo de las condiciones donde se encuentren los sensores. Con la modernización de equipos, muchos de éstos pueden comunicar sus datos a través de WiFi a algún centro que lo replica a las instituciones de INIA, pero en algunas zonas que están alejadas de antenas o que las condiciones climáticas no son propicias para tener esta tecnología, un investigador del INIA debe ir a descargar los datos.

b) Investigación

Uno de los pilares más importantes de la institución es la investigación, con la cual pueden desarrollar la innovación que se requiere en el rubro. Es importante recalcar que esta investigación puede tener fines privados, pero INIA vela porque el conocimiento adquirido pueda también ser replicado a aquellos productores con poco poder económico.

c) Transferencia tecnológica

El otro pilar fundamente de INIA es la difusión de los conocimientos adquiridos de lo agropecuario. La información obtenida no significa nada para la institución si se mantiene dentro de sí misma, el fin último de todos los desarrollos realizados en investigación es el de ponerlo a disposición pública para ser utilizada de la manera correcta por los productores.

d) Entrega de información relevante

Dado que INIA depende de MINAGRI, una de sus principales tareas es la de entregar información que permita la toma de decisiones oportuna, para la cual se desarrollan informes e indicadores de alguna situación particular que sea de interés para desarrollar políticas públicas agrarias y pecuarias, sobretodo en situaciones de emergencia ambiental.

6) Recursos claves

Para las actividades claves mencionadas anteriormente, se necesitan los siguientes recursos para realizarlas.

a) Investigadores

Los investigadores de INIA son en su gran mayoría ingenieros agrónomos especializados en diferentes áreas, los que cuentan con la experiencia necesaria en terreno para entender los procesos naturales que están estudiando y poder compartir su conocimiento. Este recurso es uno de los más cruciales, ya que el *know how* de cada investigador es clave para INIA y son ellos quienes finalmente mueven la institución.

b) Infraestructura

Para el desarrollo de las investigaciones y otras actividades, INIA requiere contar con sus laboratorios y oficinas técnicas, ubicadas en los Centros de Investigación y Centros Experimentales a lo largo del país. Dentro de sus instalaciones, INIA puede desarrollar sus actividades con la tecnología necesaria sus experimentos.

c) Datos e información histórica

El repositorio de información y datos que posee el INIA es una de sus mayores fuentes de información, ya que poseen datos meteorológicos, climáticos, de suelo, topográficos, entre otros, de más 20 años (de registros electrónicos), lo que permite caracterizar la evolución del medio ambiente de Chile y así también poder hacer modelos comparativos con suficiente información referencial.

7) Socios estratégicos

Si bien INIA entrega información a MINAGRI, la institución también se alimenta de información de las otras instituciones ministeriales y se apoya en ellas algunas veces para realizar sus actividades de Transferencia Tecnológica, por lo que se les considera como un importante socio estratégico.

Otro socio clave son las universidades y/o centro de estudios especializados, que realizan investigación propia. Generalmente los investigadores trabajan realizando desarrollos tanto en INIA como en estas organizaciones, lo que ayuda a la sinergia de INIA y genera cooperación entre ambos tipos de organizaciones. Las universidades que se consideran socias estratégicas tienen relación con la localización de los Centros de Investigación.

Por ejemplo, en Chillán, INIA Quilamapu y la Universidad de Concepción (en Chillán) trabajan en conjunto en variados proyectos, compartiendo fondos y profesionales.

El tercer socio estratégico son las empresas privadas (como Carozzi y Tucapel) y organizaciones públicas (como CORFO y CONICYT) que entregan fondos para realizar las investigaciones, sin los cuales no sería posible crear los desarrollos de INIA.

8) Fuentes de ingresos

Como se mencionó, los proyectos de investigación se financian con concursos públicos y contratos privados nacionales, constituyendo la mayor fuente de ingresos de INIA. También se financia con convenios públicos y contratos privados internacionales para realizar servicios de distinta índole, cursos, talleres, seminarios, etc.

La venta directa de tecnología también constituye una fuente de ingresos, en la que INIA produce y comercializa sus propias semillas certificadas, además de contar con 11 patentes de innovaciones tecnológicas para el mejoramiento genético de variedades de plantas, control de plagas y procesos biotecnológicos.

9) Estructura de costos

Los mayores costos de INIA son en tecnología para realizar los proyectos y para almacenar los datos obtenidos por los recopiladores de datos en todo el país, además de la mantención de los mismos. Dado que la infraestructura de INIA es uno de sus recursos claves, es importante la mantención que reciben sus instalaciones, en especial los laboratorios especializados.

INIA también invierte en capacitar a su personal, ya sea a investigadores, profesionales no investigadores, técnicos y personal de apoyo, administrativos y operarios de planta, los cuales son regularmente capacitados en los Centros para aumentar el valor de la oferta de la institución.

Finalmente, el desarrollo de cada investigación genera sus propios costos de transporte, alimentación y equipamiento, los cuales debiesen ser completamente cubiertos por los fondos entregados para tales efectos.

XIII. Instituciones de MINAGRI⁴⁶

1. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA)
Genera y proporciona información regional, nacional e internacional del sector silvoagropecuario, para apoyar la toma de decisiones de los agentes públicos y privados, contribuyendo al desarrollo sostenible, equitativo y competitivo del sector. Los análisis y estudios realizados por ODEPA permiten a la autoridad ministerial generar políticas públicas sectoriales.
2. Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP)
Apoya con acciones de fomento y financiamiento al desarrollo productivo sustentable de pequeños y medianos empresarios agrícolas. Otorga además crédito a pequeños agricultores que no tienen acceso a la banca privada, permitiendo un desarrollo inclusivo mediante el fomento de inversiones productivas y capacitaciones técnicas que mejoren la competitividad individual y asociativa del sector.
3. Servicio Agrícola y Ganadero (SAG)
Busca proteger y mejorar la condición fito y zoonosanitaria de los recursos productivos, y conservar los recursos naturales renovables del ámbito silvoagropecuario del país, para contribuir al desarrollo sustentable y competitivo del sector. Para ello genera políticas y normas que le permiten fiscalizar, certificar y proteger la sanidad de los recursos naturales renovables (agua, suelo, aire, flora y fauna) y a certificar la no contaminación de alimentos e insumos silvoagropecuarios.
4. Corporación Nacional Forestal (CONAF)
Contribuye a la conservación, incremento, manejo y aprovechamiento de los recursos forestales de Chile, mediante el fomento, la fiscalización y la protección de los recursos vegetales y la administración de las 100 Áreas Silvestres Protegidas del Estado.
5. Comisión Nacional de Riego (CNR)
Es la encargada de coordinar, implementar y evaluar permanentemente la Política Nacional de Riego, mediante planes y programas que permitan mejorar y aumentar la superficie de riego del país, a través de iniciativas de inversión que optimicen la utilización del recurso hídrico en la agricultura.

⁴⁶ Basado en la información obtenida en <http://www.minagri.gob.cl/institucion/institucional/servicios-del-agro/> [Consultado el 16/08/2016]

6. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA)
Es la principal institución de investigación agropecuaria de Chile. Su tarea es generar y transferir conocimientos y tecnologías estratégicas a escala global para producir innovación, sustentabilidad ambiental y mejorar la competitividad del sector silvoagropecuario.
7. Fundación para la Innovación Agraria (FIA)
Se encarga de promover y fomentar la innovación del sector agroalimentario y forestal para fortalecer las capacidades y el emprendimiento del desarrollo sustentable y competitivo de Chile y sus regiones. Entre sus funciones está apoyar iniciativas, generar estrategias y transferir información y resultados de los proyectos innovadores.
8. Fundación de Comunicaciones, Capacitación y Cultura del Agro (FUCOA)
Colabora en el proceso de modernización de la agricultura nacional, a través de la generación de espacios de comunicación y participación entre los actores del mundo rural, y la valoración de sus tradiciones y quehacer cultural, entregando información sobre las políticas y las realizaciones del MINAGRI.
9. Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN)
Proporciona información de recursos naturales renovables, silvoagropecuarios, alimentarios y productivos del país. Para ello ha reunido la mayor base de datos georreferenciada de suelos, clima, recursos hídricos con el fin de hacerla accesible y útil a los entes estatales y privados, facilitando la toma de decisiones en el diseño de políticas de desarrollo productivo y ordenamiento territorial
10. Instituto Forestal (INFOR)
Busca crear y transferir conocimientos científicos y tecnológicos de excelencia para el uso sostenible de los recursos y ecosistemas forestales, desarrollar productos y servicios derivados. También genera información relevante para el sector forestal, en los ámbitos económico, social y ambiental.
11. Agroseguros (Comité del Seguro Agrícola, ex COMSA)
Administra convenio entre MINAGRI y CORFO que permite a los agricultores traspasar las pérdidas económicas por daños en cultivos asegurados. En la actualidad operan 3 familias de seguros o coberturas:
 - a) Seguros agrícolas (para cultivos anuales, hortalizas, frutales y flores)
 - b) Seguro Pecuario (bovino, ovino)
 - c) Seguro Forestal contra incendios
 - d) Cobertura de precios para commodities agrícolas (opciones en pesos para trigo y maíz)

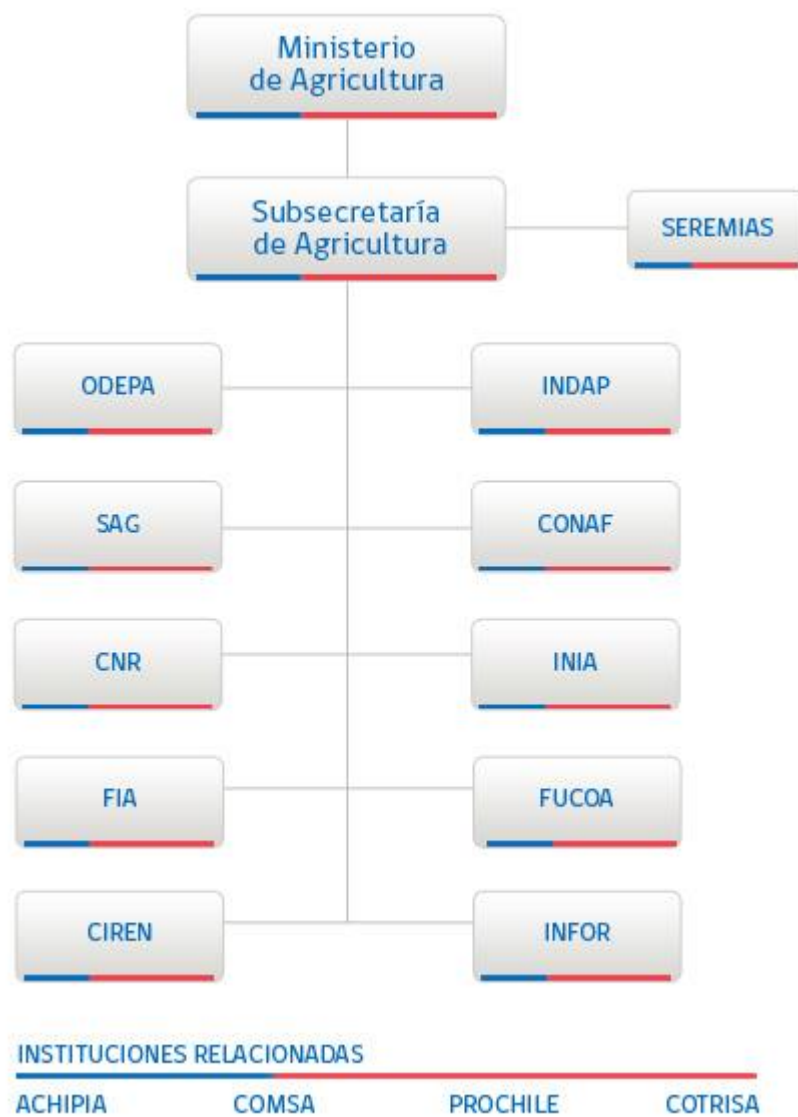


Figura 39: Organigrama MINAGRI
 (Fuente: <http://www.minagri.gob.cl/institucion/institucional/organigrama/>)

XIV. Modelo Boletín Agrometeorológico

1) Actores

- **Editora (nacional):** es la persona encargada de reunir la información necesario para la creaciones de todos los boletines agrometeorológicos, asegurarse que tal información esté correcta para la realidad de cada región, crear el reporte a nivel nacional y enviarlo a las personas correspondientes. También es quien se ocupa de obtener la información hidrológica por región. Físicamente se encuentra en INIA Quilamapu (Chillán).
- **Investigadores regionales:** son investigadores de INIA, especializados en distintas especies en las diferentes zonas del país. Responden a sus propios Centros Regionales de Investigación y son quienes están en contacto más directo con los agricultores
- **Encargado de meteorología (nacional):** es quien revisa la información de las estaciones meteorológicas de INIA para cada región. Físicamente se encuentra en INIA Quilamapu (Chillán).
- **Encargados de índices (nacional):** son 2 personas quienes, utilizando imágenes satelitales actualizadas, extraen índices de vegetación y de disponibilidad de agua por región, estableciendo la panorámica a nivel nacional. Físicamente ambos se encuentran en INIA Quilamapu (Chillán).

2) Plataforma web

Los días 1 de cada mes se habilita el ingreso a la plataforma web que permite organizar la información para los Boletines Agrometeorológicos preparados por INIA.

PANEL DE ADMINISTRACIÓN - BOLETÍN AGROMETEOROLÓGICO

BOLETINES REGIONALES

- [Crear nuevo boletín regional](#)
- [Listado de editores del boletín](#)

RESUMEN EJECUTIVO

- [JULIO 2016](#)

BOLETINES EN EDICIÓN

- [Arica y Parinacota - JULIO 2016](#) >> [En edición](#) [[Cerrar](#)]
- [Tarapacá - JULIO 2016](#) >> [En edición](#) [[Cerrar](#)]
- [Antofagasta - JULIO 2016](#) >> [En edición](#) [[Cerrar](#)]
- [Atacama - JULIO 2016](#) >> [En edición](#) [[Cerrar](#)]
- [Coquimbo - JULIO 2016](#) >> [En edición](#) [[Cerrar](#)]
- [Valparaíso - JULIO 2016](#) >> [En edición](#) [[Cerrar](#)]
- [Metropolitana - JULIO 2016](#) >> [En edición](#) [[Cerrar](#)]
- [O'Higgins - JULIO 2016](#) >> [En edición](#) [[Cerrar](#)]
- [Maule - JULIO 2016](#) >> [En edición](#) [[Cerrar](#)]
- [Biobío - JULIO 2016](#) >> [En edición](#) [[Cerrar](#)]
- [Araucanía - JULIO 2016](#) >> [En edición](#) [[Cerrar](#)]
- [Los Ríos - JULIO 2016](#) >> [En edición](#) [[Cerrar](#)]
- [Los Lagos - JULIO 2016](#) >> [En edición](#) [[Cerrar](#)]
- [Aysen - JULIO 2016](#) >> [En edición](#) [[Cerrar](#)]
- [Magallanes - JULIO 2016](#) >> [En edición](#) [[Cerrar](#)]

Aun hay boletines en edicion, no se puede cerrar este mes.

Carol Ricciardi Yañez

Colaborador de: **Todas las regiones**

[Información personal y clave de acceso](#)

Mis secciones:

INTRODUCCIÓN; RESUMEN EJECUTIVO; COMPONENTE METEOROLÓGICO; COMPONENTE HIDROLÓGICO; ANÁLISIS DE POSIBLES RIESGOS AGROCLIMÁTICOS EN LAS PRINCIPALES ESPECIES DE FRUTALES Y CULTIVOS; CULTIVOS; FRUTALES; HORTALIZAS; GANADERÍA; APLICULTURA; FRADERAS; FLORES; DISPONIBILIDAD DE AGUA; ANÁLISIS DEL ÍNDICE DE VEGETACIÓN NORMALIZADO (INDVI); ÍNDICE DE CONDICIÓN DE LA VEGETACIÓN (VCI); ANÁLISIS DEL ÍNDICE DE VEGETACIÓN AJUSTADO AL SUELO (SAVI);

[[Cerrar sesion](#)]

Figura 40: Vista 1 - Plataforma Web Boletín Agrometeorológico INIA

La plataforma se compone de 2 secciones principales: panel de acceso a la edición de boletines, y un panel con información sobre los permisos del usuario y su información personal.

La pantalla de edición del boletín es diferente dependiendo del usuario. En el caso de la imagen se muestra la visión de la editora del boletín, la cual tiene permisos para editar y accesos a toda la plataforma. Los encargados a nivel nacional de los índices y meteorología tienen acceso a todos los boletines regionales, pudiendo editar solo las secciones que les corresponden. Por último, los investigadores regionales pueden acceder solo a los boletines de su región correspondiente. Al igual que los encargados nacionales, pueden ver el resto del boletín regional, pero sólo pueden editar su sección correspondiente.

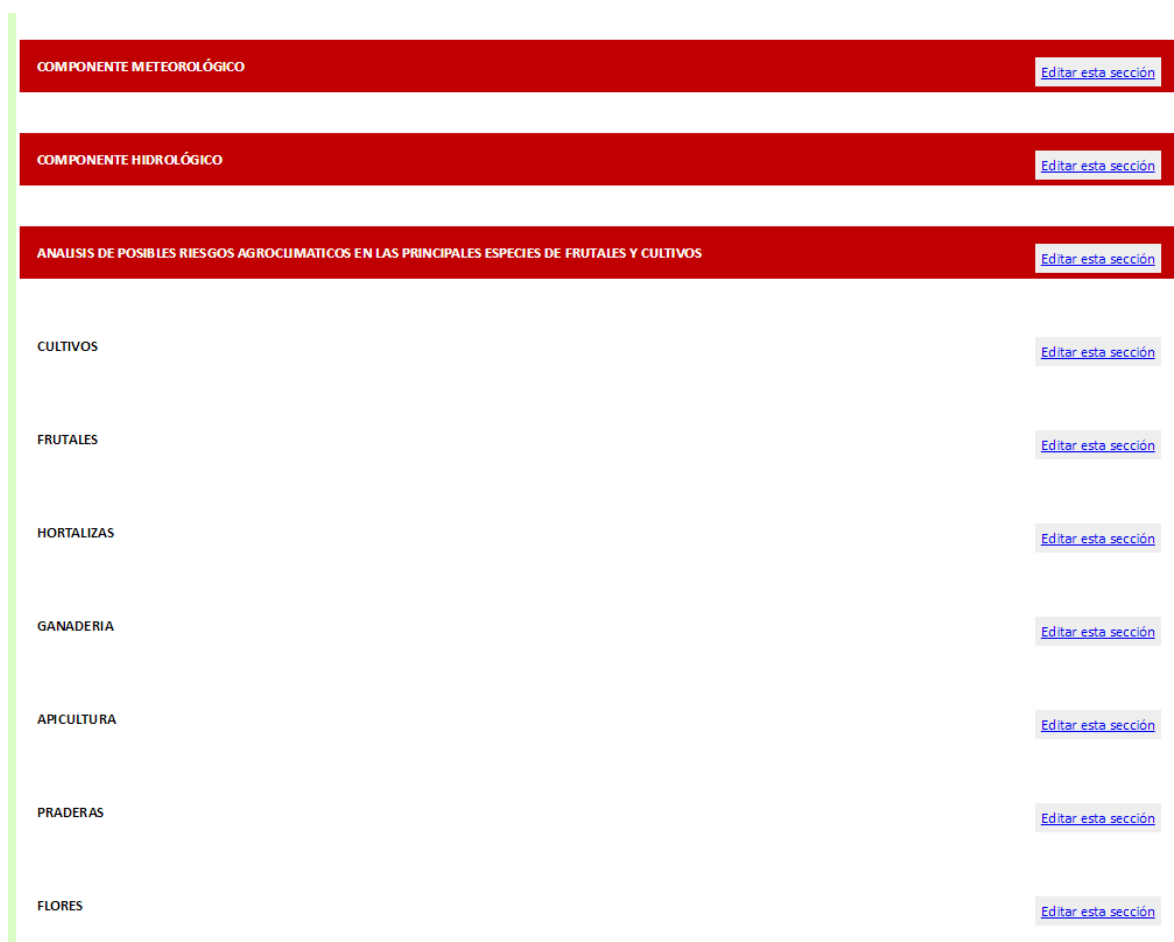


Figura 41: Vista 2 - Plataforma Web Boletín Agrometeorológico INIA

XV. Satélites Landsat

El programa Landsat inició en el año 1972 y constituye una serie de misiones de observación de la Tierra, gestionadas en conjunto por la NASA y el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS). Esta serie de datos ininterrumpida corresponde a la más larga registrada en la historia espacial (40 años), con 8 satélites en total enviados al espacio que mantienen la misma calidad en todas sus imágenes (existen correcciones que permiten su equivalencia).

El satélite Landsat-1 fue utilizado entre 1972 y 1978 y le sucedieron el Landsat 2 (1975-1982), el 3 (1978-1983), el 4 (1982-1993), el 5 (1984-2011), el 6 (1993)⁴⁷ y actualmente se mantienen en órbita el Landsat 7 (desde 1999) y el Landsat 8 o LDCM⁴⁸ (desde 2013). La Figura 42 muestra la línea de tiempo de los satélites mencionados.

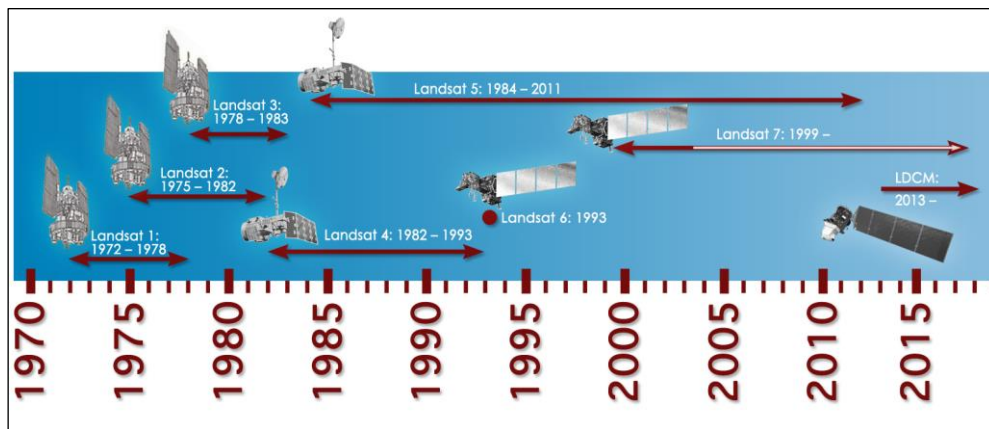


Figura 42: Historia programa espacial Landsat

Los sensores utilizados para el proyecto son:

- **TM (Thematic Mapper)**
Este sensor se encuentra a bordo del Landsat 5. Fue diseñado específicamente para la cartografía temática, con una resolución espacial y espectral de: 30 m y 7 bandas (una de ellas térmica).
- **ETM+ (Enhanced Thematic Mapper)**
Este sensor se encuentra a bordo del Landsat 7. Posee una resolución espacial, y espectral de: 30 m (y una banda de 15 m) y 8 bandas. A diferencia del sensor TM, el ETM+ trae una banda más, llamada pancromática, que gracias a su resolución espacial (15 m) permite que las imágenes puedan ser trabajadas para delimitar zonas a una menor escala.

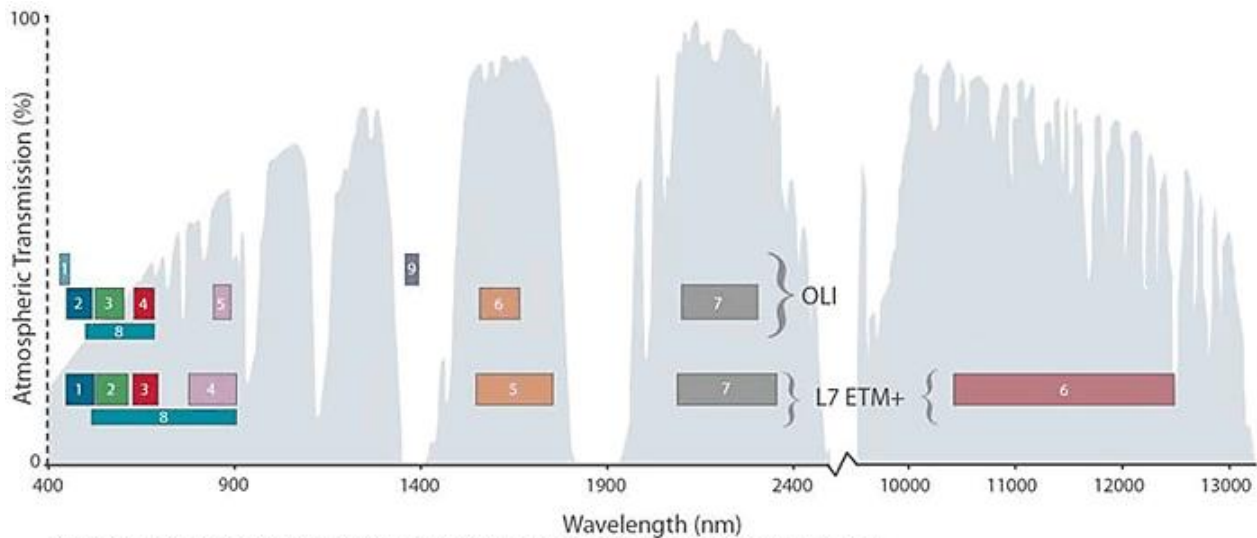
⁴⁷ Lanzamiento fallido

⁴⁸ Landsat Data Continuity Mission

- OLI (Operational Land Imagery)

Este sensor va a bordo del Landsat 8 y representa una mejora en los instrumentos a bordo de los satélites Landsat por la incorporación de 2 bandas que permiten detectar recursos hídricos e investigar zonas costeras (banda 1), y un nuevo canal infrarrojo para la detección de nubes Cirrus (banda 9). Posee una resolución espacial y espectral de: 30 m (15 en la banda pancromática) y 9 bandas.

La Figura 43 muestra una comparación gráfica de las bandas de los sensores ETM+ y OLI. Nótese la diferencia de anchos de las bandas (*wavelength*), siendo la mayor diferencia la banda 6 para ambos sensores (Infrarrojo de onda corta para OLI e infrarrojo térmico para el ETM+⁴⁹)



Bandpass wavelengths for Landsat 8 OLI and TIRS sensor, compared to Landsat 7 ETM+ sensor
Note: atmospheric transmission values for this graphic were calculated using MODTRAN for a summertime mid-latitude hazy atmosphere (circa 5 km visibility).

Figura 43: Ancho de banda para los sensores OLI y ETM+

⁴⁹ El infrarrojo térmico en el caso de Landsat 8 es captura por el sensor TIRS (Thermal Infrared Sensor) el cual no será tratado en este proyecto.

XVI. Ubicación Path/Row de la IX región



Figura 44: Coordenadas Path/Row de interés para la IX región (en verde)

XVII. Cotización DELL para servidor en INIA

Cotización DELL	
GRUPO: 1	
Unidad base:	Dell Precision Tower 7910 CTO base (210-ACQC)
	Shipping Material for System (328-BBZ1)
	MOD,LEL,REG,T7910,WW (328-BBWN)
	TPM Enabled (329-BBJL)
	Dell Precision Tower 7910 1300W Chassis (329-BCFZ)
	US Order (332-1286)
	Intel Xeon Processor E5-2630 v3 (Eight Core HT, 20MB Cache, 2.4GHz Turbo) (338-BFDM)
	64G 2133MHz DDR4 (8x8GB) RDIMM ECC (370-ABUQ)
	19-in-1 Media Card Reader (385-BBBY)
DISCO SSD 512GB	2.5 inch 512GB SATA SSD (400-AECQ)
DISCO 2TB	Additional Drive: 3.5 inch 2TB SATA 7.2k RPM HDD (401-AAMX)
DISCO 2TB	Additional Drive: 3.5 inch 2TB SATA 7.2k RPM HDD (401-AAMX)
	8x DVD/+RW Slimline (429-AAQF)
	Resource DVD not Included (430-XXYU)
	Nvidia Quadro K4200 4GB (2 DP, DL-DVI-I) (1 DP to SL-DVI adapter) (490-BCCM)
	Internal Speaker (520-AADM)
	Windows 7 Professional, Spanish, 64bit (includes Windows 8.1 Pro 64bit License and Media) (636-BBDO)
	No Additional Network Card Selected (Integrated NIC included) (555-BBJO)
	Dell MS111 USB Optical Mouse (570-AACW)
	No Stand included (575-BBCH)
	Spanish (QWERTY) Dell KB-522 Wired Business Multimedia USB Keyboard Black (580-AADN)
	Windows 8.1 Spanish OS Recovery - DVD (620-AASQ)
	Microsoft Office Professional 2013, OptiPlex, Precision, Latitude (630-AABH)
Quote Total: USD 6.340 + IVA, precio unitario	

Figura 45: Cotización Dell

XVIII. Manual para detección automática de cubiertas

1) Descarga de imágenes

La rutina computacional creada por Olivier Hagolle puede ser descargada en <https://github.com/olivierhagolle/LANDSAT-Download>. La versión utilizada para el proyecto de tesis corresponde a la subida por el autor el 16 de diciembre del 2016.

Cabe señalar que a lo largo de la preparación del proyecto, el código ha sido constantemente actualizado ya que la USGS realiza cambios en su plataforma web, por lo que si el código no funciona correctamente se debe esperar unos días y revisar el enlace o realizar la descarga directa de la página web.

A continuación se explicarán ambos métodos de descarga. Nótese que para cualquiera de los métodos se debe tener un usuario registrado para realizar las descargas. Para ello, se debe ingresar a <http://earthexplorer.usgs.gov> y seguir las instrucciones del link de *Register*.

a) Rutina descarga automática

Para poder ejecutar esta rutina se debe tener instalado Python (para el proyecto se utilizó la versión 2.7)

- i) Ir a la página <https://github.com/olivierhagolle/LANDSAT-Download> donde se encuentra el código y los archivos necesarios para correrlo. Los archivos mínimos que deben descargarse son:

- `download_landsat_scene.py`
- `proxy.txt`
- `usgs.txt`

Guardar los archivos en la misma ubicación. A continuación se deben abrir los archivos de `proxy.txt` y `usgs.txt` y cambiar el texto “Me” por el nombre de usuario creado y “Secret” por la contraseña asociada (manteniendo el espacio entre ellas).

- ii) La rutina puede ser utilizada en 3 formas distintas, tal como lo señala el archivo README.md de la página. En el caso del proyecto se utiliza la forma de “búsqueda iterativa” en la que se deben proveer como mínimo:

- Tipo de imagen (que puede ser LC8, LE7 o LT5⁵⁰)
- Fecha de inicio de búsqueda
- Coordenadas Path/Row de la imagen Landsat a descargar

También se puede especificar la fecha de fin de la búsqueda (opción `-f`) pero si no se entrega, se reemplaza para la fecha del día actual. Así mismo, se

⁵⁰ Sigla asociada al Landsat 5, el cual no es utilizado para este proyecto.

puede especificar la ruta donde se descargarán los archivos (opción --output) pero de no hacerlo, el código utiliza la ruta /tmp/Landsat si existe. En general, el código que se corre debe verse así:

```
python download_landsat_scene.py -o scene -b (LT5, LE7, LC8) -d (añomesdia) -s (PATHROW) -u usgs.txt --output
```

Por ejemplo, si se quisieran descargar imágenes LC8 de la comuna de Los Sauces (Path/Row 233/086) buscando desde el 15/06/2015 al 15/07/2016 y guardar los archivos en la ruta C:\Users\Niobeal\Pictures\Landsat (para Windows), el comando debiera ser:

```
python download_landsat_scene.py -o scene -b LC8 -d 20150615 -f 20160715 -s 233086 -u usgs.txt --output C:\Users\Niobeal\Pictures\Landsat
```

b) Descarga directa página web de la USGS

Para describir los pasos de la descarga directa de imágenes se utilizará un ejemplo similar al anterior: descarga de imágenes LC8 y LE7 para la comuna de Los Sauces (Path/Row 233/086) buscando desde el 15/06/2015 al 15/07/2016.

i) Ingresar a la página <https://earthexplorer.usgs.gov/>.

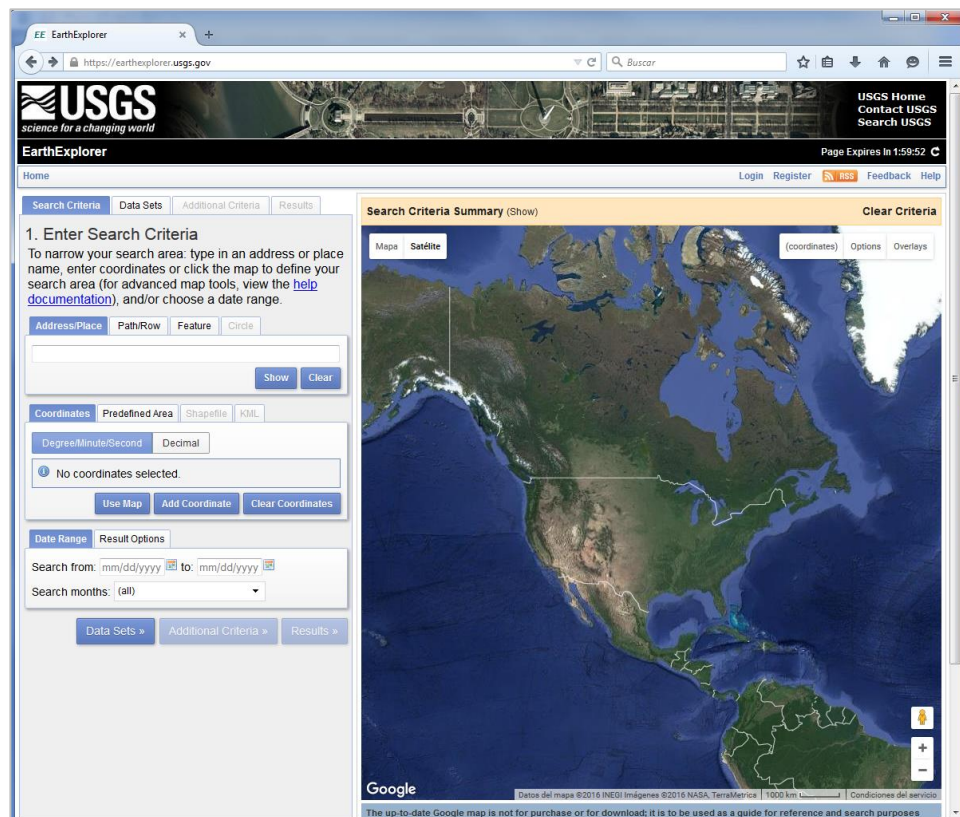


Figura 46: Descarga imágenes 1 - Descarga directa de imágenes

- ii) En la pestaña Search Criteria, seleccionar la pestaña Path/Row e ingresar las coordenadas Path/Row deseadas. A continuación seleccionar Show para que la página muestre el punto donde se ubican esas coordenadas.

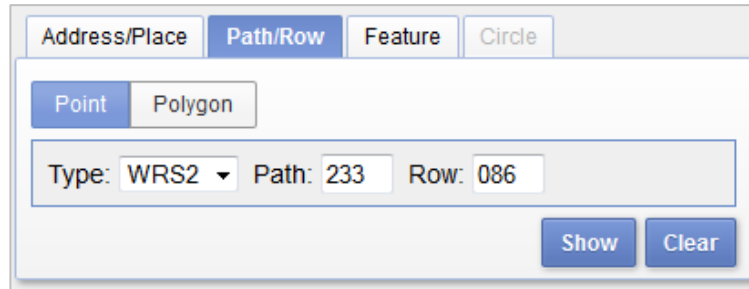


Figura 47: Descarga imágenes 2 - Descarga directa de imágenes

- iii) En la sección Date Range seleccionar o escribir las fechas entre las que se desea buscar imágenes. Cuidar de que el orden correcto de las fechas es MM/DD/AA. Si no se escribe la fecha de finalización, la consulta se realizará hasta el día actual.

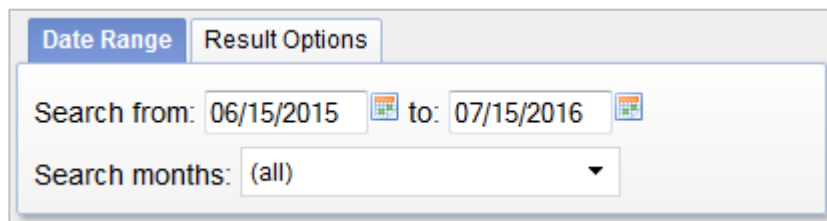


Figura 48: Descarga imágenes 3 - Descarga directa de imágenes

- iv) A continuación se selecciona la opción Data Sets (al final de la pestaña o cambiándose de pestaña) para seleccionar qué tipo de imagen buscar. Para las imágenes Landsat se debe abrir la categoría Landsat Archive. Para el proyecto se seleccionan las opciones L8 OLI/TIRS y L7 ETM+ SLC-off (2003 – Present). Opcionalmente se puede trabajar la pestaña Additional Criteria para especificar otros parámetros, pero para el proyecto de tesis no se usó.

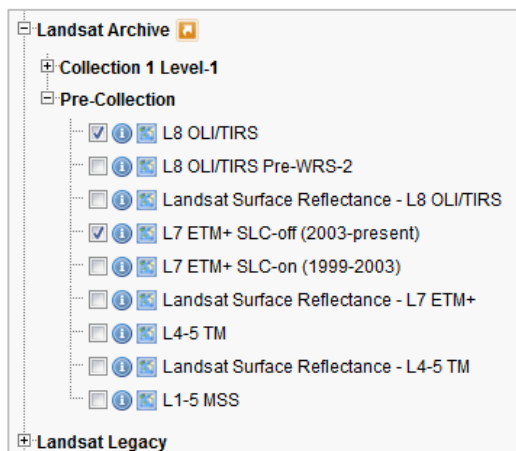


Figura 49: Descarga imágenes 4 - Descarga directa de imágenes

- v) Al hacer click en Results se realiza la consulta y se presentan las imágenes de acuerdo a los parámetros especificados. Nótese que existe una barra de opciones donde se seleccionan las imágenes disponibles para ambos tipos solicitados. El quinto ícono permite descargar la imagen.

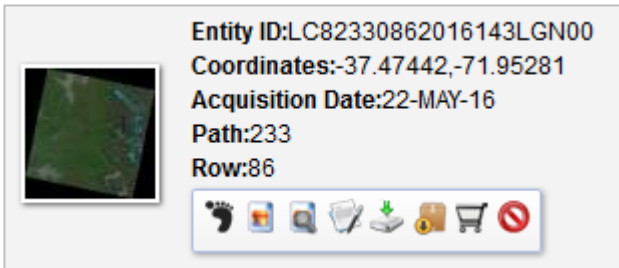


Figura 50: Descarga imágenes 5 - Descarga directa de imágenes

- vi) A continuación se despliega una ventana con distintas opciones de descarga. Se debe seleccionar la Level 1 GeoTIFF Data Product. Se descargará un archivo .tgz, el cual es manejado por el resto del código del proyecto.

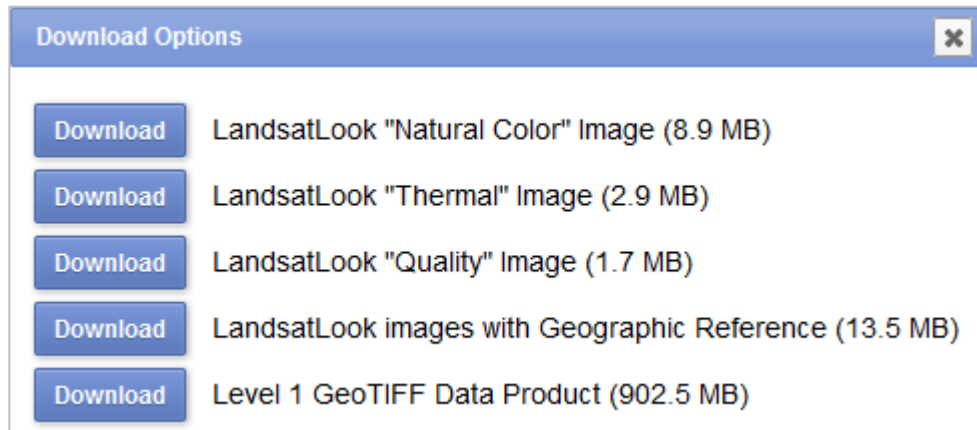


Figura 51: Descarga imágenes 6 - Descarga directa de imágenes

c) Almacenamiento de las imágenes

Las imágenes se deben guardar (o copiar) en la carpeta designada para este proyecto, ya que el código Python para clasificar está dirigido hacia la carpeta ".../ClasificacionSatelital/Shapes/Imágenes_originales". Tener en consideración que por temas de espacio, el código luego de usar el archivo original lo borra, por lo que si se quiere mantener el archivo se debe tener una copia en otro directorio.

2) Base de puntos conocidos en terreno

Los archivos entregados junto con la propuesta incluyen los archivos ya tratados. Esta sección puede obviarse si lo que se quiere es usar el modelo. En cambio, si se requiere realizar cambios en la base de puntos conocidos en terreno, seguir la guía a continuación.

Para la descarga y tratamiento de puntos se quiere el software QGIS, el cual puede ser descargado en <http://www.qgis.org/es/site/forusers/download.html>. Una vez en la página, seguir las instrucciones de descarga, las cuales varían para los distintos sistemas operativos. En este proyecto se utilizó QGIS versión 2.14.8-Essen. Se debe cuidar que la descarga incluya el módulo GDAL/OGR, el cual está presente tanto en la instalación básica como la avanzada.

a) Creación vector comuna

- i) Para realizar las clasificaciones dentro de los límites comunales, se debe descargar de http://www.rulamahue.cl/mapoteca/fichas/chile_utm19/ficha09utm19.html el vector correspondiente. Para ello, en la sección de “Coberturas SIG”, subsección de “Unidades Administrativas (Shapefile)” selección el archivo Comunas. Tener en consideración que esta página sólo contiene vectores de la IX región
- ii) Descomprimir el archivo y abrir en QGIS el archivo “cl_09comunas_utm19.shp”. No borrar los archivos auxiliares que vienen dentro del paquete
- iii) Botón derecho sobre la capa en el “Panel de capas” y seleccionar “Abrir tabla de atributos” y seleccionar toda la fila de la comuna en estudio, por ejemplo, Lonquimay, cuyo ID es “09205”. Esto hará que en la pantalla principal se destaque la comuna seleccionada en amarillo (ver Figura 52). Cerrar la tabla de atributos (la comuna seleccionada seguirá en amarillo)

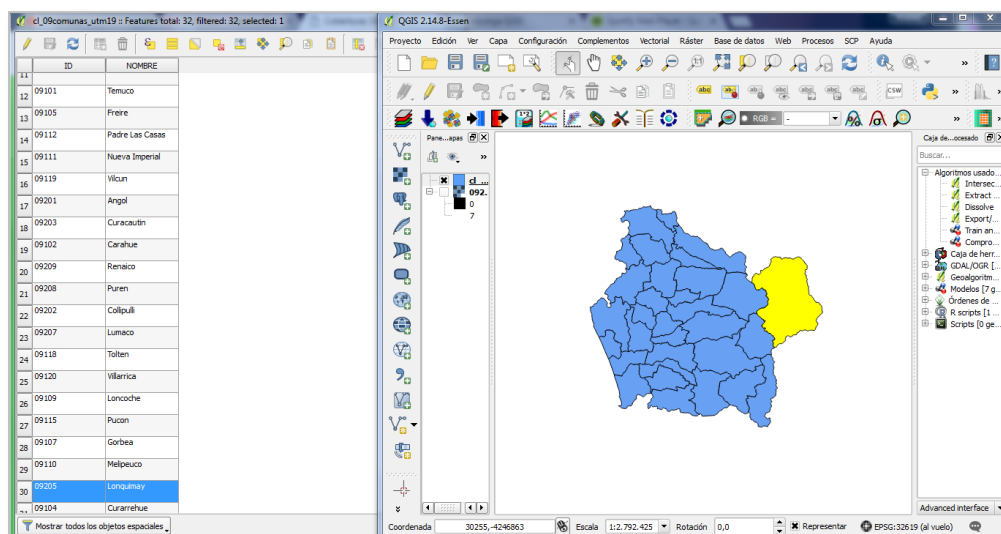


Figura 52: Base de puntos - Vector comuna 1

- iv) En la cinta de opciones, seleccionar Capa/Guardar como y cambiar lo siguiente:
- (1) En “Guardar como...” buscar la carpeta contenedora de los archivos del modelo y guardar el archivo en “.../ClasificacionSatelital/Shapes/Shapescomuna/” y nombrar al archivo “NombreComuna19N_shape.shp”, donde NombreComuna es el nombre en UpperCamel de la comuna en estudio. En caso de que nombre posea 2 o más palabras, escribir sin espacio
 - (2) En “SRC” clicar el ícono a la derecha y seleccionar el sistema de referencia “WGS 84 / UTM zona 19N”. Apretar “Aceptar”
 - (3) Seleccionar la opción de “Guardar sólo los objetos espaciales seleccionados”.

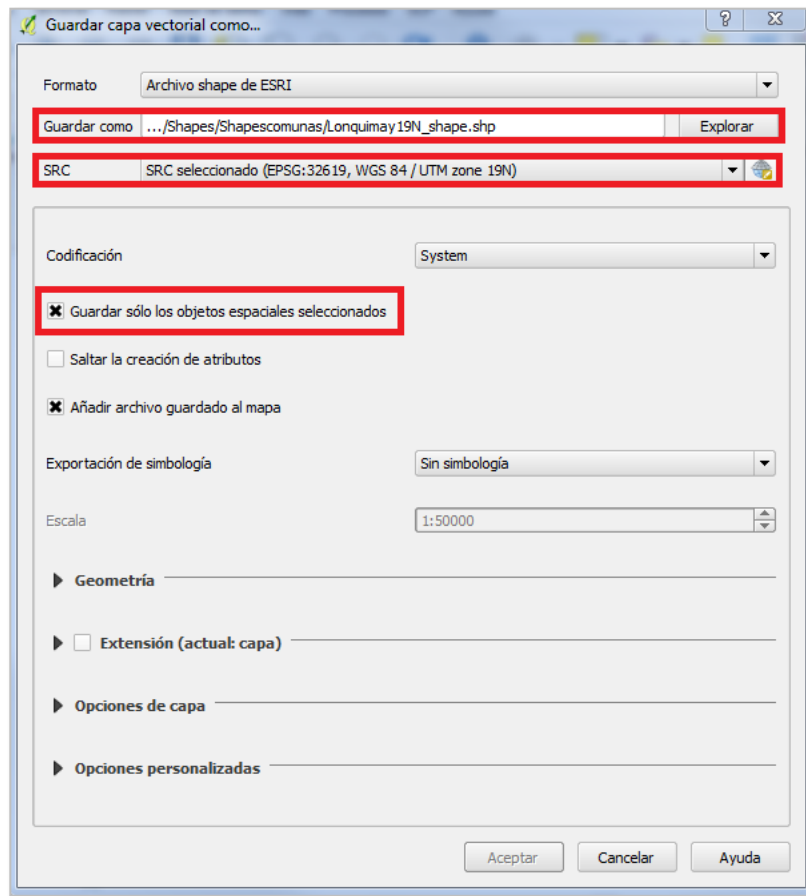


Figura 53: Base de puntos - Vector comuna 2

- v) Para realizar el vector comuna de otras comunas repetir desde el paso 2)a)iii), cuidando de deseleccionar la comuna anterior (sólo debe estar seleccionada una comuna).

b) Creación capas Zona Urbana, Hidrografía y Red Vial

i) Ingresar

a

http://www.rulamahue.cl/mapoteca/fichas/chile_utm19/ficha09utm19.html.

ii) Descargar de “Coberturas SIG” los siguientes archivos:

(1) Unidades administrativas (Shapefile)

- Zonas Urbanas

(2) Hidrografía (Shapefile)

- Ríos y esteros

- Lagos

(3) Infraestructura (Shapefile)

- Rutas⁵¹

iii) Para cada uno de los archivos descargados:

(1) Cargar en QGIS el archivo descomprimido “cl_09CAPA_VECTORIAL_utm19.shp”. En el Panel de capas utilizar botón derecho y clicar sobre “Guardar como...”.

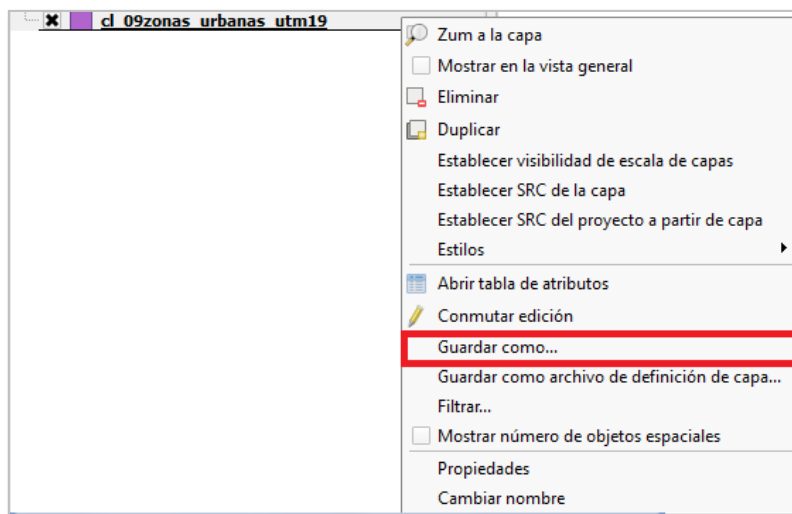


Figura 54: Base de puntos – Capas Rulamahue 1

(2) En la ventana emergente, guardar el archivo en la carpeta contenedora de los archivos del modelo y guardar el archivo en “.../ClasificacionSatelital/Shapes/Shapesterreno/0-UTM19N” y nombrar al archivo “NumeroRegion19N_CapaVectorial.shp”, donde NumeroRegion corresponde en este caso a “IX”, y CapaVectorial es la capa que se está tratando, la cual puede ser “zonaurbana”, “redvial”, “lagos” o “riosyesteros”

⁵¹ Durante la última consulta a la página, el link de “Rutas” presentaba problemas, por lo que se descargó la versión en inglés “Roads” en la misma página.

- (3) En “SRC” clicar el ícono a la derecha y seleccionar el sistema de referencia “WGS 84 / UTM zona 19N”. Apretar “Aceptar”. Con esto se tendrán capas que pueden ser intersectadas más adelante según

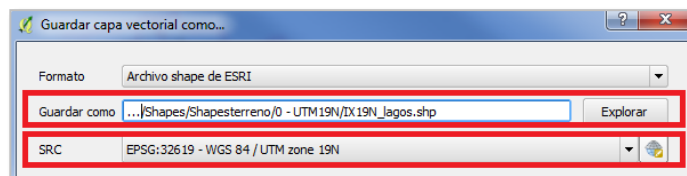


Figura 55: Base de puntos – Capas Rulamahue 2

- (4) La capa de ríos y esteros tienen representación en líneas. Para convertirla en polígono, en la cinta de opciones se debe seleccionar Vectorial / Herramientas de geoprocso / Buffer(s). Para la capa vectorial de entrada seleccionar la capa de ríos y esteros creada. Dentro de las opciones sólo colocar “30” como “Distancia de buffer”. Guardar el archivo como “NumeroRegion19N_riosyesteros_pol.shp”

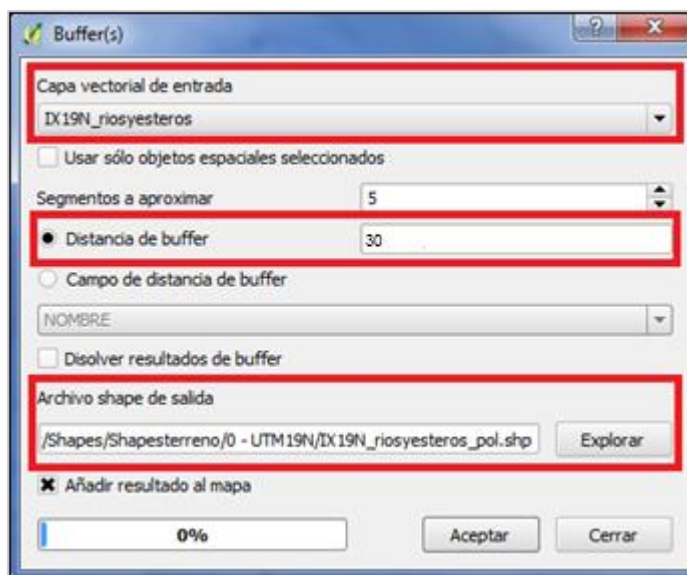


Figura 56: Base de puntos – Capas Rulamahue 3

- (5) Repetir el mismo procedimiento de 2)b)iii)(4) para el caso de Red Vial, creando finalmente un archivo llamado “NumeroRegion19N_redvial.shp”
- (6) A continuación, para cada capa se debe seleccionar en la cinta de opciones Vectorial / Herramientas de geoprocso / Intersección. La capa vectorial de entrada es la capa original, mientras que la capa de intersección corresponde a la capa vectorial de la comuna, cuyo nombre es “NombreComuna19N_shape”. La dirección del archivo de salida será “.../ClasificacionSatelital/Shapes/Shapesterreno/1 – Poligonos/” y el archivo se llamará “NombreComuna19N_CapaVectorial.shp”. Aceptar. Realizar para las 4 capas.

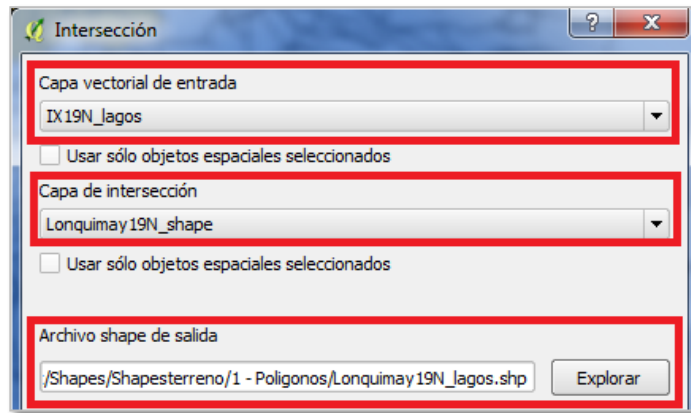


Figura 57: Base de puntos – Capas Rulamahue 4

- (7) Los archivos “...riosyesteros.shp” y “...lagos.shp” deben unirse para crear una sola capa que represente la hidrografía de la zona. Para ello, ir a Vectorial / Herramientas de geoprocso / Diferencia simétrica. Seleccionar ambas capas y crear un archivo de salida en “.../ClasificacionSatelital/Shapes/Shapesterreno/1 – Poligonos/” llamado “NombreComuna19N_hidrografia.shp”.



Figura 58: Base de puntos – Capas Rulamahue 5

- (8) Finalmente, en la carpeta “.../ClasificacionSatelital/Shapes/Shapesterreno/1 – Poligonos/” se deben tener principalmente los siguientes archivos:

- NombreComuna19N_hidrografia.shp
- NombreComuna19N_redvial.shp
- NombreComuna19N_zonaurbana.shp

Los demás archivos se consideran auxiliares y no deben ser borrados.

c) *Creación capas Bosque, Matorral y Suelo Desnudo*

- i) Ingresar a <http://www.ide.cl/descarga/capas/item/catastros-de-uso-de-suelo-y-vegetacion.html> y seleccionar descargar. El archivo tiene el nombre de “Catastros-vegetacionales.rar” y pesa 2,15 GB. Este paquete incluye todas las capas de vegetación del país.
- ii) Descomprimir el archivo y seleccionar la carpeta de la región correspondiente al estudio.
- iii) Realizar el procedimiento establecido en 2)b)iii)(1) y 2)b)iii)(2), guardando el archivo en “.../ClasificacionSatelital/Shapes/Shapesterreno/0 – UTM19” con el nombre “NumeroRegion_conaf2013.shp”. Dada la cantidad de información de la capa, es normal que demore unos minutos en procesar.
- iv) Realizar el procedimiento establecido en 2)b)iii)(6), pero guardando los archivos resultantes en “.../ClasificacionSatelital/Shapes/Shapesterreno/0 – UTM19” bajo el título “NombreComuna19N_conaf2013.shp”. Dada la cantidad de información de la capa, es normal que demore unos minutos en procesar.
- v) Ir a Vectorial / Herramientas de gestión de datos / Dividir capa vectorial. Una vez allí seleccionar la capa de CONAF comunal y seleccionar como Campo ID único la categoría “USO”.
- vi) Para crear las capas de Bosque, Matorral y Suelo Desnudo es necesario entender la distribución de los datos de la capa creada por CONAF. Para ello, por cada capa comunal de CONAF se debe abrir el archivo de extensión “.dbf” (en Windows puede ser visualizado a través de Excel). El archivo original posee en total 51 columnas. Se debe crear una carpeta en “.../ClasificacionSatelital/Shapes/Shapesterreno/0 – UTM 19/NombreComunaConaf2013” donde QGIS separará la capa en subcapas según la columna “USO” de los datos.

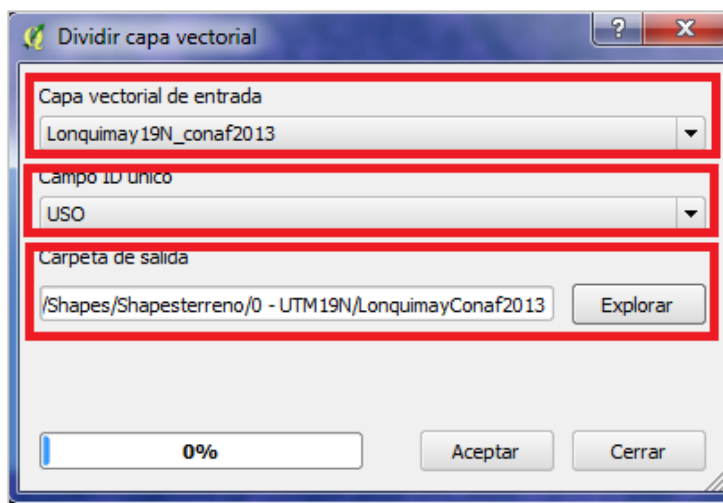


Figura 59: Base de puntos – Capa CONAF 1

- vii) De las capas obtenidas se deben crear los vectores Bosque, Matorral y Suelo Desnudo. Queda a criterio del investigador la selección de capas, recordando

que si existen 2 categorías similares pueden intersectar como se explica en 2)b)iii)(7).

En particular para el caso de este proyecto, se utilizaron:

- Lonquimay:
 - Bosque para “bosque.shp”
 - Praderas y Matorrales para “matorral.shp”
 - Areas Sin Vegetacion para “suelodesnudo.shp”
- Los Sauces:
 - Bosque para “bosque.shp”
 - Praderas y Matorrales para “matorral.shp”
 - Areas Urbanas-Industriales para “suelodesnudo.shp”
 - Las capas se copian junto a sus archivos auxiliares a “.../ClasificacionSatelital/Shapes/Shapesterreno/1 – Poligonos/” como “NombreComuna_CapaVectorial.shp”

viii) Finalmente, en la carpeta “.../ClasificacioNSatelital/Shapes/Shapesterreno/1 – Poligonos/” se deben tener, además de los mencionados en 2)b)iii)(8), los siguientes archivos:

- NombreComuna19N_bosque.shp
- NombreComuna19N_matorral.shp
- NombreComuna19N_suelodesnudo.shp

d) Creación capas Praderas y Cultivos

A diferencia de los casos anteriores, los datos utilizados para crear estas capas no están estandarizados ni provienen de internet, sino que de los técnicos y transferencistas en terreno. Por eso se deja a criterio del usuario la mejor manera de procesar esa información, sin embargo, se presentan pasos recomendados para tratar con ellos.

- i) Estas capas se crea generalmente con la información de los archivos entregados por las Municipales e INDAP, los cuales por lo general entregan archivos en formato “.kml”, los cuales traen información en formato de puntos y polígonos
- ii) Para esta etapa se utilizarán sola la información en formato de polígonos, ya que los puntos suelen representar 1 punto en el espacio, el cual no es representativo ni abarca una gran extensión. Cada archivo importante debe abrirse en QGIS y guardar como un archivo “.shp” según lo establecido en 2)b)iii)(1) y 2)b)iii)(2) en la carpeta “.../ClasificacionSatelital/Shapes/Shapesterreno/0 – UTM19” creando la carpeta “NombreComuna2015”. El nombre del archivo no es relevante por ahora, por lo que se puede optar a cualquier nombre mientras sea luego reconocible.

- iii) En el caso de que se tengan capas de polígonos individuales se puede ir a Vectorial / Herramientas de gestión de datos / Combinar archivos shape y seleccionar el directorio donde se encuentran los polígonos que se desea unir. El archivo de salida se llamará “Todo.shp” y se alojará en la carpeta de origen.

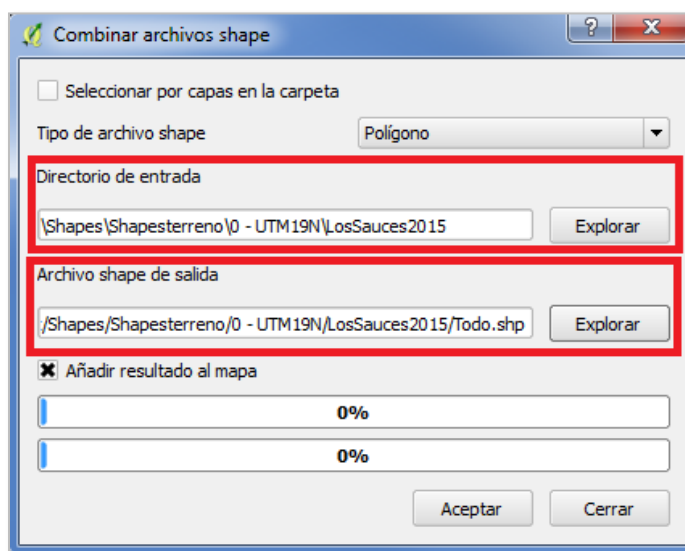


Figura 60: Base de puntos – Capas INDAP 1

- iv) Luego con botón derecho sobre la capa resultante se debe “Abrir la tabla de atributos” para examinar la información de los polígonos. Queda a criterio del usuario el eliminar o no registros de acuerdo al tipo de información y antigüedad.
- v) Finalmente, si la información de cultivo y pradera es insuficiente para crear una capa significativa, se puede crear una capa basada en la información de CONAF 2013 en “.../ClasificacionSatelital/Shapes/Shapeterreno/0 - UTM19 /NombreComunaConaf2013” (caso para Lonquimay, que no presentó información en cultivos por INDAP).
- vi) Finalmente, en la carpeta “.../ClasificacionSatelital/Shapes/Shapeterreno/1 – Poligonos/” se deben tener, además de los anteriormente mencionados, los siguientes archivos:
- NombreComuna19N_cultivo.shp
 - NombreComuna19N_pradera.shp

e) Creación Base Puntos Conocidos

Esta etapa de procesamiento de los datos fue creada utilizando Python 2.7, por lo que es imperativo tenerlo instalado. Además se requiere de la instalación de las siguientes librerías:

- GDAL (versión 2.1.1)
- Numpy (versión 1.11.2)

i) Polígonos a Puntos:

- (1) Para convertir los polígonos de la carpeta “1 – Poligonos” a puntos útiles se utiliza el código Python creado para este proyecto: “poly2point.py⁵²”, el cual se encuentra en el directorio “.../ClasificacionSatelital/Codigos/”.
- (2) La línea 6 del código es la que puede ser modificada para adaptarse al caso que se esté viendo. Esta variable se llama raíz_path y apunta al directorio donde está guardada la carpeta maestra /ClasificacionSatelital/.
- (3) El código recoge los archivos en la carpeta determinada en la variable polygon_fn, excepto para las capas de lagos y ríos y esteros, ya que éstas están presentes en la capa hidrografía.
- (4) Se define por default un pixel de tamaño 30x30 m (correspondiente al tamaño del píxel de una imagen Landsat) y el código procede a convertir los polígonos en puntos, creando archivos temporales según la ruta en temporal_files y guarda los resultados en output_fn.
- (5) Esta etapa no debiera durar más de 3 minutos en realizarse, dependiendo de la densidad de los polígonos.

ii) Intersecciones entre puntos:

Esta etapa se realiza para asegurarse que no hay puntos superpuestos apuntando a un mismo píxel, situación que es muy probable de que ocurra considerando las distintas fuentes a las que pertenecen los datos.

- (1) Multiparte a partes sencillas:
 - (a) Abrir cada capa vectorial de la carpeta “2 – Puntos” en QGIS.
 - (b) Seleccionar Vectorial / Herramientas de geometría / Multipartes a partes sencillas
 - (c) Para cada capa, guardar el output en la carpeta “.../ClasificacionSatelital/Shapes/Shapesterreno/3 – Multipart” bajo el nombre “Multi_” más el nombre del archivo original.

⁵² Código adaptado del código presentado en la página https://pcjericks.github.io/py-gdalogr-cookbook/vector_layers.html#convert-polygon-to-points [consultado el 15/11/2016]

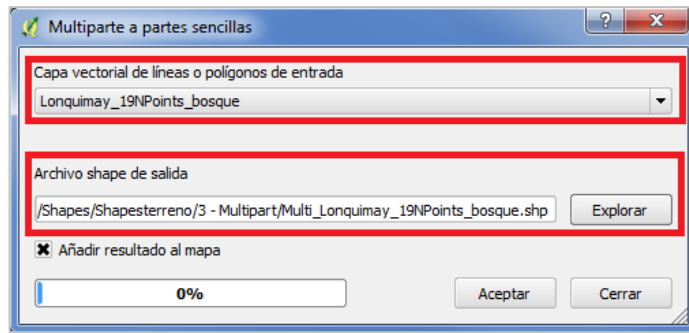


Figura 61: Base de puntos – Multipartes a partes sencillas

(2) Buffer:

- (a) Para convertir los archivos “Multi_...” de la carpeta “3 – Multiparts” a puntos con buffer se utiliza el procedimiento explicado en 2)b)iii)(4), definiendo una distancia de buffer de 30 (metros).
- (b) La carpeta de salida es “.../ClasificacionSatelital/Shapes/Shapesterreno/4 – Buffer” y el archivo se guarda como “Buffer_NombreOriginal”.
- (c) Esto debe repetirse para todas las categorías y comunas en estudio.

(3) Diferencia entre capas:

Para borrar los puntos que apuntan a un mismo píxel se debe decidir qué puntos mantener y cuáles no, por cada par de capas. Esto queda a criterio del investigador, pero en la Tabla 22 se presenta el criterio utilizado para este proyecto de tesis. Para cada capa vectorial de la carpeta “3 – Multipart” se realiza el procedimiento explicado a continuación.

- (a) Se abre la capa en QGIS
- (b) Se abren todas las capas de la comuna de la carpeta “4 – Buffer”
- (c) En la cinta de opciones se selecciona Vectorial / Herramientas de geoprocso / Diferencia. La capa vectorial de entrada corresponde a la capa procedente de “3 – Multipart”. La capa de diferencia es la de “4 – Buffer”. El archivo de salida se guardará en “.../ClasificacionSatelital/Shapes/Shapesterreno/5 – Intermedios/” bajo el nombre “NombreComuna_19NPoints_CapaEntrada-CapaDiferencia.shp”.

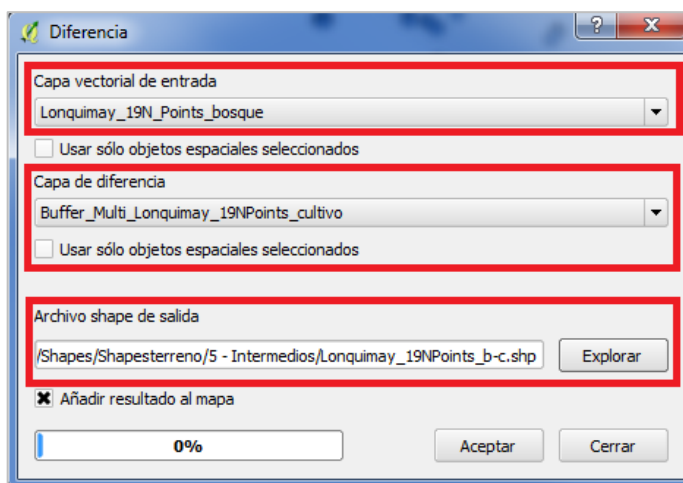


Figura 62: Base de puntos – Diferencia 1

La capa resultante se representa en la Figura 63, donde los puntos amarillos corresponden a la capa original. Los círculos en verde muestran el radio de un punto de otra categoría que se encuentran en el mismo píxel que la capa original. El resultado de este paso crea la capa a la derecha de la Figura 63, la cual no presenta intersecciones con otras capas.

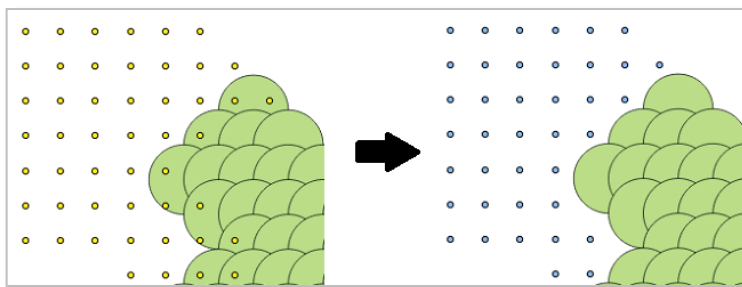


Figura 63: Base de puntos - Ejemplos puntos superpuestos y capas arregladas

Tabla 22: Criterios de comparación capas vectoriales

Capa entrada	Capa de corte	Criterio
Bosque	- Cultivo	Se tiene menos información de cultivo que de bosque, por lo que se mantiene intacta de la menor densidad ya que los datos al ser escasos son necesarios de mantener (además, en el caso de Los Sauces, los datos de cultivo son más actualizados que los de bosque (2015 vs 2013))
	- Pradera	Pradera posee menor cantidad de datos, además de ser información más actualizada (2015 vs 2013)
	- Red Vial	Carreteras y caminos distinguibles desde el aire
	- Suelo desnudo	Suelo desnudo posee menor cantidad de datos
	- Zona Urbana	Zona urbana posee menor cantidad de datos y es permanente
Matorral	- Bosque*	Los matorrales pueden estar ocultos debajo de los árboles y la clasificación no lo identificará correctamente dado que es una imagen desde el aire
	- Cultivo	Cultivo posee menor cantidad de datos, y además son más actualizados
	- Hidrografía	Los cursos y cuerpos de agua se identifican mejor desde imágenes satelitales que los matorrales por su baja altura
	- Pradera	Posee menor cantidad de datos, y más actualizados (2015 vs 2013)
	- Red Vial	Carreteras y caminos distinguibles desde el aire
	- Suelo desnudo	Suelo desnudo posee menor cantidad de datos
	- Zona Urbana	Zona urbana posee menor cantidad de datos y es permanente
Suelo Desnudo	- Cultivo	Posee menor cantidad de datos, y más actualizados (2015 vs 2013)
	- Hidrografía	Los cursos y cuerpos de agua se identifican mejor desde imágenes
	- Pradera	Posee menor cantidad de datos, y más actualizados (2015 vs 2013)
	- Red Vial	Carreteras y caminos distinguibles desde el aire
	- Zona Urbana	Zona urbana posee menor cantidad de datos y es permanente
Cultivo	- Hidrografía	Cursos de agua no están demarcados en los datos de INDAP
	- Pradera	Posee menor cantidad de datos
	- Red Vial	Caminos no están demarcados en los datos de INDAP
	- Zona Urbana	Permanente
Pradera	- Hidrografía	Cursos de agua no están demarcados en los datos de INDAP
	- Red Vial	Caminos no están demarcados en los datos de INDAP
	- Zona Urbana	Permanente
Red Vial	- Hidrografía	Cursos de agua mejor identificados por la clasificación satelital
	- Zona Urbana	Zonas urbanas mejor delimitadas que caminos
Hidrografía	- Zona Urbana	Zonas urbanas mejor delimitadas que cursos de agua
Zona Urbana	Sin cambios	Sin cambios

- (d) En ciertos casos, se requiere utilizar las capas recién modificadas para realizar comparaciones. Entonces se debe cambiar la capa de entrada por la nueva capa creada y la de diferencia con la siguiente capa de buffer según el criterio del investigador.

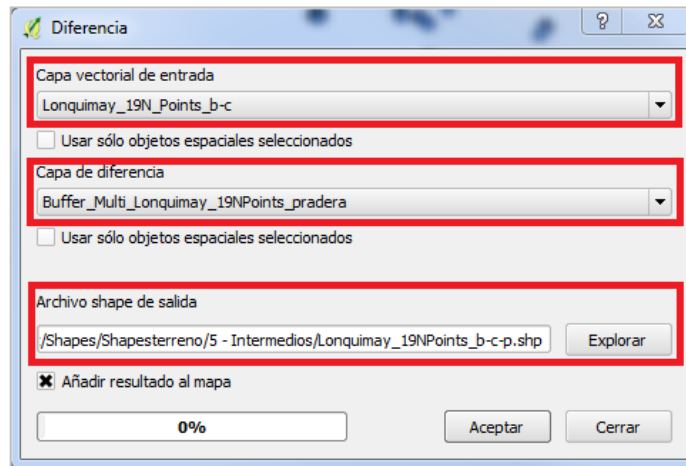


Figura 64: Base de puntos – Diferencia 2

- (e) Esto se hace hasta completar las capas de buffer correspondientes. La última capa creada se guarda en “.../ClasificacionSatelital/Shapes/Shapesterreno/7 – Datos” bajo el nombre “NombreComuna_19NPoints_CategoriaOriginal.shp”. Además, si se requiere reusar una categoría para hacer la comparación entre capas de manera correcta, en QGIS se debe abrir este último archivo creado y, como se indica en b)iii)(4), crear un Buffer de distancia 30, guardando este archivo en “.../ClasificacionSatelital/Shapes/Shapesterreno/6 – NuevosBuffer” bajo el nombre de “Buffer_NombreComuna_19NPoints_categoria.shp” y abrir ese archivo en QGIS, reemplazando al archivo de buffer correspondiente.
- (f) Se repite el paso i al v para todas las categorías en cada comuna de estudio.
- (g) Finalmente, en “.../ClasificacionSatelital/Shapes/Shapesterreno/7 – Datos/” se deben tener los archivos:
- NombreComuna_19NPoints_Bosque.shp
 - NombreComuna_19NPoints_Cultivo.shp
 - NombreComuna_19NPoints_hidrografia.shp
 - NombreComuna_19NPoints_Matorral.shp
 - NombreComuna_19NPoints_Pradera.shp
 - NombreComuna_19NPoints_RedVial.shp
 - NombreComuna_19NPoints_SueloDesnudo.shp
 - NombreComuna_19NPoints_ZonaUrbana.shp

f) *Datos de entrenamiento y validación*

En esta etapa se divide la base de puntos conocidos en datos de entrenamiento del modelo (80% de la base) y datos de validación (20% de la base). El resultado final serán las capas de puntos que utilizará el modelo para clasificar.

- i) Cargar una capa de “.../ClasificacionSatelital/Shapes/Shapesterreno/7 – Datos”
- ii) En la cinta de opciones seleccionar Vectorial / Herramientas de investigación / Selección aleatoria. Lo importante de esta etapa es que una vez seleccionada la capa vectorial de entrada, la selección aleatoria indique que se desea seleccionar el 80% de los objetos espaciales. Apretamos “Aceptar” y cerramos la ventana.

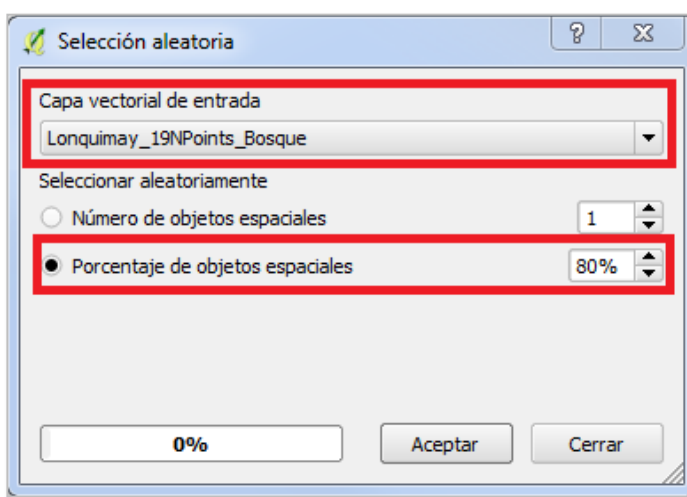


Figura 65: Base de puntos - Entrenamiento y validación 1

- iii) Luego, con botón derecho sobre la capa seleccionamos “Guardar como...” tal como se mencionó en 2)a)iv), cuidando de seleccionar la opción de guardar sólo los objetos espaciales seleccionados. El archivo se guardará en “.../ClasificacionSatelital/Shapes/Shapesterreno/data/train” con el nombre original: “NombreComuna_19NPoints_Categoría”.⁵³
- iv) En la cinta de opciones seleccionar Vectorial / Herramientas de geoprocso / Diferencia. Seleccionar la capa original como capa de entrada y la recién creada de entrenamiento en la capa de diferencia. Cuidar de desmarcar la opción de Usar sólo objetos espaciales seleccionados (debe tomar en consideración toda la capa, por eso se desmarca). El archivo se guardará en “.../ClasificacionSatelital/Shapes/Shapesterreno/data/test” con el nombre original: “NombreComuna_19NPoints_Categoría”. El nombre en la carpeta

⁵³ Opcionalmente se puede después de este paso renombrar la capa en el Panel de capas, apretando botón derecho sobre la capa creada y eligiendo la opción que corresponde. Esto será útil para no confundir ambas capas al momento de trabajarlas juntas.

train y test debe ser exactamente el mismo para permitir utilizar el código de clasificación.

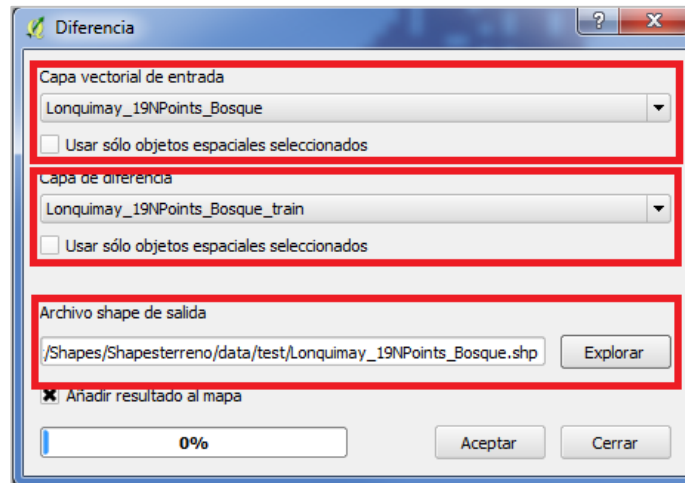


Figura 66: Base de puntos - Entrenamiento y validación 2

- v) Repetir hasta dividir todas las capas para las comunas en estudio.
- vi) Finalmente, en la carpeta “.../ClasificacionSatelital/Shapes/Shapesterreno/BasePuntosConocidos/” se deben tener los archivos siguientes archivos para las carpetas /train/ y /test/:
- NombreComuna_19NPoints_Bosque.shp
 - NombreComuna_19NPoints_Cultivo.shp
 - NombreComuna_19NPoints_hidrografia.shp
 - NombreComuna_19NPoints_Matorral.shp
 - NombreComuna_19NPoints_Pradera.shp
 - NombreComuna_19NPoints_RedVial.shp
 - NombreComuna_19NPoints_SueloDesnudo.shp
 - NombreComuna_19NPoints_ZonaUrbana.shp

3) Procedimiento para determinar porcentaje de nubes y nieve y clasificar cubiertas

El grueso del código se encuentra en esta etapa. La preparación de los datos termina con la determinación del porcentaje de nubes y nieve de cada imagen. Si el porcentaje está dentro de los parámetros establecidos (menor al 20% de la superficie total) el código continúa realizando una clasificación Random Forest, utilizando los datos de las carpetas /train/ para entrenar y clasificar, y los de /test/ para validar la clasificación.

Esta etapa de procesamiento de los datos fue creada utilizando Python 2.7, por lo que es imperativo tenerlo instalado. Además se requiere tener instaladas las siguientes librerías (y sus librerías asociadas):

- GDAL (versión 2.1.1)
- Numpy (versión 1.12.0)
- Scipy(versión 0.19.0)
- Matplotlib (versión 2.0.0)
- scikit-learn (versión 0.18.1) → Para realizar la clasificación
- Pillow (versión 4.0.0) → Librería de manipulación de imágenes
- Fmask (versión 0.4.3) → Para determinar porcentaje de nubes y nieve
 - Descargar la última versión de RIOS en <https://bitbucket.org/chchrsc/rios/downloads/>
 - Este paquete debe ser descargado directamente de la internet, en el link <https://bitbucket.org/chchrsc/python-fmask/downloads/>

En “.../ClasificacionSatelital/Codigos/” se encuentra el código Python principal de este proyecto: *clasificacionsatelital.py*. El código sólo requiere que se modifique la línea 12, *raiz_path*, con el directorio donde se encuentra la carpeta maestra /ClasificacionSatelital/ y es capaz de procesar el porcentaje de nubes y nieve y realizar la clasificación sin la intervención de un tercero.

A continuación se explicará el funcionamiento del código.

- a) Al correr *clasificacionsatelital.py* lo primero que se crea es el archivo *Reporte_Clasificaciones.txt* donde se irá registrando el nombre de las imágenes procesadas, su porcentaje de nubes y nieve y si éste está dentro de los parámetros establecidos.

En el SET-UP, el código define las principales carpetas a utilizar, las cuales están en la carpeta maestra. Las variables se explican en la Tabla 23.

- b) *Descomprimir archivo original (línea 72 a 86):*

El código llama al módulo *unzip.py*⁵⁴ para descomprimir el archivo original de extensión “.tgz” a la ruta de *unzip_path*. De presentarse algún error, éste queda

⁵⁴ Código adaptado del código presentado en la página <http://stackoverflow.com/questions/6058786/i-want-to-extract-a-tgz-file-and-extract-any-subdirectories-that-have-files-tha> [consultado el 16/11/2016]

registrado en el *Reporte_Clasificaciones.txt* y el archivo se copia en la ruta de *error_path*.

c) *Tratamiento LE7 (línea 94 a 110):*

Si la imagen original pertenece al Landsat 7, el código lo reconoce como un archivo que debe aplicársele un tratamiento extra debido a la pérdida de información de las imágenes.

De los archivos descomprimidos identifica la carpeta */gap_mask/* donde se encuentra la información para rellenar los píxeles vacíos. Aquí el código busca el módulo *gdal_fillnodata.py* que viene con la instalación de QGIS. Le entrega todos los parámetros y sobrescribe los rásters descomprimidos, para luego borrar la carpeta */gap_mask/* ya que no presenta mayor utilidad para el código.

d) *Porcentaje Nubes y Nieve:*

El código abre los archivos rásters y llama al módulo *cloud.py*⁵⁵ para determinar el porcentaje de nubes y nieve, el cual utiliza principalmente la librería *Fmask* para procesar.

Este módulo crea una carpeta */CloudAndSnow/* para guardar los archivos que procesa, los cuales difieren dependiendo del tipo de imagen Landsat que se esté tratando. Básicamente, el código combina en capas vectoriales distintas las bandas multispectrales y las termales con *gdal_merge.py*, para realizar cálculos y finalmente entregar una capa vectorial con la información de sectores de nubes (y sombra de nubes) y nieve de la imagen.

Finalmente, se corta la imagen según los límites de la comuna en estudio con el módulo *clipper.py*⁵⁶ y la imagen ráster obtenida se pasa a una vectorial con *gdal_polygonize.py* para calcular el área de nubes y nieve y determinar el porcentaje de ellos respecto a la superficie de la comuna.

El módulo devuelve al código principal el porcentaje de nubes y nieve y guarda en *Reporte_Clasificaciones.txt*. Si el porcentaje es mayor a 20%, registra el porcentaje en el archivo de texto, borra el archivo original que se descomprimió y continúa al siguiente archivo, terminando el proceso para esa imagen. Si, por el contrario, el porcentaje es menor a 20%, además de registrar y borrar el original, continúa con el resto del proceso.

⁵⁵ Código adaptado de los comandos presentados en la página <http://pythonfmask.org/en/latest/> [consultado el 21/11/2016].

⁵⁶ Código adaptado del presentado en la página http://pcjericks.github.io/py-gdalogr-cookbook/raster_layers.html#clip-a-geotiff-with-shapefile [consultado el 22/11/2016].

e) *Cortar rásters*

Se utiliza el módulo *clipper.py* para cortar los rásters descomprimidos (y tratados si es LE7) y dejar preparados los archivos para pasar a la clasificación.

f) *Clasificación*

En primer lugar el código transforma la fecha juliana a gregoriana (tradicional) para una mejor interpretación temporal del investigador que revisará la imagen. Luego, utiliza el módulo *randomforest.py*⁵⁷ para realizar la clasificación y crear los 3 archivos resultantes.

El módulo inicializa las carpetas y archivos a utilizar, extrae la información geográfica y transforma los datos de las bandas multispectrales a un arreglo numpy. Luego proyecta los datos de entrenamiento a un arreglo numpy y, con ambos arreglos, crea el clasificador Random Forest (con `n_estimators = 100` (equivalente a *ntree*) y `min_samples_split = 3` (equivalente a *M*)) y procede. El resultado se exporta en un archivo GeoTiff y en una imagen “.png”, la cual se crea gracias al módulo *png.py*.

Por último, se calcula la matriz de confusión, y las métricas de desempeño, los cuales se registran en un archivo “.txt” para su posterior uso por los usuarios.

Tabla 23: Variables y descripción código Python

Variable	Carpeta a la que apunta	Descripción
unzip_path	/Shapes/Imagenes_unzip/	Carpeta donde se guardarán los archivos descomprimidos originales
error_path	/Shapes/Imagenes_error/	Carpeta con copia de los archivos originales que presentaron algún error al descomprimirse
comuna_path	/Shapes/Shapescomuna/	Contiene los archivos vectoriales límites de las comunas en estudio
clipped_raster_path	/Shapes/RasterClippeados/	Contiene archivos rásters cortados según los límites comunales
train_data_path	/Shapes/BasePuntosConocidos/train/	Contiene archivos vectoriales con puntos de entrenamiento
validation_data_path	/Shapes/BasePuntosConocidos/test/	Contiene archivos vectoriales con puntos de validación
output_fname	/Shapes/Clasificacion/	Contiene resultado de las clasificaciones
colors_file	/Shapes/colorfile.clr	Archivo con mapa de colores para la representación de la clasificación

⁵⁷ Código adaptado de los presentados en las páginas <https://www.machinalis.com/blog/python-for-geospatial-data-processing/> y <http://geoexamples.blogspot.cl/2013/06/gdal-performance-ii-create-png-from.html> [consultados por última vez el 07/01/2017].

g) Porcentaje de nubes y nieve:

- i) Para convertir los polígonos de la carpeta “1 – Poligonos” a puntos útiles se utiliza el código Python creado para este proyecto: “poly2point.py⁵⁸”, el cual se encuentra en el directorio “../ClasificacionSatelital/Codigos/”.
- ii) La línea 6 del código es la que puede ser modificada para adaptarse al caso que se esté viendo. Esta variable se llama raíz_path y apunta al directorio donde está guardada la carpeta maestra /ClasificacionSatelital/.

⁵⁸ Código adaptado del código presentado en la página https://pcjericks.github.io/py-gdalogr-cookbook/vector_layers.html#convert-polygon-to-points [consultado el 15/11/2016]