

GENERACIÓN DE PRESCRIPCIONES PARA LA APLICACIÓN DE INSUMOS EN LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

INFORME DE PROYECTO DE GRADO PRESENTADO AL TRIBUNAL EVALUADOR COMO REQUISITO DE
GRADUACIÓN DE LA CARRERA INGENIERÍA EN COMPUTACIÓN

ESTUDIANTES

CECILIA GONZÁLEZ

JAVIER REGUSCI

SEBASTIÁN SANTOS

BAJO LA SUPERVISIÓN DE

M.Sc. OMAR VIERA - DPTO. I.O., IN.Co., F.ING.

M.Sc. MERCEDES BERTERRETCHE – ICA

A/S MASSIMILIANO MENESTRINA – ICA



FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
MONTEVIDEO, ABRIL DE 2008

1 Resumen General

Este trabajo tiene como objetivo la construcción de una herramienta que permita la generación de prescripciones de fertilización para los cultivos de Trigo, Cebada, Soja y Maíz, y los nutrientes Fósforo y Nitrógeno. Las prescripciones generadas deben permitir el manejo diferencial del suelo por Zonas de Manejo tal como se realiza en Agricultura de Precisión.

En Agricultura de Precisión se realizan recomendaciones sobre los insumos basadas en las necesidades específicas de cada zona en lugar de promediar todo el campo. De esta forma, se puede mejorar la eficiencia de la producción agrícola ajustando la aplicación de los insumos a las áreas que son más receptivas sin necesidad de aumentar la cantidad de recursos.

La prescripción de fertilización cumple con los requerimientos nutricionales del cultivo, determinando la cantidad a aplicar de cada fertilizante, de forma de maximizar el beneficio económico del agricultor.

El trabajo consiste en la generación de modelos abstractos de los cultivos en cuestión considerando las etapas vegetativas donde la práctica agrícola recomienda la fertilización de nutrientes. Debido a que se trata de un problema de Programación Lineal, se evalúan varias alternativas en cuanto a bibliotecas de Optimización y se utiliza la biblioteca de optimización GAMS. Posteriormente se desarrolla una biblioteca que encapsula las funcionalidades de generación de la prescripción y la comunicación con GAMS. También se desarrolla una interfaz gráfica para la comunicación con la biblioteca y la visualización de los resultados.

Se generan modelos de fertilización de Nitrógeno y Fósforo para los cultivos considerados en las etapas vegetativas consideradas. Los resultados obtenidos son buenos, los valores económicos se encuentran dentro de los esperados y los modelos abstractos utilizados fueron adecuados.

Palabras Clave: Agricultura de Precisión, Optimización, GAMS, Modelo, Programación Lineal, Fertilización, Zona de Manejo, Trigo, Cebada, Maíz, Soja.

2 Contenido

1	Resumen General	2
2	Contenido	3
3	Introducción	14
4	Definición del Problema y Requerimientos del Prototipo	18
4.1	Problema a Resolver	18
4.2	Requerimientos	18
4.2.1	Alcance	20
4.3	Requerimientos Funcionales	21
4.3.1	Biblioteca	21
4.3.2	Interfaz Gráfica	21
4.4	Requerimientos No Funcionales.....	22
4.4.1	Restricciones de Implementación	22
4.4.2	Interfaces con hardware	22
4.4.3	Interfaces con software.....	22
4.4.4	Interfaces de comunicación	22
4.4.5	Restricciones de memoria	22
4.4.6	Requerimientos de adecuación al entorno	22
4.4.7	Requerimientos de documentación	22
4.5	Supuestos y Dependencias	22
5	Parte Central del Trabajo	23
5.1	Estados del Arte	23
5.1.1	Resumen del Estado del Arte de Agricultura de Precisión	23
5.1.2	Resumen del Estado del Arte de Optimización	24
5.2	Investigación de los modelos.....	24
5.3	Implementación de los Modelos en GAMS	32
5.4	Diseño de la Biblioteca y de la Interfaz Gráfica	32
5.5	Implementación de la Biblioteca e Interfaz Gráfica	33
5.6	Pruebas	33
6	Descripción de la Implementación.....	34
6.1	Detalles de Implementación.....	34
6.2	Extensibilidad de la Implementación.....	41
6.2.1	Agregar un Cultivo	41

6.2.2	Modificaciones a los Modelos	41
7	Verificación.....	43
7.1	Plan de Verificación	43
7.1.1	Validación y Verificación de los Modelos	43
7.1.2	Verificación Funcional de la Aplicación	43
7.1.3	Escribir Archivo de Datos.....	44
7.1.4	Cargar Archivo de Datos.....	45
7.1.5	Crear GAMS	46
7.1.6	Ejecutar GAMS.....	47
7.1.7	Leer Reporte	49
7.1.8	Escribir Reporte	50
8	Resultados de Verificación Funcional.....	51
8.1	Verificación Funcional de la Interfaz Gráfica	51
8.2	Verificación Funcional de la Biblioteca	51
8.2.1	Escribir Archivo de Datos.....	52
8.2.2	Cargar Archivo de Datos.....	54
8.2.3	Crear GAMS	55
8.2.4	Ejecutar GAMS.....	56
8.2.5	Leer Reporte	58
8.2.6	Escribir Reporte	59
8.2.7	Conclusiones de las Pruebas Funcionales	61
8.3	Validación y Verificación de los Modelos	63
8.3.1	Resultados	64
8.3.2	Análisis de los Resultados.....	69
9	Conclusiones y Trabajo Futuro	70
9.1	Investigación de los Estados del Arte	70
9.2	Creación de los modelos.....	70
9.3	Desarrollo del Prototipo	71
9.4	Testing.....	71
9.4.1	Análisis de los Resultados.....	71
9.5	Dificultades Encontradas	72
9.6	Posibles mejoras	72
9.7	Evaluación Global del Proyecto	73
10	Referencias Bibliográficas	74

1	Anexo 1 – Estado Arte de Agricultura de Precisión.....	76
1.1	Abstract.....	76
1.2	Introducción.....	77
1.3	Herramientas	77
1.3.1	GPS.....	77
1.3.2	Monitores de Rendimiento y otros	78
1.3.3	Mapas de Rendimiento	79
1.3.4	Tecnología de la Información y la Comunicación (TIC) en la agricultura	80
1.3.5	Tecnologías de Dosis Variables (TDV).....	81
1.3.6	Software	82
1.3.7	Percepción Remota	85
1.3.8	Zonas de Manejo	86
1.3.9	Análisis de Datos.....	86
1.4	Actualidad de la Agricultura de Precisión en el Mundo	89
1.4.1	En la Región	89
1.4.2	En el resto del Mundo	93
1.5	Conclusiones	96
1.6	Referencias	97
2	Anexo 2 – Estado Arte de Optimización.....	100
2.1	Abstract.....	100
2.2	Optimización.....	101
2.2.1	Introducción	101
2.3	Modelos.....	102
2.3.1	Introducción	102
2.3.2	Proceso de modelado.....	102
2.4	Problemas y Métodos de Optimización.....	103
2.4.1	Programación Lineal	103
2.4.2	Programación Lineal Entera y Programación Lineal Entera Mixta	112
2.4.3	Programación No Lineal	113
2.4.4	Programación Estocástica.....	114
2.4.5	Programación Dinámica	114
2.4.6	Métodos Heurísticos	116
2.4.7	Métodos Meta Heurísticos.....	118
2.5	Software.....	121

2.5.1	AMPL (A Mathematical Programming Language)	121
2.5.2	GAMS (General Algebraic Modeling System)	121
2.5.3	GLPK (GNU Linear Programming Kit).....	122
2.5.4	LINGO.....	122
2.5.5	WINQSB	123
2.5.6	RIOT	123
2.5.7	Xpress	123
2.5.8	MPL.....	124
2.5.9	Análisis del Software	124
2.6	Problemas de Programación Lineal	124
2.6.1	Problema del Transporte.....	125
2.6.2	Problema de la Planificación de la Producción	126
2.6.3	Problema de la Dieta	127
2.7	Aplicaciones y Ejemplos.....	127
2.7.1	Modelos de Optimización para AP, Texas	128
2.7.2	Modelo de PL para la producción de Guayaba [19]	128
2.7.3	Análisis del Impacto Económico del Cambio Climático en la Agricultura [20]....	129
2.7.4	Modelos de Programación Lineal Difusa para la Fertilización Óptima de Tierras de Cultivo [74]	130
2.7.5	Modelo de PL de la Producción, Integrado en un Sistema Computarizado de Producción, Inventario y Ventas Industrial [75].....	132
2.8	Conclusiones	135
2.9	Referencias Bibliográficas.....	136
3	Anexo 3 – Modelos Teóricos de los Cultivos.....	140
3.1	Modelo de Trigo.....	140
3.1.1	Consideraciones	140
3.1.2	Etapa Siembra.....	140
3.1.3	Etapa Z_{22}	145
3.1.4	Etapa Z_{30}	149
3.1.5	Referencias	155
3.2	Modelo de Cebada.....	156
3.2.1	Consideraciones	156
3.2.2	Etapa Siembra.....	156
3.2.3	Etapa Z_{22}	162

3.2.4	Etapa Z ₃₀	167
3.2.5	Referencias	173
3.3	Modelo de Soja	174
3.3.1	Consideraciones	174
3.3.2	Etapa Siembra.....	174
3.3.3	Referencias	178
3.4	Modelo de Maíz	179
3.4.1	Consideraciones	179
3.4.2	Etapa Siembra.....	179
3.4.3	Etapa V5-V6	183
3.4.4	Referencias	186
4	Anexo 4 – Descripción de la Arquitectura y Diseño	187
4.1	Contratos	187
4.2	Datatypes.....	190
4.2.1	DataFertilizante	190
4.2.2	DataParametro	191
4.2.3	DataZona	191
4.2.4	DataCultivo	192
4.2.5	DataArchivoConfiguracion.....	192
4.2.6	DataArchivoDatos.....	192
4.2.7	DataReporte	193
4.3	Excepciones	194
4.4	Arquitectura.....	195
4.4.1	GUI	197
4.4.2	Lógica.....	197
4.4.3	Acceso a Datos.....	197
4.4.4	Diagramas de colaboración	197
4.4.5	Formato de los archivos	198
5	Anexo 5 – Resultados de las Pruebas de los cultivos	204
5.1	Trigo.....	204
5.1.1	Consideraciones Generales	204
5.1.2	Casos Standard	204
5.2	Cebada	211
5.2.1	Consideraciones Generales	211

5.2.2	Casos Standard	211
5.2.3	Otras Pruebas interesantes	219
5.3	Soja	224
5.3.1	Consideraciones Generales	224
5.3.2	Casos Standard	224
5.3.3	Otras Pruebas	226
5.4	Maíz	228
5.4.1	Consideraciones Generales	228
5.4.2	Casos Standard	228
5.4.3	Otras Pruebas	231
6	Anexo 6 – Evaluación de los Resultados por el Ing. Agr. Daniel Melo	238
6.1	Evaluación	238
7	Anexo 7 – Uso de la Biblioteca	239
7.1	Introducción	239
7.2	Datatypes	240
7.2.1	DataFertilizante	240
7.2.2	DataParametro	241
7.2.3	DataZona	241
7.2.4	DataCultivo	241
7.2.5	DataArchivoDatos	242
7.2.6	DataReporte	243
7.3	Interfaces y Operaciones	244
7.4	Formato de los Archivos	247
7.5	Consideraciones para Trigo	251
7.5.1	Etapa Siembra	251
7.5.2	Etapa Z ₂₂	251
7.5.3	Etapa Z ₃₀	251
7.6	Consideraciones para Cebada	251
7.6.1	Etapa Siembra	251
7.6.2	Etapa Z ₂₂	251
7.6.3	Etapa Z ₃₀	251
7.7	Consideraciones para Soja	251
7.7.1	Etapa Siembra	251
7.8	Consideraciones para Maíz	251

7.8.1	Etapa Siembra.....	251
7.8.2	Etapa V5V6	252
7.9	Consideraciones Generales	252
7.10	Creación de un Proyecto utilizando la Aplicación.....	252
7.11	Ejemplo 1 – Cargar Datos.....	255
7.12	Ejemplo 2 – Generación de una Prescripción	258
8	Anexo 8 – Manual de Usuario	264
8.1	Introducción.....	264
8.2	Opciones del menú.....	264
8.2.1	Modelo → Nueva Prescripción	264
8.2.2	Archivo → Abrir Reporte.....	269
8.2.3	Archivo → Salir	270
8.2.4	Ayuda → About	270
8.3	Mensajes de Error.....	271
8.4	Consideraciones para Trigo	273
8.4.1	Etapa Siembra.....	273
8.4.2	Etapa Z ₂₂	273
8.4.3	Etapa Z ₃₀	273
8.5	Consideraciones para Cebada	273
8.5.1	Etapa Siembra.....	273
8.5.2	Etapa Z ₂₂	274
8.5.3	Etapa Z ₃₀	274
8.6	Consideraciones para Soja.....	274
8.6.1	Etapa Siembra.....	274
8.7	Consideraciones para Maíz.....	274
8.7.1	Etapa Siembra.....	274
8.7.2	Etapa V5V6	274
8.8	Consideraciones generales	274
9	Anexo 9 – Glosario	275

Índice

A

Acre · 275
Agis · 83
AMPL · 121
Análisis de Sensibilidad · 104
Ant Colony Optimization (ACO): · 120
ArcGIS · 84
Área Foliar · 275

B

Barbecho · 275

C

Combinación Lineal · 275
Conclusiones · 70
Conjunto Convexo · 275
Conjunto Poliédrico · 275
Corrección Geométrica · 275
Corrección Radiométrica · 275
CropSyst · 275

D

Datos geográficos · 275
Datos georreferenciados · 275
Descripción de la Arquitectura y Diseño · 187
Descripción de la Implementación · 34
Descripción del problema · 86
Distribución de probabilidades · 276
DSSAT · 83
Dualidad · 104

E

Econometría Espacial · 88
Ecuación lineal · 276
Edafología · 276
Electrodo · 276
Envoltura Convexa · 276
Espectroscopia · 276
Estado Arte de Agricultura de Precisión · 76
Estado Arte de Optimización · 100
Evaluación de los Resultados por el Ing. Agr. Daniel Melo · 238
Extrapolación · 276

F

Factores de manejo · 276
FarmFunds · 82
FarmSite · 82
FarmSiteMate · 83
FarmTrac · 82

FarmTracMate · 83
FarmWorks · 82
Función Objetivo · 276

G

GAMS · 121
Genetic Algorithms (GA): · 119
GeoDa · 83
Geoestadística · 86
Glosario · 275
GLPK · 122
GPS · 77

H

Heterocedasticidad · 276
Híbrido-Maíz · 83

I

Imágenes satelitales · 276
Independencia Lineal · 276
Índice de vegetación verde · 276
Insumos · 276
Interpolación · 277
Introducción · 14

K

Kriging · 88

L

LINGO · 122

M

Manual de Usuario · 264
Mapa de fertilidad · 277
Mapas de Rendimiento · 79
Método de escalado afín · 110
Método de Karmarkar · 110
Método del Elipsoide · 108
Método Primal - Dual de Punto Interior · 111
Método Simplex · 105
Método Simplex Revisado · 106
Métodos de Punto Interior · 109
Métodos Heurísticos · 116
Métodos Meta Heurísticos · 118
Modelo de Cebada · 156
Modelo de Maíz · 179
Modelo de Soja · 174
Modelo de Trigo · 140, 155
Modelos Teóricos de los Cultivos · 140
Monitores de Rendimiento · 78
MPL · 124

N

Napas de agua · 277

O

Optimización · 101, 102, 277

Organización del documento · 16

P

PAC · 277

Parte Central del Trabajo · 23

Partes por millón · 277

Percepción Remota · 85

Polítopo · 277

PPM · 277

Prescripción · 277

Problema de la Dieta · 127

Problema de la Planificación de la Producción · 126

Problema del Transporte · 125

Proceso de modelado · 102

Programación Dinámica · 114

Programación Estocástica · 114

Programación Lineal · 103

Programación Lineal Entera · 112

Programación Lineal Entera Mixta · 112

Programación No Lineal · 113

R

Rectificación · 277

Referencias Bibliográficas · 74

Restricciones · 277

Resultado de Testing · 43

Resultados de las Pruebas de los cultivos · 204

RIOT · 123

S

Serie de Tiempo · 277

Simulated Annealing (SA): · 118

Site Pro · 83

Solución Factible · 277

Solución Óptima · 277

Solver · 278

T

Tabu Search (TS): · 119

TDV · 81

Tecnología de la Información y la Comunicación · 80

Tecnologías de Dosis Variables · 81

TIC · 80

U

Uso de la Librería · 239

V

Variabilidad Espacial · 278

Variabilidad Temporal · 278

Variable aleatoria · 278

Variable de Decisión · 278

Variograma · 87

Verdín · 278

Voltaje · 278

W

WINQSB · 123

Z

Zona de Manejo · 278

Zonas de Manejo · 86

3 Introducción

En los últimos años el agro ha comenzado a sufrir diversas transformaciones en ámbitos como el tecnológico, el económico y el social.

El aumento en la disponibilidad de tecnología informática permite hoy en día acceder a información sustancial para la optimización de la producción y la toma de decisiones en todas las ramas de la industria. El agro, si bien a menor ritmo [1], no es ajeno a esta tendencia. Hoy en día están disponibles tecnologías como GPS [10], Monitores de Rendimiento [4], Sensores Remotos [4], Sistemas de Dosis y Riego Variable [4], que permiten realizar un manejo más eficiente del proceso productivo.

A su vez, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) [14] permiten el procesamiento y análisis detallado de los datos del suelo aportando así información valiosa para la toma de decisiones. La disponibilidad de información fiable, verdadera y oportuna sobre un cultivo, un producto o un proceso, se considera como un insumo más que hay que gestionar. La información debe usarse para conocer el rendimiento del cultivo y tomar acciones para mejorarlo [6].

La aparición de tecnologías de comunicación inalámbrica (3G) [11], permiten la conexión a Internet de alta velocidad desde el medio rural con un mínimo de infraestructura. Dicha posibilidad permite al productor acceder a una gran cantidad de información de interés que se encuentra disponible online [12]. Algunos ejemplos son las bolsas de valores de precios de granos tanto nacionales como internacionales, sistemas de seguimiento de embarques, informes meteorológicos, órdenes de compra a proveedores, entre otros.

Los últimos años han marcado la tendencia de la escasez de tierra y el aumento del precio de la misma [3]. Desde el año 2000 hasta la fecha se han vendido más de 4.800.000 hectáreas cuyo precio promedio se triplicó desde el año 2003 al 2007 (420 U\$S /Ha. a 1307 U\$S /Ha.) [3]. El incremento del costo de la tierra, se manifiesta en el costo de los alquileres de los campos, elevando significativamente el punto de indiferencia económica. Otras ramas como son la forestación y el ganado también demandan cada vez más tierras.

Por otro lado, también en los últimos años los precios internacionales de algunos granos como es el caso del Trigo han aumentado de forma continua [2].

Todos estos factores han llevado a la necesidad de maximizar la producción agrícola. Una de las formas de optimización de la producción agrícola es el uso de técnicas de Agricultura de Precisión [4].

Se entiende como Agricultura de Precisión (AP) al conjunto de técnicas y sistemas aplicados para optimizar la producción agrícola en términos de su eficiencia, productividad y rentabilidad. Se desean realizar recomendaciones sobre los insumos basadas en las necesidades específicas de cada zona en lugar de la necesidad promedio de todo el campo. Una de las ideas básicas de AP es que se puede mejorar la eficiencia de la producción agrícola ajustando la aplicación de los insumos a las áreas que son más receptivas sin necesidad de aumentar la cantidad de recursos (maquinaria, personal, etc.).

En la actualidad se están desarrollando sistemas de apoyo a la toma de decisiones para el agricultor. Un ejemplo de esto es el DSSAT [5] que es un sistema avanzado que permite simular, integrando los efectos del suelo, los cultivos y el clima, el resultado de una prescripción de manejo. Dado que es un sistema avanzado y que toma en cuenta múltiples factores, requiere de una calibración precisa y abundante disponibilidad de datos.

Teniendo en cuenta esta realidad, surge la motivación de trabajar en el desarrollo de herramientas que permitan la optimización y apoyo a la toma de decisiones en la producción agrícola. En particular, el proyecto original se realiza en el marco del Programa de Desarrollo Tecnológico [27] y tiene por objetivo principal el desarrollo de un conjunto de herramientas y metodologías que faciliten la aplicación de la Agricultura de Precisión, considerando las condiciones de producción de Uruguay. En el proyecto participan La Hectárea, una consultora de servicios agronómicos de Dolores, ICA [13], una empresa de consultoría en informática, cuatro productores agropecuarios en cuyos establecimientos se realizan los

trabajos de campo y se cuenta con la colaboración del INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria).

Dentro del proyecto original, se proponen tres Proyectos de Grado en conjunto con la empresa ICA y la Facultad de Ingeniería, cada uno con el objetivo de resolver una parte del mismo. Los tutores responsables de estos proyectos son: M.Sc. Mercedes Berterretche y A/S Massimiliano Menestrina, por parte de ICA y M.Sc. Omar Viera por parte de la Facultad de Ingeniería.

Los tres Proyectos de Grado se centran cada uno en una etapa. Las tres etapas en conjunto permitirán tomar datos de una chacra o potrero y generar una prescripción de manejo completa incluyendo la definición y predicción de Zonas de Manejo [4] así como la prescripción de fertilización del cultivo. Las diferentes etapas del proyecto son:

- Etapa1: Identificación de Patrones Espaciales y Generación de Zonas Homogéneas
- Etapa2: Predicción de Rendimiento
- Etapa3: Generación de Prescripciones de Fertilización

A continuación describimos las diferentes fases del proyecto general para posteriormente entrar en los objetivos concretos de este proyecto.

La primera etapa, Identificación de Patrones Espaciales y Generación de Zonas Homogéneas, recibe los datos del suelo de un año o zafra de una chacra o potrero y devuelve una división en Zonas de Manejo para esos datos.

Luego de una serie de n ejecuciones de la primera etapa se tienen n divisiones de Zonas de Manejo, una por cada año o zafra. El resultado de la segunda etapa (Predicción de Rendimiento) es generar una predicción de división en Zonas de Manejo del suelo para el próximo año o zafra.

Finalmente, la tercera etapa (Generación de Prescripciones) realiza las recomendaciones de fertilización determinando las cantidades de insumos que se deben utilizar para lograr un mayor beneficio económico sobre la predicción de división de zonas realizada en la segunda etapa.

Se espera que la prescripción pueda elaborarse sobre una división en Zonas de Manejo de forma genérica por lo que si se desea, el proceso de prescripción podría ejecutarse sobre cada una de los resultados de las ejecuciones del primer proceso de forma independiente.

En la Figura 3.1 se visualiza un diagrama con las diferentes etapas descritas.

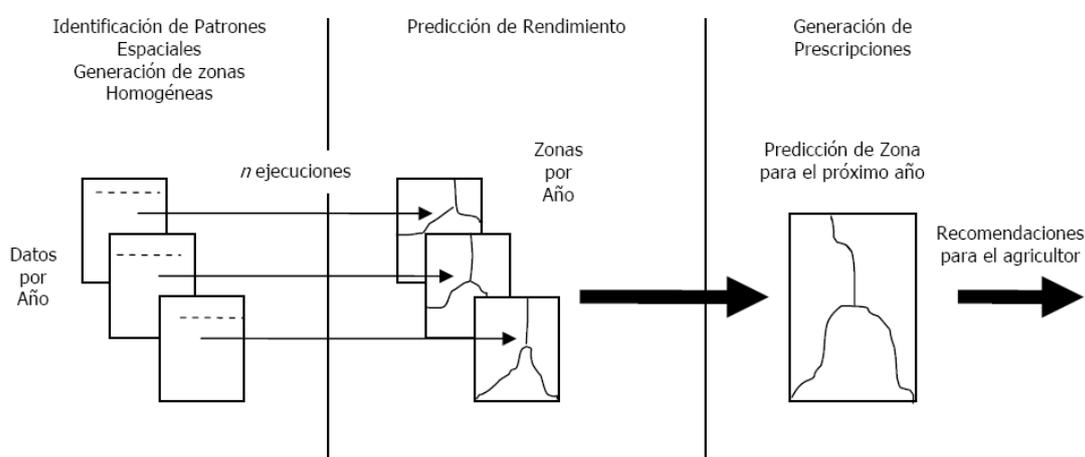


FIGURA 3.1 - ETAPAS DEL PROYECTO.

Este Proyecto de Grado busca resolver el problema planteado en la tercera etapa. Consiste en desarrollar un prototipo que genere recomendaciones de fertilización específicas por Zona de Manejo de acuerdo a la potencialidad de rendimiento del cultivo dada por los recursos naturales y tecnológicos disponibles, con el fin de obtener maximización del beneficio económico para el productor. Este prototipo será parte de un sistema de gestión de manejo de cultivos extensivos, como un módulo más del proyecto original.

Este proyecto tiene como uno de los objetivos realizar una investigación sobre los Estados del Arte de las áreas de Agricultura de Precisión y Optimización, los cuales se encuentran en los Anexos 1 y 2 respectivamente. El Estado del Arte de Agricultura de Precisión permite estudiar los últimos avances en la materia así como las tecnologías y técnicas disponibles actualmente. A su vez, permite analizar el grado de avance en uso de estas técnicas tanto en la región (Argentina, Brasil y Uruguay) como en el mundo. El Estado del Arte de Optimización permite estudiar y analizar las diferentes técnicas y algoritmos disponibles para la resolución de problemas de optimización de la producción. Se desea que esta investigación permita profundizar el estudio de problemas de planificación de la producción así como sus métodos de resolución. En concreto se desea conocer el grado de avance en la resolución de problemas de planificación de la producción agrícola relacionados con la aplicación de insumos y la estimación del rendimiento.

Otro de los objetivos del proyecto es el desarrollo de un prototipo que permita generar prescripciones de fertilización de algunos nutrientes, de forma de maximizar el beneficio económico del productor agrícola. Se desea que el prototipo pueda ser utilizado por un productor para determinar qué fertilizantes utilizar y qué cantidad de cada uno aplicar en cada Zona de Manejo, de forma de cumplir con los requerimientos nutricionales del cultivo teniendo como objetivo maximizar el beneficio económico. Por lo tanto, otro objetivo del proyecto es la creación de modelos matemáticos del comportamiento de los cultivos que sirvan de soporte en la creación del prototipo.

Considerando la descripción del proceso realizada anteriormente (Figura 3.1), en esta fase, las Zonas de Manejo estimadas para el siguiente año o zafra ya fueron definidas. Se realizan mediciones de los valores de nutrientes residuales en el suelo y en la planta. En función de factores como el manejo y el laboreo que se desee utilizar, las mediciones, las Zonas de Manejo, el cultivo, la etapa vegetativa del cultivo, los fertilizantes disponibles, los costos y precios, son ingresados al prototipo para obtener una prescripción de fertilización. La prescripción deberá contener un rendimiento estimado (por zona y global) lo cual a su vez, dado que se tiene el precio del cultivo, permite estimar una ganancia. También presentará la cantidad a aplicar de cada fertilizante para cada zona y el costo asociado con la aplicación de esos fertilizantes.

Para facilitar la generación de prescripciones y la visualización de resultados, se define que dicho prototipo sea una biblioteca y una interfaz gráfica. Esta interfaz hace uso de las funcionalidades de la biblioteca y permite ingresar los datos para generar una prescripción en un formulario y desplegar los resultados de la prescripción. También facilita la apertura y el guardado de los archivos de datos utilizados para generar una prescripción y para los resultados mediante un File Browser.

A modo de resumen de las conclusiones generales, se puede decir que, se completa la investigación de los Estados del Arte planteados. Esta investigación sirve como introducción a los temas en cuestión y permite estudiar las últimas tecnologías existentes.

Se crean los modelos abstractos para los cultivos considerados, pero debido a la falta de documentación existente no se pueden incluir todas las variables deseadas. Sin embargo, las variables incluidas permiten realizar prescripciones y obtener resultados de valor. Las restricciones de los modelos son en su mayoría lineales al igual que la función objetivo. La única restricción no lineal de los modelos es la función que estima el rendimiento del cultivo. Se realizó una linealización de esta función para ajustarla a un problema de Programación Lineal resultando así en una solución más simple. Se evalúa el uso de dos bibliotecas de optimización, GAMS y GLPK y se decide utilizar GAMS para la implementación de los modelos debido a que se ajusta a los requerimientos del proyecto.

Se desarrolla una biblioteca que exporta funcionalidades para generar la prescripción desde un sistema externo y se desarrolla una interfaz gráfica para visualizar los resultados.

Se realiza una verificación manual de los modelos y una serie de pruebas funcionales al prototipo con resultados aceptables. Los resultados de las prescripciones generadas por el prototipo son analizados para elaborar conclusiones respecto a que alternativas de manejo y laboreo resultan en un mayor beneficio económico obteniendo buenos resultados. En este análisis contamos con el apoyo de un Ingeniero Agrónomo especializado en el área, quien a su vez realizó un análisis de los modelos utilizados y del prototipo en general. De este análisis se desprende que los modelos teóricos definidos son los correctos y también algunas sugerencias de modificaciones a realizar a los modelos y al prototipo para ajustarlos más a las necesidades de la práctica agrícola.

Finalmente, la organización del documento es la siguiente. El Capítulo 1 contiene el Resumen General. El Capítulo 2 contiene los índices de contenido y temático del documento. El Capítulo 3 contiene una introducción al proyecto presentando los antecedentes, motivación y objetivos, y una descripción de la organización del documento. El Capítulo 4 presenta una descripción del problema y los requerimientos del prototipo detallando tanto los requerimientos funcionales como no funcionales. El Capítulo 5 presenta la parte central del trabajo donde se detallan los diferentes pasos y tareas que se realizaron durante el proyecto. Se describen la fase de investigación, la creación de los modelos de los cultivos y la implementación de los mismos en GAMS. El Capítulo 6 presenta los detalles de implementación del prototipo. El Capítulo 7 presenta el plan de verificación detallando las diferentes áreas en las que se realizó verificación y validación de la solución. El Capítulo 8 presenta los resultados de la verificación que se detalló en el Capítulo 7 y una descripción de las conclusiones obtenidas de los resultados. El Capítulo 9 presenta las conclusiones globales del proyecto y se realiza un breve análisis de las posibles líneas de trabajo futuro. El Capítulo 10 contiene las referencias bibliográficas para los capítulos anteriores (Capítulos 3 al 9) y es independiente de la bibliografía presentada en los anexos ya que cada uno de los anexos contiene sus referencias bibliográficas propias. El Anexo 1 contiene el Estado del Arte de Agricultura de Precisión donde se presentan las últimas tecnologías y métodos utilizados en la materia. El Anexo 2 contiene el Estado del Arte de Optimización donde se presentan los métodos y algoritmos más utilizados en el área. El Anexo 3 contiene los modelos teóricos creados en el proyecto para los cultivos considerados: Trigo, Cebada, Soja y Maíz. Para cada uno se presentan las etapas consideradas con los datos, variables, restricciones y función objetivo. El Anexo 4 contiene el diseño y arquitectura de la aplicación. Se presentan los contratos, datatypes, excepciones, arquitectura y formato de los archivos. El Anexo 5 contiene los resultados de las pruebas realizadas con datos reales a los cultivos considerados. El Anexo 6 contiene la evaluación de los resultados presentados en el Anexo 5, realizada por el Ing. Agr. Daniel Melo. El Anexo 7 contiene un documento que describe el uso de la biblioteca desde el punto de vista de un programador que la desea incorporar a un proyecto de Software. El Anexo 8 contiene el manual de usuario para la interfaz gráfica implementada. El Anexo 9 contiene el Glosario donde se definen los términos más relevantes del proyecto.

4 Definición del Problema y Requerimientos del Prototipo

Este Capítulo contiene una descripción del problema a resolver y la especificación de requerimientos para el prototipo a construir, definidos en conjunto con ICA.

4.1 Problema a Resolver

El problema planteado en este proyecto es el desarrollo de un prototipo que permita generar prescripciones de fertilización de algunos nutrientes, de forma de maximizar el beneficio económico del productor agrícola.

Se consideran Zonas de Manejo con un tratamiento diferencial, donde para cada una se realizan mediciones de los nutrientes residuales en el suelo. A partir de esas mediciones y del cultivo y etapa a considerar, se estiman los requerimientos nutricionales del cultivo en cada zona. Puede ocurrir que en alguna zona los niveles nutricionales sean suficientes por lo que no sería necesaria la fertilización. En caso de ser necesaria la fertilización de algún nutriente, se calcula la combinación óptima de fertilizantes de forma de cumplir los requerimientos de nutrientes. Esta combinación depende de los costos de los fertilizantes. Para calcular el beneficio económico se deberá estimar el rendimiento potencial del cultivo en función de la fertilización realizada y considerar el precio del cultivo. A su vez, para calcular el costo total se deberán considerar costos de muestreo del suelo y costos asociados con la fertilización, entre otros. Al momento de la siembra se puede diferenciar entre dos tipos de laboreo, Laboreo Convencional y Siembra Directa, donde en el primero se realizan tareas de tratamiento del suelo previo a la siembra, cosa que no ocurre en el segundo. Estas diferentes técnicas de laboreo impactan en el rendimiento del cultivo y también influyen en etapas posteriores a la siembra. Por otro lado, se puede variar el tipo de manejo, considerando Agricultura de Precisión o no. Si no se considera Agricultura de Precisión se toma como una única Zona de Manejo toda la chacra. Es importante determinar si existe una combinación de fertilizantes que cumpla las necesidades de nutrientes del cultivo, es decir, determinar si con un conjunto de fertilizantes existentes en el mercado, de preferencia los más usados en la práctica agrícola, se cumple con las necesidades nutricionales del cultivo.

4.2 Requerimientos

El sistema debe realizar prescripciones de manejo para las diferentes Zonas de Manejo, generadas a partir de datos de una o más zafras. La prescripción de manejo consiste en determinar la cantidad a aplicar de cada uno de los fertilizantes disponibles en cada Zona de Manejo con el fin de maximizar el beneficio económico cumpliendo los requerimientos de nutrientes mínimos del cultivo, por lo que esta herramienta debe considerar los costos de los insumos, manejos y los precios de los productos finales.

Para facilitar la generación de prescripciones y la visualización de resultados, se define que dicho prototipo sea una biblioteca y una interfaz gráfica que haga uso de las funcionalidades de la biblioteca. Dicha interfaz permite ingresar los datos para generar una prescripción en un formulario y desplegar los resultados de la prescripción de forma amigable. También facilita la apertura y el guardado de los archivos de datos utilizados para generar una prescripción y para los resultados mediante un File Browser.

Este prototipo será parte de un sistema de gestión de manejo de cultivos extensivos, como un módulo más del proyecto original.

Algunos de los aspectos más relevantes de la creación del prototipo son:

- El Problema de Fertilización es tratar de lograr una combinación de fertilizantes que permita cumplir las necesidades de nutrientes del cultivo. Uno de los primeros objetivos es determinar la viabilidad del problema de fertilización, es decir, determinar si con una lista de fertilizantes existentes en el mercado, de preferencia los más usados en la práctica agrícola, es posible cumplir con las necesidades nutricionales del cultivo.
- Elaborar resultados útiles para comparar diferentes alternativas de manejo y laboreo. Por ejemplo, cabe la posibilidad que en algún caso el beneficio económico sea mayor sin utilizar técnicas de Agricultura de Precisión. Se espera que el prototipo sea útil para realizar un análisis comparativo de estas alternativas como también de diferentes alternativas de laboreo.

Por lo tanto, para la creación de esta herramienta se definen los siguientes requerimientos:

- Crear los modelos abstractos para los cultivos. Los modelos deberán describir el rendimiento potencial del cultivo en función de los insumos utilizados. Algunos de los insumos a considerar son: las cantidades de nutrientes básicos (Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K)) y otros insumos de manejo como la densidad de semillas con la que se siembra y la cantidad de agua. También deberá considerar las diferentes etapas de crecimiento del cultivo y como afecta al rendimiento la aplicación de insumos en cada una de ellas. Los modelos deberán determinar la cantidad óptima de cada uno de los nutrientes a aplicar de forma de cumplir con requisitos mínimos y máximos fuera de los cuales disminuye el rendimiento. Por ejemplo, en el caso del Trigo si la aplicación de Nitrógeno es excesiva se produce el fenómeno denominado “Vuelco” en el cual la planta tiene un crecimiento excesivo en las primeras etapas y luego se cae.
- Se deberán definir las variables a optimizar. Existen varias posibilidades como ser, maximizar el beneficio económico, minimizar el costo, y maximizar el rendimiento.
- Implementar una biblioteca de clases (DLL) que implemente y exporte las funcionalidades de generación de una prescripción de forma que puedan ser invocadas por un sistema externo.
- Implementar una interfaz gráfica que utilice las funcionalidades de la biblioteca y permita al usuario realizar prescripciones de fertilización ingresando los datos en un formulario y visualizar los resultados en un reporte que sea amigable.

Proceso de generación de una Prescripción

Los pasos para la generación de una prescripción son:

1. El sistema despliega el formulario para ingresar los datos. El sistema brinda la opción al usuario que indique una ruta alternativa donde tomar el archivo con los datos necesarios. Por defecto se proporcionara un conjunto de datos. El sistema despliega las opciones “Trigo”, “Cebada”, “Maíz”, “Soja”.
2. El usuario selecciona el cultivo e ingresa su precio.
3. Para el cultivo seleccionado, el sistema despliega las posibles etapas (por ejemplo, para “Trigo” se mostraran las opciones Siembra, Z₂₂ y Z₃₀) y el usuario selecciona una.
4. El usuario selecciona la opción de manejo (AP o no AP), la opción de laboreo (Siembra Directa o Laboreo Convencional) y deberá ingresar los topes a aplicar de los nutrientes, los costos de fertilización y muestras y el presupuesto disponible para la etapa elegida.
5. El usuario ingresa los fertilizantes que desea utilizar en la prescripción con sus respectivos datos: nombre, el nivel de Nitrógeno, el nivel de Fósforo, indicador de si es líquido o sólido y precio.
6. El usuario debe definir la cantidad de Zonas de Manejo con sus respectivos datos: nivel de N en suelo, nivel de P en el suelo, cantidad de hectáreas, nivel de N en planta, rendimiento potencial y tipo de suelo.
7. El usuario confirma la información ingresada, y se ejecuta el cálculo de la prescripción.
8. El sistema despliega los resultados de la prescripción en un reporte. En el reporte se visualiza el rendimiento total y por zona, la cantidad de cada nutriente a aplicar en cada zona, la cantidad de cada fertilizante, el costo total, la ganancia total y el beneficio económico. El sistema brinda adicionalmente la opción de guardar el reporte en un archivo.

Además, el formulario de ingreso de datos brindará la posibilidad de guardar los datos ingresados por el usuario (pasos 1 al 6) y abrirlos desde el archivo. En la Figura 4.2.1 se visualiza el diagrama del proceso.

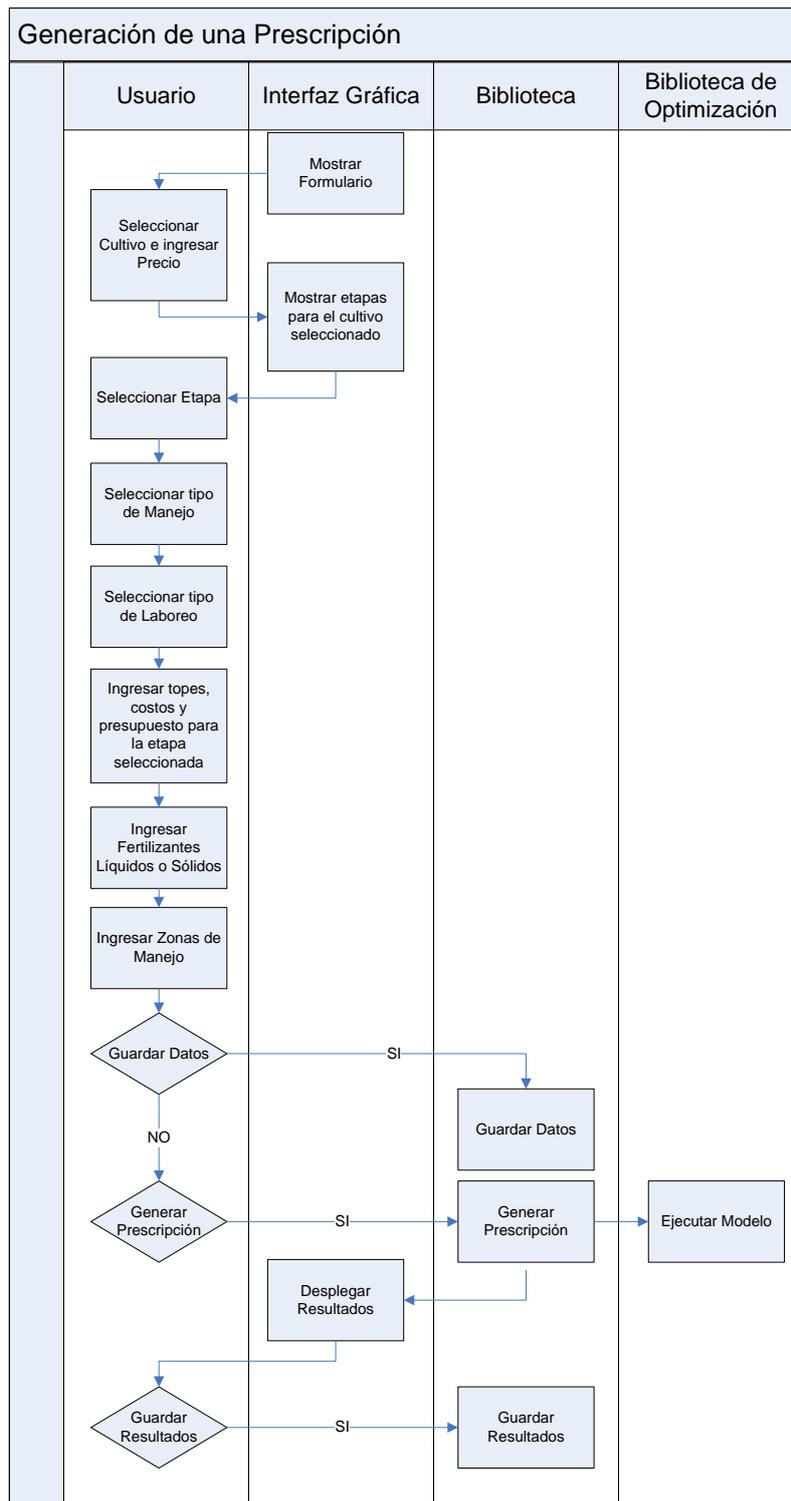


FIGURA 4.2.1 - PROCESO DE GENERACIÓN DE UNA PRESCRIPCIÓN

4.2.1 Alcance

Luego de realizar un análisis de la disponibilidad de documentación e información se decide modificar el alcance del prototipo en los siguientes puntos:

- Se consideran solo los cultivos de Trigo, Cebada, Soja y Maíz que son los cultivos de mayor prioridad para ICA. Posteriormente, en otra etapa del proyecto general se podrá considerar extender el prototipo para incluir otros cultivos.

- Se limitan los nutrientes a considerar a Nitrógeno y Fósforo debido a la poca disponibilidad de documentación relacionada con el rendimiento del cultivo con respecto a otros nutrientes críticos como es el Potasio. Tampoco se considerará la optimización de otros insumos de producción como son la densidad de semillas debido a falta de documentación y el agua debido a la complejidad asociada.
- Esta herramienta no tiene en cuenta aspectos ambientales como son los niveles mínimos y máximos de nutrientes en el suelo.
- Se considera la maximización del beneficio económico del agricultor como función objetivo para los modelos.
- Se extienden los modelos de los cultivos para permitir al agricultor aplicar algún nutriente en una etapa a pesar que la documentación y la práctica agrícola no lo recomiendan. Para eso se decide agregar un valor tope a la aplicación de cada nutriente, que el usuario podrá modificar de acuerdo a sus necesidades. Por ejemplo, en las etapas donde la bibliografía no recomienda la aplicación de Fósforo, el valor del tope a aplicar de Fósforo será cero pero el usuario lo podrá modificar si lo desea, para permitir la aplicación de ese nutriente.

4.3 Requerimientos Funcionales

En esta sección se describen los requerimientos funcionales para el prototipo. Primero se presentan los requerimientos de la biblioteca y posteriormente se presentan los requerimientos de la interfaz gráfica.

4.3.1 Biblioteca

- **Abrir un archivo de datos**
La biblioteca deberá brindar la funcionalidad de leer un archivo con los datos necesarios para la prescripción.
- **Guardar un archivo de Datos**
La biblioteca deberá brindar la funcionalidad de escribir un archivo con los datos necesarios para la prescripción.
- **Abrir un archivo de Reporte**
La biblioteca deberá brindar la funcionalidad de leer un archivo con los resultados de una prescripción.
- **Guardar un archivo de Reporte**
La biblioteca deberá brindar la funcionalidad de escribir un archivo con los resultados de una prescripción.
- **Generar una prescripción**
La biblioteca deberá brindar la funcionalidad de generar una prescripción de fertilización y encapsular la comunicación con la biblioteca de optimización.

4.3.2 Interfaz Gráfica

- **Editor de Datos**
Deberá brindar un formulario de ingreso de datos para realizar la prescripción. Deberá contar con las funcionalidades de abrir y guardar los datos para la prescripción haciendo uso de las funcionalidades de la biblioteca y la funcionalidad de invocar a la generación de una prescripción. Para facilitar el uso del editor este brindará la posibilidad de desplegar un conjunto de datos por defecto.
- **Visor de Reportes**
Deberá brindar la funcionalidad de desplegar la información del resultado de una prescripción en una forma amigable al usuario. Adicionalmente deberá brindar la posibilidad de guardar y abrir el reporte invocando a las funcionalidades de la biblioteca.

4.4 Requerimientos No Funcionales

4.4.1 Restricciones de Implementación

- Se define como lenguaje de desarrollo C# [22] tanto para la biblioteca como para interfaz gráfica. Ambos componentes deben ejecutar sobre la plataforma .NET Framework versión 2.0 [21].
- La biblioteca de Optimización debe ser una herramienta de Software Libre [26]. Basado en el estudio de herramientas de Optimización realizado en el Estado del Arte de Optimización (Anexo 2) se sugieren utilizar para este problema, GAMS [18] o GLPK [19]. Se deberá estudiar la conveniencia de utilizar una u otra.
- Se sugiere utilizar como entorno de desarrollo la herramienta Microsoft Visual Studio 2005.

4.4.2 Interfaces con hardware

No hay requerimientos en este punto.

4.4.3 Interfaces con software

Tal como se menciona en las restricciones de implementación se deberá utilizar una biblioteca de optimización que sea de Software Libre.

4.4.4 Interfaces de comunicación

La comunicación con otros sistemas se realizará por medio de archivos.

4.4.5 Restricciones de memoria

No hay requerimientos en este punto.

4.4.6 Requerimientos de adecuación al entorno

No hay requerimientos en este punto.

4.4.7 Requerimientos de documentación

- **Manual de Usuario**
Se brindara un manual de usuario, que especificara los pasos a seguir para usar la aplicación, así como la documentación necesaria para modificar los datos utilizados por ésta.
- **Guías de instalación, configuración y archivo Léame**
Se brindara una guía de uso de la biblioteca, que especificará la forma de utilizar las funcionalidades de ésta.

4.5 Supuestos y Dependencias

Para la implementación del prototipo de acuerdo a los requerimientos antes especificados se realizan los siguientes supuestos:

- Se contará con toda la documentación necesaria para realizar los modelos de los cultivos.
- Se contará con los datos necesarios para la ejecución de una prescripción.

5 Parte Central del Trabajo

Este Capítulo describe los trabajos realizados en las diferentes fases del proyecto. En la sección 5.1 se describe el trabajo realizado para la elaboración de los Estados del Arte tanto en el área de AP como de Optimización. En la sección 5.2 se describe la investigación realizada sobre los cultivos. En la sección 5.3 se describen los trabajos de creación de los modelos para los cultivos en sus diferentes etapas. Finalmente en la sección 5.4 se describe la implementación de la solución de Software para resolver los requerimientos.

5.1 Estados del Arte

Debido a que el problema planteado se refiere a Agricultura de Precisión, lo primero que se realizó fue una investigación del Estado del Arte de este tema. Este Estado del Arte sirvió para comenzar a familiarizarse con los términos, técnicas y herramientas utilizadas, trabajos, Software, y la aplicación de la Agricultura de Precisión en diferentes países del mundo.

Para esto, se contó con una gran cantidad de documentos proporcionados por nuestra tutora y contraparte de ICA, M.Sc. Mercedes Berterretche, además de información y documentación obtenida por nuestro grupo en Internet. Se comenzó evaluando estos documentos, clasificándolos de acuerdo a rama o tema dentro de la Agricultura de Precisión. Luego se realizó una lectura de cada uno y se comenzó a obtener la información más relevante que fue incluida en el Estado del Arte. En esta fase de estudio se descartó documentación que no era de interés. El documento del Estado del Arte de AP tuvo varias revisiones para luego establecer el documento de Estado del Arte definitivo. El estudio en el área de AP nos permitió familiarizarnos con los conceptos, últimas técnicas y tecnologías utilizadas en la materia.

Teniendo en cuenta el objetivo del problema, generar una prescripción de los insumos para maximizar el beneficio económico del agricultor, se realizó un Estado del Arte de Optimización. Este Estado del Arte se concentró en los diferentes métodos de optimización existentes, fundamentalmente sobre los problemas de Programación Lineal, debido a que son los relacionados con el trabajo. Para este tema se estudiaron diversas fuentes de documentación, la mayoría en Internet y se trató de brindar un resumen de los métodos más importantes. A su vez, se investigó la existencia de modelos y problemas de planificación de producción agrícola que fueran similares al problema planteado solo encontrándose modelos planteados a nivel teórico pero sin ninguna referencia a una aplicación concreta. El procedimiento llevado a cabo para realizar este documento fue el mismo que para el Estado del Arte de Agricultura de Precisión, primero se clasificó la documentación existente para posteriormente hacer una investigación y síntesis de los conceptos.

A continuación se presenta un resumen de ambos documentos. Los documentos completos se presentan en los Anexos 1 y 2.

5.1.1 Resumen del Estado del Arte de Agricultura de Precisión

La Agricultura de Precisión es el conjunto de técnicas y sistemas aplicados para optimizar la producción agrícola en términos de su eficiencia, productividad y rentabilidad. Su objetivo es realizar recomendaciones de manejo que se vayan a utilizar basándose en la interpretación y análisis de datos del suelo y el cultivo.

La utilización de las tecnologías en la agricultura hoy en día es referente a la optimización del manejo de las tierras agrícolas y al aumento del beneficio económico. Los avances en la maquinaria han permitido cambiar la metodología tradicional de trabajo de tratar uniformemente la chacra para poder realizar un tratamiento diferencial por Zona de Manejo y lograr los objetivos mencionados anteriormente.

Para la realización de las tareas de Agricultura de Precisión se cuenta con una variedad de herramientas y tecnologías, entre ellas, tecnologías para la obtención de datos del suelo como son los Monitores de Rendimiento, capaces de recolectar datos de las cosechas y GPS [10], la cual permite determinar la posición de esos datos. También se cuenta con Mapas de Rendimiento que permiten visualizar la variabilidad espacial del cultivo, así como Mapas de Conductividad Eléctrica que permiten visualizar la variabilidad del suelo. Estas tecnologías son utilizadas para luego definir las recomendaciones de dosis

variables de insumos. Además existen otras herramientas para recuperar, almacenar, organizar, manejar, producir, presentar e intercambiar la información recopilada que incluyen gran variedad de Software, que en conjunto con las otras tecnologías, son capaces de procesar Mapas de Rendimiento, y generar prescripciones para mejorar el beneficio económico.

Existe un grupo de técnicas muy utilizadas en Agricultura de Precisión como ser la Percepción Remota [16] y la Geoestadística [4]. La Percepción Remota permite recolectar información de objetos o áreas sin necesidad de tener contacto físico con ellos. La Geoestadística es una técnica que permite intentar realizar asociaciones de datos de tipo espacial. Utiliza los patrones geográficos de los datos para explicar de mejor forma su variabilidad [4].

Mediante las Zonas de Manejo se realiza un trato diferencial a diferentes sectores de las chacras. Estas zonas son caracterizadas de acuerdo a la variabilidad de los factores limitantes como son, por ejemplo, la elevación, la pendiente y los nutrientes y luego son tratadas de manera uniforme.

La adopción de la tecnología en el área informática para la agricultura ha sido más lenta en comparación con muchas otras áreas donde la informática ya juega un papel fundamental. Esto es debido a la resistencia a los cambios de los métodos tradicionales, a la falta de información que demuestre que es conveniente usar estas tecnologías por sobre estos métodos tradicionales, y a no contar con los equipos y personal calificado para utilizar estas nuevas herramientas.

5.1.2 Resumen del Estado del Arte de Optimización

La Optimización [15] es una rama de la Investigación Operativa [15] muy desarrollada y estudiada, que consiste en la selección de una alternativa mejor, en algún sentido, que las demás alternativas posibles, para alcanzar un objetivo.

Un Modelo, es la representación de la realidad que captura su esencia. Permiten representar problemas reales de manera que puedan ser resueltos matemáticamente.

Dentro de la Optimización existen varios métodos para resolver los problemas. Se utiliza uno u otro dependiendo de las particularidades del problema a resolver. Entre los tipos de problemas más conocidos se destacan los problemas de Programación Lineal, muy utilizada en economía, finanzas, ingeniería, comercio, etc. También existen problemas de Programación Lineal Entera y Programación Lineal Entera Mixta. Cada problema cuenta con diferentes métodos de resolución, como por ejemplo el Método Simplex para Programación Lineal [17].

También existen Métodos Heurísticos capaces de resolver problemas más complejos que los mencionados anteriormente. Estos métodos buscan buenas soluciones pero sin garantizar que estas sean óptimas o eficientes.

Se cuenta con una gran variedad de Software para resolver problemas de Optimización. En cada uno es posible representar los modelos de acuerdo a la sintaxis proporcionada, y estos devolverán los resultados en un formato preestablecido por el Software. Entre los más destacados se encuentran GAMS [18] y GLPK [19]. Ambos son capaces de resolver una gran variedad de problemas, además de poder utilizar varios métodos para ello, como por ejemplo el Método Simplex.

5.2 Investigación de los modelos

Uno de los objetivos principales del trabajo es poder generar una prescripción del uso de los insumos de acuerdo a la cantidad requerida de los nutrientes para las diferentes Zonas de Manejo teniendo en cuenta los costos y maximizando el beneficio económico.

Para esto es necesario definir modelos teóricos que describan el comportamiento de los cultivos en función de los insumos disponibles como son nutrientes, agua, etc. y otros factores como son el tipo de manejo y laboreo realizados.

Se estudió documentación de diversos autores tratando de establecer ecuaciones de referencia para los siguientes puntos:

- Cómo obtener las cantidades de nutrientes a fertilizar, teniendo en cuenta: al cultivo, la etapa vegetativa, las cantidades de nutrientes residuales en el suelo y/o planta.

- Cómo obtener el rendimiento potencial del cultivo, teniendo en cuenta la cantidad que se fertiliza de cada nutriente y los valores residuales de los mismos, el tipo de manejo (con o sin Agricultura de Precisión) y el tipo de laboreo (Siembra Directa o Laboreo Convencional) entre otros.

Se eligió resolver el problema planteado mediante Programación Lineal (Anexo 2), debido a que las restricciones de los modelos son en su mayoría lineales.

La única restricción no lineal de los modelos es la función que calcula el rendimiento potencial del cultivo. Se decidió linealizar esta restricción para ajustarla a un problema de Programación Lineal resultando así en una resolución más simple. Se estudiaron varios métodos y se resolvió aplicar una linealización a trozos. Esta linealización no quita información relevante para la solución, debido a que se respetan las pendientes de la función original a lo largo del dominio.

Ciclo de Vida de los Cultivos

El ciclo de vida de los cereales puede dividirse en dos etapas. En la primera, ocurre el crecimiento vegetativo y el desarrollo de las flores y es cuando se determina el rendimiento potencial del cultivo [20]. Esta fase es la más susceptible a la influencia de prácticas agrícolas. En cambio luego de la floración, cuando se desarrolla el grano, la interacción del medio ambiente con la cobertura vegetal ejerce mayor control sobre la concreción del rendimiento potencial que el manejo del cultivo, pero aún entonces, hay prácticas agrícolas que pueden afectarlo [20].

Por ejemplo para Trigo y Cebada la secuencia de etapas que definen el rendimiento del cultivo son [20]:

- **S:** Siembra.
- **Em:** Emergencia.
- **Z₂₂:** (Zadock22) Inicio del Macollaje.
- **Z₃₀:** (Zadock30) Fin de Macollaje.
- **Z₃₁:** inicio del encañado.
- **Es:** Espigazón.
- **An:** Antesis.
- **GA:** Grano Acuoso.
- **MF:** Madurez Fisiológica.
- **C:** Cosecha.

Fertilización

Toda la documentación consultada sobre fertilización de cultivos no aconseja la fertilización en todas las etapas sino que recomienda la fertilización en aquellas etapas en que el cultivo es más receptivo a los nutrientes. Por lo tanto, las etapas consideradas en los modelos en las que se fertiliza son:

- Trigo y Cebada: Siembra, Z₂₂ y Z₃₀ [9] [20] [23].
- Soja: Siembra [24].
- Maíz: Siembra y V5V6 [25].

Datos Considerados en los Modelos

En un comienzo se pensó en la posibilidad de crear un solo modelo genérico para todos los cultivos considerados y sus etapas. Se estudió la documentación de Trigo y Cebada y luego se estudió la documentación de Maíz y Soja. Luego de los primeros análisis de la documentación, se llegó a la conclusión que un único modelo sería más complejo de realizar debido a que cada etapa para cada cultivo presentaba particularidades difíciles de unificar, por lo tanto se estableció que para cada cultivo y para cada etapa de éste, se iba a representar con un modelo diferente. Se realizó un resumen de la documentación seleccionada de acuerdo a lo que resultara más relevante para el objetivo planteado en cada caso. Para esto también fue necesario consultar al cliente, debido a dudas que surgían y a decisiones que se debían tomar relacionadas con la realidad de las tareas realizadas en la práctica agrícola que se detallan más adelante.

En la investigación se establecieron los datos que se iban a necesitar para la resolución del problema, se definieron las etapas a considerar para los cultivos considerados, las fórmulas para la obtención de las cantidades de nutriente a aplicar, cómo obtener el rendimiento potencial del cultivo y cómo calcular los costos para el agricultor de acuerdo a las técnicas que utilice.

Se estableció un conjunto de datos de entrada necesarios para alimentar a todos los modelos. Si bien, no se utilizan todos los datos de entrada en todos los modelos, por claridad se trató como un conjunto de datos único. En resumen, los datos manejados son:

- El presupuesto disponible. Debido a que se definió un modelo independiente para cada etapa, el presupuesto ingresado debe corresponder al presupuesto disponible para la etapa. La práctica agrícola recomienda manejar el presupuesto de la siguiente forma: Los productores no deberían gastar más del equivalente a 2000 Kg. de grano de Cebada o Trigo por Ha., no más de 3000 Kg. de Maíz por Ha. y no más de 1500 Kg. de Soja por Ha. (en precio de granos). Esto es el presupuesto total por hectárea. Para determinar el presupuesto por etapa se realiza el supuesto que la fertilización representa un tercio del presupuesto total y a su vez cada etapa de fertilización es la tercera parte de ese tercio. De esta forma se puede establecer el presupuesto por etapa en función del presupuesto total disponible.
- El tipo de manejo deseado, es decir si se desea utilizar técnicas de Agricultura de Precisión o no. Por un lado se tiene el manejo considerando AP que consiste en tratar cada una de las zonas de manejo de forma independiente con una medición de nutrientes y una prescripción independiente para cada una. Por otro lado el manejo sin AP se modeló considerando una sola Zona de Manejo y utilizando como costo de producción el costo de manejo de una zona.
- El tipo de laboreo, Laboreo Convencional o Siembra Directa. Siembra Directa, es el sistema de preparación del suelo para la siembra en el que el disturbio realizado en el suelo para la colocación de las semillas es mínimo, ubicándolas en una muy angosta cama de siembra o surco. El suelo se deja intacto desde la cosecha hasta una nueva siembra, excepto para aplicar fertilizantes. Laboreo Convencional también es un sistema de preparación del suelo para la siembra en el que se realiza la preparación de la chacra removiendo el suelo con una aradora.
- Costos de muestreos del suelo y de la planta diferenciados según el manejo deseado.
- Información de los fertilizantes como ser los valores de los nutrientes que aportan, si son líquidos o no y su precio.
- Costos de fertilización diferenciados según se trate de fertilizantes líquidos o sólidos.
- El precio del cultivo.
- Los datos de las zonas, como son la cantidad de nutriente residual (en este caso Nitrógeno y Fósforo), su tamaño, el tipo de suelo y el rendimiento de la zona. Aquí existe una diferencia entre las primeras etapas (Siembra y Z_{22}) y la última etapa (Z_{30}) de Trigo y Cebada [20]. En Z_{30} en lugar de considerar el nutriente residual, se toma el valor de éste en planta [20].
- El rendimiento potencial del cultivo.

Con respecto a la aplicación los fertilizantes se modeló la posibilidad de aplicar al mismo tiempo tanto fertilizantes líquidos como sólidos pero posteriormente se decidió restringir a la aplicación de solamente fertilizantes líquidos o sólidos dado que es lo que se realiza tradicionalmente en la práctica agrícola.

Mientras se establecieron los datos necesarios, también se decidió con qué unidades serían representados en conjunto con la tutora del proyecto, M.Sc. Mercedes Berterretche. Las unidades elegidas fueron con el objetivo de uniformizar todos los modelos resultando en modelos más claros. Por ejemplo, los valores del suelo pueden ser medidos tanto en Kg./Ha. como Partes por Millón (PPM). En este caso se tomó la decisión de tratar todas las unidades de los modelos en Kg./Ha. En los casos en que la documentación indicaba alguna restricción en PPM se definió un factor de conversión en todos los modelos en función de la profundidad en la que se realizan las mediciones. Para convertir de PPM a Kg./Ha., el valor de conversión a 20 cm de profundidad es 2.66 y para convertir de P_2O_5 a P, el valor es 0.44 [9].

A pesar que estos valores varían de acuerdo a las características del suelo, dependiendo de su textura y densidad aparente, en el marco de este trabajo no se consideraron estas variaciones.

A continuación se muestra un ejemplo de los datos necesarios para la etapa de Siembra en el cultivo de Trigo.

Dato	Descripción	Observaciones
Manejo	Indicador de si se desea utilizar AP o no.	Variable entera: 0 (sin AP) o 1 (con AP).
Laboreo	Indicador de si se utiliza Laboreo Convencional (LC) o Siembra Directa (SD)	Variable entera 0 (SD) o 1 (LC).
<i>m</i>	Cantidad de insumos.	Los insumos son por ejemplo urea, etc., es decir son todos los fertilizantes que aplico, los cuales elige el usuario.
<i>l</i>	Cantidad de Zonas de Manejo.	
<i>L_j</i>	Determina si el insumo <i>j</i> es liquido o solido, <i>j=1..m</i> .	Liquido=1, Solido=0.
<i>aN_j</i>	Cantidad de N en una unidad de insumo <i>j</i> , <i>j=1..m</i> .	Kg. de N por Kg. de insumo <i>j</i>.
<i>aP_j</i>	Cantidad de P en una unidad de insumo <i>j</i> . <i>j=1..m</i>	Kg. de P por Kg. de insumo <i>j</i>.
<i>Precio_Insumo_j</i>	Precio de una unidad de insumo, <i>j=1..m</i> .	\$/Kg.
<i>RN_z</i>	Cantidad de N residual en el suelo por hectárea por zona de manejo <i>z</i> , <i>z=1..l</i> .	Kg./Ha.
<i>RP_z</i>	Cantidad de P residual en el suelo por hectárea por zona de manejo <i>z</i> , <i>z=1..l</i> .	Kg./Ha.
<i>G</i>	Presupuesto disponible.	\$. Es de esperar que el usuario ingrese el presupuesto disponible para la etapa solamente.
<i>Precio</i>	Precio del cultivo cosechado por unidad.	\$/Kg. Ejemplo para trigo sería el precio que cobro por kilo de trigo. El usuario puede ingresar tanto el internacional como el local y ese es el que se utilizará.
<i>H</i>	Cantidad total de hectáreas de la chacra.	Ha. Es la suma de todas las H_z cultivables.
<i>H_z</i>	Cantidad de hectáreas de cada zona de manejo <i>z</i> , <i>z=1..l</i> .	Ha cultivables.
<i>Costo_Muestra_AP</i>	Costo de tomar la muestra de suelo considerando AP.	\$/ha.
<i>Costo_Muestra_SAP</i>	Costo de tomar la muestra de suelo sin considerar AP.	\$/ha.
<i>Costo_Fert_Liq_AP</i>	Costo de fertilización con líquidos con AP.	\$/ha.
<i>Costo_Fert_Liq_SAP</i>	Costo de fertilización con líquidos sin AP.	\$/ha.
<i>Costo_Fert_Sol_AP</i>	Costo de fertilización con sólidos con AP.	\$/ha.
<i>Costo_Fert_Sol_SAP</i>	Costo de fertilización con sólidos sin AP.	\$/ha.

Cantidad de Nutrientes a Fertilizar

Las fórmulas para obtener de las cantidades de nutrientes que deben ser aplicados en función del nutriente residual en el suelo (en la planta en algunos casos) se establecieron de acuerdo con la documentación estudiada. En la mayoría de los casos, estas fórmulas no son explícitas sino que están

definidas de manera teórica. Nuestro trabajo fue definir a partir de éstos las formulas matemáticas para el cálculo. En algunos casos no se encuentra disponible información sobre determinado nutriente para alguna etapa o cultivo, en otros, no es conveniente la aplicación de algún nutriente en determinada etapa. Por ejemplo, no existe información de fertilización de Nitrógeno en Soja, y el Fósforo es recomendado siempre aplicarlo en Siembra (esta etapa está definida para todos los cultivos). En algunos modelos se definieron topes a las cantidades de nutriente a aplicar, debido a sugerencias de la documentación, basándose sobre todo en no causar daños ecológicos ya que no es conveniente aplicar todo el nutriente en una sola etapa.

Rendimiento Estimado

El rendimiento potencial del cultivo es estimado en base a la cantidad de nutriente aplicado. En un principio se modeló un rendimiento por cada nutriente, por lo que se decidió que se iba a tomar el máximo de estos valores como el rendimiento potencial de toda la etapa. En definitiva solo se pudo definir el cálculo de los rendimientos potenciales de los cultivos de acuerdo a lo aplicado de Nitrógeno. Esas funciones están definidas de manera explícita en la documentación, pero con el problema de ser funciones de segundo grado, hecho que va en contra con la hipótesis de resolución de un problema de Programación Lineal. Se decidió linealizar estas funciones para ajustar estas restricciones a las de un problema de Programación Lineal. Se estudiaron varios métodos, y se resolvió aplicar una linealización a trozos. Esa linealización consiste en dividir el dominio de la función en intervalos y para cada uno definir una función lineal que se aproxime a la función original en ese intervalo.

Con estas ecuaciones linealizadas se calcula el rendimiento potencial del cultivo en la etapa considerada. Para el caso de Maíz, no se tiene información alguna de cálculo del rendimiento, por lo que no es tenido en cuenta y se define un modelo que no maximice el beneficio económico sino que minimice el costo total.

Costos

Los costos que el agricultor deberá asumir son parte fundamental a la hora del cálculo del beneficio económico. En un principio se trató de considerar entre los costos tareas como la preparación de la tierra, el sembrado, el cultivo, el consumo de combustible, el uso de riego, pesticidas y otros factores. Estos fueron descartados y quitados de los modelos debido a que se pueden considerar como costos fijos, que no varían si se utiliza Agricultura de Precisión o no, por lo que al momento de la prescripción no es necesario tenerlos en cuenta. Estos costos pueden ser incluidos luego por la aplicación principal u otro módulo de ésta, para tener una mayor aproximación a las ganancias reales del agricultor. Los costos que se tomaron en cuenta son: la aplicación de fertilizantes, los cuales se decidió que son un valor fijo (que es indicado en los datos) el cual depende de si se realiza fertilización o no en la zona, y si el fertilizante es líquido o sólido. En este sentido tenemos otros costos, como son el costo de tomar muestras (en este caso es fijo para toda la chacra) para saber los valores residuales de nutrientes en el suelo o valores del nutriente en planta. Estos dos costos dependen de si se utiliza Agricultura de Precisión o no, debido a la forma en que son obtenidos los datos. Una de las partes que juega un papel fundamental en la solución es el cálculo del costo de los insumos a utilizar (en este caso, fertilizantes). Esto se debe a que al momento de calcular el beneficio económico, luego de obtener la ganancia (el precio del cultivo multiplicado por su rendimiento potencial y la cantidad de hectáreas de la chacra) a esta se le restan los costos. Este costo de los insumos contiene la parte variable de todos los costos y que la biblioteca de optimización deberá intentar minimizar. Luego que se tienen los valores a aplicar de nutrientes en cada zona, es necesario saber en qué forma distribuir los insumos para lograr el beneficio económico. Con estos valores es posible calcular el costo de los insumos.

La herramienta incorpora el concepto de moneda de forma genérica y no hace referencia a ninguna moneda en particular. Se debe tener en cuenta que los precios, costos y presupuesto estén en la misma moneda. Los resultados de la prescripción de fertilización estarán en la moneda de los valores ingresados al generar la prescripción.

A medida que se avanzaba en la investigación se fueron estableciendo las variables del modelo y se decidió que los cálculos mencionados anteriormente fueran definidos como restricciones.

A continuación, a modo de ejemplo, se muestran las variables, las restricciones y la función objetivo del modelo de Trigo en la etapa Siembra.

Variable	Descripción	Observaciones
X_z	Cantidad de N aplicado por zona de manejo $z, z=1..l$.	Kg.
Y_z	Cantidad de P aplicado por zona de manejo $z, z=1..l$.	Kg.
W_{zj}	Cantidad del insumo j aplicado para cada zona de manejo $z, z=1..l$.	Kg.
Rend	Rendimiento del cultivo.	Kg./Ha. Sumatoria de todos los rendimientos de las zonas.
Rend_z	Rendimiento del cultivo por zona de manejo $z, z=1..l$.	Kg./Ha.
RendN_z	Rendimiento del cultivo según N por zona de manejo $z, z=1..l$.	Kg./Ha.
CTotal	Costo total de producción.	\$.
C	Costo de producción.	\$/Ha. Se va a tomar un valor único de todo lo que es fijo. Por defecto se considera solo el costo de tomar la muestra.
Costos_Insumos_z	Costo total de los insumos que estoy aplicando en una zona de manejo $z, z=1..l$.	\$.
Ganancia	Ganancias totales obtenidas de la producción.	\$.

Restricciones

El costo total de producción es menor o igual al presupuesto disponible.

$$CTotal \leq G$$

El costo total de producción es igual a la suma de todos los costos.

$$Total_z = 0$$

if (Manejo)

$$if (X_z > 0 \parallel Y_z > 0)$$

if (Liquido)

$$Total_z = Total_z + Costo_Fert_Liq_AP$$

else

$$Total_z = Total_z + Costo_Fert_Sol_AP$$

else

$$if (X_z > 0 \parallel Y_z > 0)$$

if (Liquido)

$$Total_z = Total_z + Costo_Fert_Liq_SAP$$

else

$$Total_z = Total_z + Costo_Fert_Sol_SAP$$

$$Costos_Insumos_z = \sum_{j=1}^m (W_{zj} * Precio_Insumo_j)$$

$$C = (Manejo) * Costo_Muestra_AP + (1 - Manejo) * Costo_Muestra_SAP$$

$$CTotal = C * H + \sum_{z=1}^l ((Total_z * H_z) + Costos_Insumos_z) \quad z = 1..l$$

El N total aplicado para una zona es igual a la suma de lo aplicado por cada uno de los insumos para esa zona.

$$X_z = \left(\sum_{j=1}^m W_{zj} \cdot aN_j \right) \quad z = 1..l$$

El P total aplicado para una zona es igual a la suma de lo aplicado por cada uno de los insumos para esa zona.

$$Y_z = \left(\sum_{j=1}^m W_{zj} \cdot aP_j \right) \quad z = 1..l$$

Para cada zona, la cantidad de N aplicado debe ser menor a 60 Kg. N/Ha. en siembra, pero se deja variable para que el usuario ingrese el tope.

$$0 \leq \frac{X_z}{H_z} \leq 60 \quad z = 1..l$$

Se determinó que para asegurar una adecuada disponibilidad de N durante las primeras etapas de crecimiento de un cultivo se requiere agregar 10 Kg. de N/Ha. a la siembra por cada 2.5 ppm por debajo de 22.5 ppm de nitrato en el suelo (0-20 cm).

if ($RN_z > 22.5 * PpmToKgHa20$)

$$X_z = 0$$

else

$$X_z = 10 * \left(\frac{22.5 * PpmToKgHa20 - RN_z}{2.5 * PpmToKgHa20} \right) * H_z \quad z = 1..l$$

RN_z: es el Nitrógeno residual en el suelo para la zona z. Unidad: Kg. N /Ha.

X_z: es la cantidad de N aplicada para la zona z. Unidad: Kg. N.

El rendimiento total por hectárea de la chacra es igual a la suma de los rendimientos de todas las zonas dividido la cantidad de hectáreas de la chacra.

$$Rend = \left(\sum_{z=1}^I (Rend_z * H_z) \right) / H$$

El rendimiento de una zona es una función del rendimiento de las diferentes variables a optimizar.

$$Rend_z = RendN_z$$

Rendimiento del N a la siembra: $y = -0,4544x^2 + 38,3641x + 179,95$, donde x es el N (Kg./Ha.) aplicado e y el rendimiento (Kg./Ha.). Se transformo la función de rendimiento en 5 funciones lineales.

$$RendN_z = 29.2761 \frac{X_z}{H_z} + 179.95 \quad 0 \leq \frac{X_z}{H_z} \leq 20$$

$$RendN_z = 11.1001 \frac{X_z}{H_z} + 543.47 \quad 20 < \frac{X_z}{H_z} \leq 40$$

$$RendN_z = -7.0759 \frac{X_z}{H_z} + 1270.51 \quad 40 < \frac{X_z}{H_z} \leq 60$$

$$RendN_z = -25.252 \frac{X_z}{H_z} + 2361.07 \quad 60 < \frac{X_z}{H_z} \leq 80$$

$$RendN_z = -43.428 \frac{X_z}{H_z} + 3815.15 \quad 80 < \frac{X_z}{H_z} \leq 100$$

Fósforo a aplicar según nivel de P en el suelo.

$$Y_z = 80 \quad 0 \leq RP_z / PpmToKgHa20 < 3$$

$$Y_z = -10 \cdot RP_z / PpmToKgHa20 + 110 \cdot H_z \cdot P2O5toP \quad 3 \leq RP_z / PpmToKgHa20 \leq 7$$

$$Y_z = -7,5 \cdot RP_z / PpmToKgHa20 + 92,5 \cdot H_z \cdot P2O5toP \quad 7 < RP_z / PpmToKgHa20 < 11$$

if Laboreo

$$Y_z = -5 \cdot RP_z / PpmToKgHa20 + 65 \cdot H_z \cdot P2O5toP, 11 \leq RP_z / PpmtoKgHa20 \leq 13$$

$$Y_z = 0, RP_z / PpmToKgHa20 > 13$$

else

$$Y_z = -1,67 \cdot RP_z / PpmToKgHa20 + 28,4 \cdot H_z \cdot P2O5toP, 11 \leq RP_z / PpmToKgHa20 \leq 17$$

$$Y_z = 0, RP_z / PpmToKgHa20 > 17$$

La ganancia total es el total cosechado por el precio del grano por Kg.

$$Ganancia = Rend \cdot H \cdot Precio$$

Función Objetivo

$$\max \text{ Ganancia} - C_{Total}$$

En resumen, los nutrientes considerados en la optimización fueron Nitrógeno y Fósforo. En los casos de Trigo y Cebada se consideraron las etapas de Siembra, Z_{22} y Z_{30} . En el caso de Maíz, se consideraron las etapas de Siembra y V5V6. Finalmente en el caso de Soja se consideró solamente la etapa de Siembra y el nutriente Fósforo para la fertilización.

Consideramos que los resultados de la investigación fueron buenos ya que permitieron la creación de modelos abstractos que reflejan la realidad de los cultivos. En nuestra investigación de herramientas y modelos de fertilización en agricultura no encontramos otras herramientas disponibles en el mercado local hoy en día, que tengan este respaldo matemático.

Todo lo relacionado a la investigación de los modelos se encuentra en el Anexo 3 correspondiente a los modelos teóricos de los cultivos.

5.3 Implementación de los Modelos en GAMS

Luego de haber definido los modelos de forma teórica, se definieron con la sintaxis de la biblioteca elegida para la Optimización. Tomando en cuenta el estudio de herramientas de Optimización realizado en el Estado del Arte de Optimización, que el problema a resolver es de Programación Lineal y el requerimiento de utilizar una biblioteca de Software Libre, existen 2 posibles bibliotecas a utilizar, una versión libre de GAMS [18] y GLPK [19]. Se optó por GAMS, debido a que es una de las más utilizadas y por lo tanto, cuenta con una buena cantidad de ejemplos y soluciones disponibles de los problemas más comunes. La versión libre de GAMS limita la cantidad de variables, constantes, elementos distintos de cero y número de variables discretas del modelo y el número de constantes y variables del solver, pero igual se adecúa a nuestras necesidades. Por otro lado, GLPK, es una herramienta desarrollada más recientemente y cuenta con menos documentación y ejemplos.

Esta traducción significó tomar decisiones en varios aspectos. Con respecto a la forma en que estaban establecidas las funciones del cálculo de la aplicación de nutrientes, existían dos posibilidades; que estos datos sean entrada al modelo GAMS o que fueran calculadas dentro del modelo. Esto también pasó con los rendimientos potenciales. Se decidió que para ser fieles al modelo teórico, estos valores fueran calculados dentro del modelo de GAMS. Otro motivo para esto fue la mantenibilidad del sistema en su conjunto ya no se requiere modificar el código de la aplicación en caso de necesitar realizarse una modificación. Debido a un buen modelo teórico creado de antemano, la definición del modelo en GAMS fue bastante sencilla. Simplemente fue necesario estudiar la sintaxis de GAMS para definir las constantes, funciones, variables y ecuaciones que participan en el modelo.

Debido a requerimientos específicos del problema, fue necesario agregar y modificar restricciones de los modelos. Fundamentalmente, se agregaron como datos de entrada topes a la fertilización con N y P, y la positividad de todas las variables. Estos topes permiten flexibilidad de la cantidad a aplicar de cada nutriente en la etapa del cultivo, y fueron solicitados como requerimiento, permitiendo por ejemplo realizar simulaciones.

Después de definidos los modelos en GAMS, se realizaron pruebas de estos para verificar su correctitud como se detalla en los Capítulos 7 y 8.

5.4 Diseño de la Biblioteca y de la Interfaz Gráfica

Los usuarios no ejecutarán las prescripciones directamente sobre la biblioteca de optimización sino que utilizarán una interfaz gráfica de un sistema construido para tal propósito. Uno de los requerimientos es la implementación de una biblioteca para que las funcionalidades sean accedidas por aplicaciones externas. Como todavía no se cuenta con la aplicación final que utilizará el cliente, otro de los

requerimientos es la creación de una interfaz gráfica para que se puedan utilizar las funcionalidades de la biblioteca.

Lo primero que se realizó fue un bosquejo de los pasos que son necesarios para la creación de una prescripción y a partir de ellos se decidió cuales son los archivos que deben ser entrada y salida para cada uno de estos y su formato. Se definieron los siguientes pasos:

- Una etapa en que sea posible ingresar los datos necesarios para generar una prescripción. También para mayor facilidad, debe permitir cargar y guardar archivos de datos. El formato de estos archivos es definido teniendo en cuenta los datos que se consideraron necesarios en los modelos teóricos y está definido en el Anexo 4 correspondiente al Diseño y Arquitectura de la aplicación.
- Una etapa de generación de un modelo. Para facilitar esto se cuenta con archivos a los cuales les llamaremos esqueletos, que contienen una parte no variable de cada uno de los modelos en GAMS. Esta etapa se encargará de completar dichos esqueletos con los datos recibidos de la etapa anterior y crear un archivo de modelo de GAMS listo para ejecutarse.
- La última etapa considerada es la generación de la prescripción. Con el archivo armado en el paso anterior, se ejecuta GAMS para poder obtener los resultados que se están buscando. Para que otros componentes puedan obtener y procesar estos resultados, se decidió guardar la salida en un archivo con formato de reporte. El formato de un archivo de reporte está definido en el Anexo 4 correspondiente al Diseño y Arquitectura de la aplicación.

Con un bosquejo de cómo sería el funcionamiento de la biblioteca y la interfaz gráfica, fue más sencillo comenzar a escribir las funcionalidades de ambas. Al utilizar archivos en cada etapa, era necesario que hubiese operaciones de leer y escribir para esos archivos. A partir de ahí, se diseñaron las clases del prototipo y sus funcionalidades.

Se estableció un diseño en tres capas, una de acceso a los datos, otra de lógica que expone las funcionalidades principales de la biblioteca y por último la capa de presentación. La biblioteca expone una serie de interfaces públicas que permiten a otro sistema invocar sus funcionalidades. Con estas decisiones tomadas se realizó el diseño del prototipo, el cual se encuentra en el Anexo 4 correspondiente al Diseño y Arquitectura de la aplicación

5.5 Implementación de la Biblioteca e Interfaz Gráfica

Se utilizó Microsoft Visual Studio 2005 con lenguaje de programación C# [22] sobre .NET Framework 2.0 [21] y para los modelos como ya se ha mencionado se utilizó GAMS. La implementación se describe en detalle en el Capítulo 6.

5.6 Pruebas

Para generar un prototipo robusto, se realizó un conjunto de pruebas las cuales serán analizadas en profundidad en los Capítulos 7 y 8. Se estableció realizar pruebas a la biblioteca, a la interfaz gráfica de acceso a la biblioteca y a los modelos de GAMS.

Para probar los modelos, fue necesario contar con un conjunto de datos reales de fertilizantes, zonas y costos de técnicas. A medida que se realizaron las pruebas, se fueron corrigiendo errores en los modelos, y luego de determinadas las versiones finales de estos, se analizaron los resultados para los datos reales. Estos resultados son analizados por nosotros, y por un experto para que determinar si son coherentes con los valores que se manejan comúnmente en la práctica agrícola. Para estas pruebas de los modelos, se utilizó la biblioteca y la interfaz gráfica que se había implementado, con lo que ya se estaban probando a ambas y determinando errores y mejoras.

Se realizó un plan de pruebas para la biblioteca. Se desea que si se detectan errores que no son corregidos, éstos queden bien documentados.

6 Descripción de la Implementación

Este capítulo describe la implementación realizada durante el proyecto para resolver el problema planteado.

6.1 Detalles de Implementación

La implementación fue realizada en C# [22] sobre .NET Framework 2.0 [21] como lenguaje de programación debido a un requerimiento específico del cliente.

Con respecto a la biblioteca de Optimización utilizada para la resolución del problema, uno de los requerimientos es que sea libre. Tomando en cuenta la investigación de herramientas de Optimización realizada en el Estado del Arte de Optimización, considerando dicho requerimiento y que el problema a resolver es de Programación Lineal, se dispone de GAMS en una versión limitada y GLPK que cumplen las condiciones. Se optó por GAMS, debido a que es una de las más utilizadas y por lo tanto, con una buena cantidad de ejemplos y soluciones disponibles de los problemas más comunes. GAMS cuenta con una versión libre que limita la cantidad de variables, constantes, elementos distintos de cero y número de variables discretas del modelo y el número de constantes y variables del solver. Utilizamos esta versión porque se adecúa a nuestras necesidades.

Uno de los requerimientos del prototipo es construir una biblioteca que exporte sus funcionalidades de forma que sistemas externos tengan acceso a las funcionalidades. La idea es que la biblioteca sea utilizada por los otros módulos de una aplicación externa. La comunicación con la biblioteca se realiza mediante el intercambio de datatypes. A su vez se definieron archivos de entrada y salida que permiten importar y exportar datos a otras aplicaciones. En este caso, debido a que nuestro módulo recibe información de entrada que incluye la definición de las Zonas de Manejo y sus datos, se definió un archivo de datos con un formato para que éstos sean indicados. En este archivo se indica además otros datos necesarios para generar la prescripción, datos de los insumos, costos y otros. La salida de nuestro modulo se realiza con un archivo, el cual puede ser utilizado por la aplicación principal para ver los resultados. El formato de ambos archivos y los datatypes utilizados son descritos en el Anexo 4 correspondiente al Diseño y Arquitectura de la aplicación. La Figura 6.1.1 muestra la definición de los datatypes utilizados en la solución.

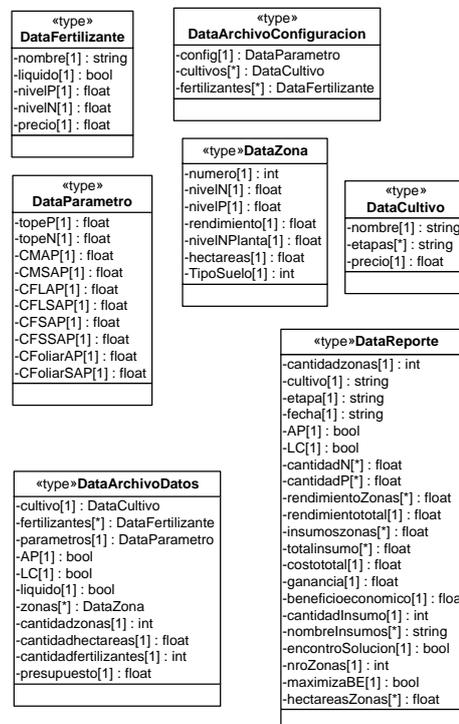


FIGURA 6.1.1: DATATYPES DEFINIDOS EN LA SOLUCIÓN.

Las funcionalidades que brinda la biblioteca son la posibilidad de leer y escribir un archivo de datos, crear un modelo de GAMS a partir de estos datos, ejecutar GAMS para el modelo creado, obtener los resultados de la ejecución y traducirlos en un reporte, almacenar el reporte en un archivo y leer un archivo para obtener un reporte. Se presentan ejemplos de uso de las funcionalidades de la biblioteca en el Anexo 7 correspondiente al Uso de la Biblioteca.

El flujo principal de la utilización de la biblioteca con el objetivo de generar una prescripción se explica a continuación:

1. **Crear una instancia de DataArchivoDatos.** Esto se puede lograr con utilizando la funcionalidad proporcionada por la biblioteca para leer un archivo de datos y crear el datatype. También se puede instanciar y cargar sus atributos sin abrir un archivo. Estos datos son el cultivo, la etapa, si se utiliza Agricultura de Precisión o no, si es Laboreo Convencional o Siembra Directa, si los fertilizantes son líquidos o sólidos, la información de las Zonas de Manejo, como ser, su tamaño, cantidad de nutrientes en ella, su tipo de suelo y el rendimiento potencial. También se encuentran los datos de los fertilizantes, como su precio y la cantidad de nutriente que aportan. Por último se brindan los valores de los costos de obtención de muestras con Agricultura de Precisión, de fertilización, el precio del cultivo luego de cosechado, la cantidad total de hectáreas de la chacra a considerar, los valores máximos permitido a aplicar de los nutrientes considerados en el trabajo y el presupuesto disponible.
2. **Crear un modelo de GAMS.** Para esto se utiliza la funcionalidad proporcionada por la biblioteca a tales efectos. La función recibe como parámetro la instancia de DataArchivoDatos previamente creada. Con estos parámetros la función será capaz de obtener el esqueleto adecuado y crear el modelo.

Los esqueletos son archivos GAMS de nombre <etapa><cultivo>.gms que se encuentran dentro del directorio Esqueletos en el directorio principal de la biblioteca, que cuentan con toda la información no variable de los modelos y con la estructura para que la biblioteca pueda insertar los datos en él para luego generar una prescripción. La Figura 6.1.2 muestra el formato del esqueleto para el cultivo de Trigo en la etapa de Siembra, a modo de ejemplo, debido a que el formato es igual para todos los esqueletos.

```
Sets
    j      insumos      //
    z      zonas        //

Parameters
    L(j)   es liquido j //
           //

    aN(j)  cantidad de N en unidad de insumo j //
           //

    aP(j)  cantidad de P en unidad de insumo j //
           //

    Pinsumo(j) precio del insumo j //
           //

    RN(z)  cantidad de N medida en el suelo //
           //

    RP(z)  cantidad de P medida en el suelo //
           //

    RPot(z) rendimiento potencial de cada zona //
           //

    H(z)   cantidad de hectáreas de z //
           //

    Suelo(z) tipo de suelo de z //
           //;

Scalar
    G      presupuesto disponible //
    HT     cantidad de hectareas //
```

```

CMSAP costo de muestra sin ap //
CMAP costo de muestra con ap //
CFLAP costo fert liquida con ap //
CFLSAP costo fert liquida sin ap //
CFSAP costo fert solida con ap //
CFSSAP costo fert solida sin ap //
CMFAP costo muestra foliar con ap //
CMFSAP costo muestra foliar sin ap //
TopeN tope de N //
TopeP tope de P //
PpmToKgHa20 //2.66/
P2O5toP //0.44/
Precio //
Manejo //
Laboreo //
Liquido //;

```

Parameter

```

x(z) cantidad de N a aplicar
y(z) cantidad de P a aplicar
R(z) rendimiento en zona z
Rend rendimiento total;

x(z) = 10 * ((22.5 * PpmToKgHa20 - RN(z)) / (2.5 * PpmToKgHa20)) * H(z)
      $(RN(z) <= (22.5 * PpmToKgHa20));
y(z) = 80
      $(RP(z) >= 0 and RP(z) < 3) +
      ((-10 * (RP(z) / PpmToKgHa20) + 110) * H(z) * P2O5toP)
      $((RP(z) / PpmToKgHa20) >= 3 and (RP(z) / PpmToKgHa20) <= 7) +
      ((-7.5 * (RP(z) / PpmToKgHa20) + 92.5) * H(z) * P2O5toP)
      $((RP(z) / PpmToKgHa20) > 7 and (RP(z) / PpmToKgHa20) < 11) +
      ((-5 * (RP(z) / PpmToKgHa20) + 65) * H(z) * P2O5toP)
      $((RP(z) / PpmToKgHa20) >= 11 and (RP(z) / PpmToKgHa20) <= 13 and Laboreo = 1) +
      ((-1.67 * (RP(z) / PpmToKgHa20) + 28.4) * H(z) * P2O5toP)
      $((RP(z) / PpmToKgHa20) >= 11 and (RP(z) / PpmToKgHa20) <= 17 and Laboreo = 0);
R(z) = Rpot(z) + ((29.2761 * (x(z) / H(z))) + 179.95) $((x(z) / H(z)) >= 0 and (x(z) / H(z)) <= 20) +
      ((11.1001 * (x(z) / H(z))) + 543.47) $((x(z) / H(z)) > 20 and (x(z) / H(z)) <= 40) +
      ((-7.0759 * (x(z) / H(z))) + 1270.51) $((x(z) / H(z)) > 40 and (x(z) / H(z)) <= 60) +
      ((-25.252 * (x(z) / H(z))) + 2361.07) $((x(z) / H(z)) > 60 and (x(z) / H(z)) <= 80) +
      ((-43.428 * (x(z) / H(z))) + 3815.15) $((x(z) / H(z)) > 80 and (x(z) / H(z)) <= 100);
Rend = sum(z, R(z) * H(z)) / HT;

```

Variables

```

w(z,j) cantidad de insumo j en z
Ganancia ganancia de la produccion
CTotal costo total de produccion
C costo fijo de produccion
Cinsumos(z) costo de los insumos en z
CFert(z) costo de fertilizacion en z

```

Equations

```

EqWPositivo(z,j) restriccion mayor que cero
EqRPositivo(z) restriccion mayor que cero
EqXPositivo(z) restriccion mayor que cero
EqYPositivo(z) restriccion mayor que cero
EqTopeN(z) restriccion tope de N a aplicar
EqTopeP(z) restriccion tope de P a aplicar
EqInsumosN(z) restriccion uso de insumos
EqInsumosP(z) restriccion uso de insumos
EqCFert(z) restriccion costo de fertilizacion en z
EqCInsumos(z) restriccion costo de insumos
EqC restriccion costo fijo de produccion
EqCTotal restriccion costo total de produccion
EqCMenorG restriccion costo total menor que presupuesto
EqGanancia restriccion ganancia de produccion;

EqWPositivo(z,j) .. w(z,j) =g= 0;
EqRPositivo(z) .. R(z) =g= 0;
EqXPositivo(z) .. x(z) =g= 0;
EqYPositivo(z) .. y(z) =g= 0;
EqTopeN(z) .. x(z) =l= TopeN * H(z);
EqTopeP(z) .. y(z) =l= TopeP * H(z);
EqInsumosN(z) .. x(z) =e= sum(j, w(z,j) * aN(j));
EqInsumosP(z) .. y(z) =e= sum(j, w(z,j) * aP(j));

```

```

EqCFert(z) .. CFert(z) =e= CFLAP $((Manejo=1)and(X(z)>0 or Y(z)>0) and Liquido=1)+
      CFLSAP $((Manejo=0) and (X(z)>0 or Y(z)>0) and Liquido=1)+
      CFSAP $((Manejo=1) and (X(z)>0 or Y(z)>0) and Liquido=0)+
      CFSSAP $((Manejo=0) and (X(z)>0 or Y(z)>0) and Liquido=0);
EqCInsumos(z) .. Cinsumos(z) =e= sum(j,w(z,j)*Pinsumo(j));
EqC .. C =e= CMAP$(Manejo=1) + CMSAP$(Manejo=0);
EqCTotal .. CTtotal =e= C*HT + sum(z,((Cfert(z)*H(z))+Cinsumos(z)));
EqCMenorG .. CTtotal =l= G;
EqGanancia .. Ganancia =e= (Rend*HT*Precio)- CTtotal;

Model SiembraTrigo /all/;

Solve SiembraTrigo using lp maximizing Ganancia;

file results /SiembraTrigo.txt/;
put results;
put "VAR_ModelStatus", SiembraTrigo.modelstat/;
put "VAR_SolverStatus", SiembraTrigo.solvestat/;
put "VAR_Beneficio", Ganancia.l /;
put "VAR_CTtotal", CTtotal.l/;
put "VAR_Rend",Rend/;
put "VAR_X"/;
loop ((z), put z.tl, X(z)/);
put "VAR_Y"/;
loop ((z), put z.tl, Y(z)/);
put "VAR_R"/;
loop ((z), put z.tl, R(z)/);
put "VAR_W"/;
loop((z,j), put z.tl, j.tl, W.l(z,j)/);
putclose;

```

FIGURA 6.1.2: ESQUELETO DE GAMS PARA TRIGO EN SIEMBRA.

En este esqueleto diferenciamos dos partes. La que se encuentra por encima de la línea punteada es donde serán introducidos los datos por parte de la biblioteca. Primero se definen los índices. Estos permiten indicar cuáles serán los conjuntos con los que se trabaja. En nuestro caso se tienen los insumos y las zonas. Luego se define los valores que van a tomar los atributos considerados de estos conjuntos.

Para cada insumo se debe definir los siguientes atributos:

- Su precio (Pinsumo)
- Si es líquido o sólido (L)
- La cantidad de Nitrógeno que aporta por unidad de insumo (aN)
- La cantidad de Fósforo que aporta por unidad de insumo (aP)

Para cada zona se debe definir los siguientes atributos:

- La cantidad de Nitrógeno en el suelo (RN)
- La cantidad de Fósforo en el suelo (RP)
- La cantidad de hectáreas (H)
- El tipo del suelo (Suelo)

Por último en esta parte variable del esqueleto se definen los valores escalares. Estos valores no dependen de los conjuntos como indica su nombre, si no que hay un valor único de cada atributo.

Los atributos escalares considerados son:

- El presupuesto disponible (G)
- La cantidad total de hectáreas de la chacra o potrero (HT)
- El costo de tomar una muestra del suelo para obtener la cantidad de nutriente que se encuentra disponible en el si no se utiliza AP (CMSAP)
- El costo de tomar una muestra del suelo para obtener la cantidad de nutriente que se encuentra disponible en el si se utiliza AP (CMAP)
- El costo de tomar una muestra de la planta para obtener la cantidad de nutriente que se encuentra disponible en ella si se utiliza AP (CMFAP)
- El costo de tomar una muestra de la planta para obtener la cantidad de nutriente que se encuentra disponible en ella si no se utiliza AP (CMFSAP)

- El costo de realizar la fertilización con un insumo líquido si no se utiliza AP (CFLSAP)
- El costo de realizar la fertilización con un insumo líquido si se utiliza AP (CFLAP)
- El costo de realizar la fertilización con un insumo sólido si no se utiliza AP (CFSSAP)
- El costo de realizar la fertilización con un insumo sólido si se utiliza AP (CFSAP)
- La cantidad máxima de Nitrógeno que se puede aplicar por hectárea (TopeN)
- La cantidad máxima de Fósforo que se puede aplicar por hectárea (TopeP)
- La constante para transformar valores con unidad PPM a unidad Kg./Ha. (PpmToKgHa20)
- La constante para transformar valores con unidad P_2O_5 a P (P2O5toP)
- El precio por Kg. del cultivo considerado (Precio)
- Si se utiliza AP o no (Manejo)
- Si se utiliza Laboreo Convencional o Siembra Directa (Laboreo)
- Si se utilizan insumos líquidos o insumos sólidos (Líquido)

La modificación de esta sección que se encuentra por encima de la línea punteada ocasiona que la implementación de la biblioteca deba ser revisada, ya que un cambio en los esqueletos puede provocar que la generación del modelo GAMS sea incorrecta y por lo tanto no se logre generar una prescripción.

La parte por debajo de la línea punteada es donde se definen:

- Las ecuaciones
- Las restricciones
- Lo que se desea optimizar
- La salida de la ejecución de este modelo

Estas definiciones varían entre cultivos y etapas. Las ecuaciones, restricciones y lo que se desea optimizar se pueden modificar sin que afecte el comportamiento de la biblioteca, aunque estos cambios deben ser probados para verificar que el modelo generado no contenga errores y realice lo deseado. La salida está definida para que la ejecución de GAMS sobre un archivo generado sea introducida en un archivo de nombre <etapa><cultivo>.txt, el cual la biblioteca utiliza para procesar la información. Cualquier modificación introducida sobre lo que se escribe en este archivo puede provocar que la biblioteca no pueda procesar el resultado de la ejecución del archivo en GAMS, por lo que deberá ser tenido en cuenta.

Estos esqueletos son completados con los datos para crear el modelo solicitado y son guardados en un archivo temporal de nombre modelo.gms dentro del directorio tmp que se encuentra en el directorio principal de la biblioteca.

3. **Generar la Prescripción.** Luego que es generado el modelo de GAMS y almacenado en un archivo temporal, es llamada la función que ejecuta GAMS con este archivo como parámetro, generando la salida de acuerdo a si fue posible o no encontrar una solución al problema planteado. Esta función crea una nueva instancia de un proceso, con la biblioteca GAMS (gams.exe) y este proceso recibe como parámetro la ruta al archivo con el modelo GAMS previamente creado. La biblioteca queda bloqueada hasta que el proceso finalice. Al finalizar la ejecución, el resultado se encuentra en un archivo temporal. A partir de este archivo se instancia un datatype DataReporte el cual contiene la información relevante de los resultados obtenidos, como son la cantidad a aplicar de cada nutriente en cada zona, la forma óptima de utilizar los insumos para cumplir con esas cantidades, los costos que esto implica, el rendimiento potencial del cultivo, con el cual se calcula las ganancias, a las cuales se le restan los costos para obtener el beneficio económico, que es lo que el GAMS intento optimizar de acuerdo a los datos de entrada. Dado que existe la posibilidad que GAMS no pueda obtener una solución con los datos de entrada, el reporte instanciado contiene un campo que indica si existe solución, que es cargado luego de examinar el status de salida de GAMS.

La implementación de la interfaz gráfica facilitó el testeó de las funcionalidades de la biblioteca ya que es posible crear un archivo de datos a través de un editor donde se presentan los campos necesarios, cargar un archivos de datos, los cuales sus datos también pueden ser modificados en el editor, generar una prescripción con los datos mostrados en pantalla, visualizar el reporte generado por la prescripción y guardar estos reportes.

Para este componente gráfico también se utilizó el lenguaje C# sobre .NET Framework 2.0.

Esta interfaz gráfica permite seleccionar si se desea abrir el Editor de Datos o el visor de Reportes. Este último permite seleccionar un archivo con formato de reporte, para desplegarlo en pantalla de forma amigable para el usuario. Si se selecciona el Editor de Datos, se mostrará un formulario para ser completado con los datos utilizados en la generación de la prescripción. Es posible almacenar estos datos en el formato del Archivo de Datos, así como también cargar el formulario con un archivo, seleccionando la ruta en donde se encuentra, al igual de donde se desea guardar. Por defecto se optó que los Archivos de Datos tuvieran extensión data y los archivos de reporte tuvieran extensión rep. Estas extensiones no son obligatorias, ya que es posible cargar y guardar archivos con cualquier extensión, siempre y cuando se respete el formato de estos descriptos en el Anexo 4 donde se detalla el Diseño del Sistema. En la Figura 6.1.3 se muestra el Editor de Datos y en la Figura 6.1.4 el formato de un Reporte.

EditorDatos

Cultivo: Trigo | Etapa: Siembra | Precio: 0 \$/Kg | Agricultura de Precisión
 Laboreo Convencional

Parámetros

Topo P	0	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida con AP	5,88	\$/Ha
Topo N	0	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestreo con AP	7,32	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida con AP	5,78	\$/Ha
Costo de Muestreo sin AP	0,25	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestra Foliar con AP	11,58	\$/Ha	Presupuesto		\$
Costo de Muestra Foliar sin AP	0,36	\$/Ha			

Fertilizantes

Utilizar Fertilizantes Líquidos

Nombre	Nivel N (Kg N/Kg)	Nivel P (Kg P/Kg)	Precio (\$/Kg)
Binario	0,18	0,46	0,65
P-simple	0	0,23	0,29
UREA	0,46	0	0,505

Zonas de Manejo

Nro	Nivel N (Kg/Ha)	Nivel P (Kg/Ha)	Nivel N Planta (g N/Kg MS)	Rendimiento (Kg/Ha)	Hectareas	Tipo de
*						

Cargar Datos | Guardar Datos | Generar Prescripción

FIGURA 6.1.3: EDITOR DE DATOS

Reporte

General

Cultivo: Soja | Manejo: Agricultura de Precisión | Fecha: 10/02/2008
 Etapa: Siembra | Laboreo: Siembra Directa

Zonas

Zona	Nivel N (Kg)	Nivel P (Kg)	Hectareas	Rendimiento (Kg/Ha)
1	0	81,97	14,24	2676,68
2	0	99,99	17,37	2676,68
3	0	51,42	3,92	2806,06

Fertilizantes

Insumo	Zona 1 (Kg)	Zona 2 (Kg)	Zona 3 (Kg)	Total (Kg)
UREA	0	0	0	0
P-simple	356,4	434,73	223,56	1014,69
Binario	0	0	0	0

Económicos

Rendimiento: 2690,95 Kg/Ha | Ganancia: 26675,05 \$
 Total Hectáreas: 35,53 | Costo: 759,7 \$
 Beneficio Económico: 25915,35 \$

Guardar

FIGURA 6.1.4: REPORTE

La arquitectura de la implementación de nuestro trabajo fue decidida de acuerdo a las metas planteadas. Es posible ver el diseño de la arquitectura en el Anexo 4 correspondiente al Diseño y Arquitectura de la aplicación. Se tuvo en cuenta que se iba a crear una biblioteca con las funcionalidades y una interfaz gráfica para acceder a ellas. Por lo tanto se creó un proyecto independiente para cada una.

Dentro del proyecto de la biblioteca se crearon diferentes paquetes como repositorio de diferentes clases, de acuerdo a sus funcionalidades y la relación entre ellas. Cada clase se implementó en un archivo con el mismo nombre de la clase y cada paquete está implementado dentro de una carpeta con el mismo nombre que el paquete.

Los paquetes definidos y su contenido fueron los siguientes:

- **DataAccess:** contiene las clases de la capa de acceso a datos de nuestra solución. En este paquete se encuentran las clases ConfigDataAccess, que tiene la funcionalidad de leer el archivo de configuración, DatosDataAccess, que tiene las funcionalidades de leer y escribir un archivo de datos, ModeloDataAccess, con la funcionalidad describir un archivo de modelo GAMS, y ReporteDataAccess, con las funcionalidades de leer y escribir los archivos de los reportes. Cuenta también con una clase llamada DataAccess, que implementa el patrón Factory, para acceder a la implementación de las interfaces, que se mencionan más adelante, de forma de desacoplar la implementación de la interfaz de la clase que la invoca.
- **Datatypes:** contiene una clase por cada datatype definido. Los datatypes son: DataFertilizante, DataCultivo, DataParametro, DataZona, DataArchivoConfiguracion, DataArchivoDatos y DataReporte descritos en el Anexo 4 correspondiente al Diseño y Arquitectura de la aplicación.
- **Excepciones:** se decidió agrupar todas las excepciones del sistema en este paquete. Definimos una clase por cada excepción.
- **Interfaces:** contiene dos paquetes, uno para las interfaces públicas (accesibles desde fuera de la biblioteca) y otro para las interfaces privadas (no accesibles). En el paquete llamado privado se encuentran las interfaces con la capa de acceso de datos, IDatosDataAccess, IConfigDataAccess, IModeloDataAccess e IReporteDataAccess. En el paquete llamado public se encuentran las interfaces IConfigController, IDatosController, IModeloController e IReporteController. Estas interfaces son de vital importancia, ya que son los puntos de acceso a las funcionalidades de la biblioteca.
- **Lógica:** este paquete contiene las clases donde se implementan las interfaces públicas mencionadas en el punto anterior. ConfigController, en donde se implementa todo lo relacionado con la lectura del archivo de configuración. Utiliza la interfaz IConfigDataAccess para comunicarse con la capa inferior. DatosController se encarga de la lectura y escritura de un archivo de datos. Utiliza la interfaz IDatosDataAccess para comunicarse con la capa de acceso a datos. ModeloController contiene la implementación de la ejecución de un archivo de modelo GAMS. Además, es quien traduce la información de la salida de la ejecución de GAMS en un reporte. Como necesita leer un archivo de modelo GAMS, utiliza la interfaz IModeloDataAccess para esto. Finalmente, ReporteController es la clase encargada de implementar la lectura y escritura de los reportes. Utiliza la interfaz IReporteDataAccess para esto. Además se encuentra la clase Prescripciones la cual es utilizada como punto de acceso por las interfaces de la capa lógica.

Dentro del proyecto de la interfaz gráfica (capa de presentación), encontramos varias clases que implementan el menú principal de esta, el Editor de Datos y el visor de Reportes. La clase ProgramaPrincipal es la que contiene el Form del menú principal además de las llamadas correspondientes para acceder al Editor de Datos y al visor de Reportes. La clase EditorDatos implementa el Form que permite al usuario modificar los datos. Además contiene el código para comunicarse con la capa lógica para poder abrir y guardar un archivo de datos y generar una prescripción. También se comunica con el visor de Reportes para poder desplegar en pantalla la información de salida. Este visor es implementado en la clase ReporteViewer, el cual contiene un Form en forma de reporte para la visualización de los resultados obtenidos.

Finalmente, uno de los problemas que surgió cuando se comenzó a utilizar la aplicación en diferentes computadores, fue la forma en que los diferentes idiomas en los equipos representan el punto decimal.

Por ejemplo para español-Uruguay el punto decimal es la coma, mientras que para Inglés-EEUU es el punto. En consecuencia de esto, en algunos computadores funcionaba la aplicación y en otros no. La solución que se decidió fue configurar la interfaz gráfica para que utilice siempre la internacionalización de Uruguay, es-UY.

6.2 Extensibilidad de la Implementación

Esta sección describe algunos aspectos importantes con respecto a posibles extensiones de la implementación.

6.2.1 Agregar un Cultivo

En el caso que se desee extender la aplicación para incorporar nuevos cultivos que utilicen los mismos datos de entrada que los cultivos ya manejados, bastaría con realizar 2 modificaciones.

- Definir un esqueleto para cada una de las etapas que se desean implementar del nuevo cultivo siguiendo el formato de nombre preestablecido para el modelo y para el nombre (<Etapa><Cultivo>.gms). El modelo deberá generar su salida en un archivo temporal a ser leído por la biblioteca.
- Implementar las funcionalidades de lectura del archivo de salida de GAMS del cultivo mencionado en el punto anterior en la función *EjecutarGAMS (...)*.

En el caso que el cultivo a agregar considere otras variables de entrada y/o salida diferentes a las consideradas en los modelos existentes se deberá modificar la implementación de la biblioteca.

6.2.2 Modificaciones a los Modelos

Debido al continuo aporte de la investigación en el área, es posible realizar modificaciones a las funciones, variables, restricciones y función objetivo para adecuar los modelos realizados a estos cambios.

6.2.2.1 Actualizaciones en los Modelos

En el caso que se desee realizar modificaciones en los modelos es necesario modificar el archivo esqueleto correspondiente. Como se explicó anteriormente, el esqueleto cuenta con dos secciones (divididas por una línea punteada). La sección por encima de esta línea, contiene los datos utilizados para generar una prescripción, y en caso de ser modificada, será necesario también modificar la biblioteca para que tenga en cuenta estos cambios.

La modificación por debajo de la línea punteada no tiene impacto sobre la biblioteca, salvo en la definición de la salida de la ejecución del modelo.

La salida de la ejecución del modelo es ingresada en un archivo que luego la biblioteca parsea para obtener los resultados de la prescripción. En caso de realizar modificaciones al formato de este archivo, por ejemplo para agregar un nuevo dato de salida, se deberá modificar la biblioteca para considerar este cambio.

6.2.2.2 Agregar Nuevos Nutrientes

En el caso que se desee agregar nuevos nutrientes es necesario realizar modificaciones en diversas partes de la solución. Estas son:

- Modificar los modelos para considerar los nuevos nutrientes.
- Actualizar los datatypes definidos en la solución para incluir estos nutrientes (DataZona y DataFertilizante).
- Implementar los cambios tanto en la comunicación con GAMS como en el acceso a datos.

6.2.2.3 Considerar Nuevos Costos

En el caso que se requiera considerar nuevos costos en el manejo del suelo se deberá realizar un análisis del caso para determinar si es necesario realizar modificaciones al prototipo o considerar los nuevos costos dentro de los costos de muestreo o fertilización ya considerados. Los costos ya incluidos están expresados en \$/Ha. y son lo suficientemente genéricos para poder sumarle otros costos de manejo. En el caso de no serlo será necesario modificar los modelos tal como se detalla en la Sección 6.2.2.1.

También es importante destacar que todos los costos fijos de la práctica agrícola no fueron

considerados debido a que son independientes del manejo o laboreo elegidos y se dejan para ser incluidos en la aplicación de gestión que utilice la biblioteca. Algunos ejemplos de estos costos son: costos de arrendamiento de la tierra, costos de adquisición de la tecnología o salarios.

7 Verificación

Esta sección describe todo lo relevante al testing de la aplicación y sus componentes. Primero se presenta el Plan de Verificación elaborado y posteriormente se presentan los resultados y conclusiones de la verificación.

7.1 Plan de Verificación

Como ya se mencionó, la solución completa consta de 2 grandes componentes. Uno de ellos es la biblioteca (DLL) que expone funcionalidades que permiten realizar una prescripción de fertilización. El otro componente implementado es una interfaz gráfica que permite ingresar datos, comunicarse con la biblioteca y presentar los resultados.

Para realizar las prescripciones de fertilización para los cultivos, se desarrollaron modelos abstractos de los mismos que permitan determinar los valores óptimos de fertilización de forma de maximizar el beneficio económico. Debido a esto, es necesario realizar una validación y verificación de los modelos.

Por estos motivos, se definió un plan de verificación con 2 ejes centrales. Primeramente se desea validar y verificar la validez de los modelos abstractos de los cultivos de forma independiente de la aplicación. Para estos se desea comprobar que los datos que consideran son correctos y se desea verificar que los resultados obtenidos son consistentes con los números manejados en la práctica agrícola.

El otro eje de la verificación es la verificación funcional de la biblioteca y de la aplicación. Para éstos se definieron casos de prueba en función de los requerimientos y diseño realizados.

A continuación presentamos los objetivos para ambas partes de la verificación.

7.1.1 Validación y Verificación de los Modelos

- Realizar una recorrida de los modelos (similar a una recorrida de código) revisando las restricciones, constantes, variables, coeficientes y funciones del modelo tratando de detectar errores. Para las restricciones que fueron obtenidas de documentación técnica de agricultura se revisará la documentación con la original para verificar que es correcta.
- Evaluar los diferentes resultados comparando diferentes opciones de manejo y laboreo para verificar si se corresponden a las tendencias esperadas. Para poder realizar esta verificación se requiere contar con datos reales manejados en el mercado.
- Verificar los modelos y los resultados con un técnico experto en la materia.

7.1.2 Verificación Funcional de la Aplicación

- Realizar testing funcional de la biblioteca teniendo en cuenta los contratos especificados para la misma. El objetivo es utilizar un enfoque de caja negra con la biblioteca y testear sus funcionalidades sin utilizar la interfaz gráfica y creando una aplicación de prueba para tal propósito. Esta aplicación utilizará las funcionalidades de la biblioteca de la misma forma que lo haría un sistema externo y por lo tanto se desea testear todas las diferentes combinaciones de datos de entrada.
- Verificar la funcionalidad de la interfaz gráfica para diferentes alternativas de cultivos, etapas y valores de forma de verificar que se comporta correctamente. Se desea verificar que los resultados que son presentados son los correctos.

Se elaboró un plan de pruebas para realizar la verificación de las funcionalidades de la biblioteca. Se realizaron casos de prueba para las funcionalidades principales de la biblioteca, a saber, Escribir Archivo de Datos, Cargar Archivo de Datos, Crear GAMS, Ejecutar GAMS, Leer Reporte y Escribir Reporte, con sus resultados esperados.

7.1.3 Escribir Archivo de Datos

Contrato

Operación	<code>void EscribirArchivoDatos (String, DataArchivoDatos)</code>
Entrada	Un String con la ruta donde se va a escribir el archivo de datos y el datatype con la información del archivo de datos.
Salida	No tiene.
Descripción	Se escribe en un archivo a partir de la información ingresada en el datatype DataArchivoDatos.
Excepciones	NoDataFile: Cualquier error al crear el archivo. IncorrectData: Cualquier error en los datos.

Precondiciones y Postcondiciones

Pre:

Los datos ingresados son correctos. La ruta es válida en el sistema.

Post:

Se obtiene la información del datatype pasado como parámetro y se guarda en el archivo indicado.

Casos de Prueba

Nro.	Caso de Prueba	Resultado Esperado
EAD1	Ruta vacía. Datos válidos	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "NoDataFile".
EAD2	Ruta null Datos válidos	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "NoDataFile".
EAD3	Ruta incorrecta Datos válidos	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "NoDataFile".
EAD4	Ruta válida. Datos null.	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
EAD5	Ruta válida. Datos no es null pero algún campo null	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
EAD6	Ruta válida Datos con: - Cantidad de zonas <> tamaño del array zonas	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
EAD7	Ruta válida Datos con: - Cantidad de fertilizantes <> tamaño del array fertilizantes	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
EAD8	Ruta válida Datos con: - Cantidad de hectáreas <> la suma de las hectáreas en el array zonas	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
EAD9	Ruta válida Datos con: - TopeN o TopeP negativo	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
EAD10	Ruta válida Datos con: - AP=False y cantidadzonas >1	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
EAD11	Ruta válida Datos con: - Presupuesto < 0	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
EAD12	Ruta válida Datos con: - Liquidado diferente al parámetro liquidado de alguno de los fertilizantes	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
EAD13	Ruta válida Datos con: - Array DataCultivo.etapas <> 1	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
EAD14	Ruta válida Datos con: - DataCultivo.precio <0	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
EAD15	Ruta válida Datos con: - DataCultivo.etapa no es una etapa válida del DataCultivo.Nombre (Trigo, Cebada: "Siembra", "Z ₂₂ ", "Z ₃₀ " – Maiz: "Siembra", "V5V6" – Soja: "Siembra")	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
EAD16	Ruta válida Datos con:	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".

	- DataCultivo.Nombre no valido (Trigo, Cebada, Maiz, Soja)	
EAD17	Ruta válida Datos con: - DataFertilizante con (TopeN o TopeP o Precio)<0	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
EAD18	Ruta válida Datos con: - Alguno de los valores con DataParametro <0	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
EAD19	Ruta válida Datos con: - Alguno de los valores con DataZona <0	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
EAD20	Ruta válida Datos con: - DataZona.TipoSuelo <> 0,1,2	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
EAD21	Ruta Valida Datos Validos	Se crea el archivo con los datos en la ruta especificada.
EAD22	Ruta válida Datos con: - Cantidad de zonas <= 0	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
EAD23	Ruta válida Datos con: - Cantidad de fertilizantes <= 0	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".

7.1.4 Cargar Archivo de Datos

Contrato

Operación	DataArchivoDatos CargarArchivoDatos (String)
Entrada	La ruta del archivo de datos.
Salida	Un datatype con la información del archivo de datos.
Descripción	Se lee de un archivo la información para crear el datatype DataArchivoDatos.
Excepciones	NoDataFile: No existe el archivo de datos. IncorrectData: El archivo es corrupto.

Precondiciones y Postcondiciones

Pre:
Existe el archivo. Los datos del archivo son correctos.
Post:
Se crea un datatype con la información del archivo.

Casos de Prueba

Nro.	Caso de Prueba	Resultado Esperado
CAD1	Ruta vacía	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "NoDataFile".
CAD2	Ruta null	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "NoDataFile".
CAD3	Ruta incorrecta	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "NoDataFile".
CAD4	El archivo es corrupto (no tiene el formato correcto).	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
CAD5	Ruta válida Datos con: - TopeN o TopeP negativo	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
CAD6	Ruta válida Datos con: - Presupuesto < 0	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
CAD7	Ruta válida Datos con: - Liquido diferente al parámetro liquido de alguno de los fertilizantes	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
CAD8	Ruta válida Datos con: - Precio Cultivo <0	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
CAD9	Ruta válida Datos con: - La etapa no es una etapa válida del Cultivo (Trigo, Cebada:	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".

	"Siembra", "Z22", "Z30" – Maiz: "Siembra", "V5V6" – Soja: "Siembra")	
CAD10	Ruta válida Datos con: - Cultivo no valido (Trigo, Cebada, Maiz, Soja)	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
CAD11	Ruta válida Datos con: - Algún Fertilizante con (TopeN o TopeP o Precio)<0	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
CAD12	Ruta válida Datos con: - Algún valor de los Parámetros <0	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
CAD13	Ruta válida Datos con: - Alguno de los valores de alguna Zona <0	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
CAD14	Ruta válida Datos con: - DataZona.TipoSuelo <> 0,1,2	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
CAD15	Ruta Valida Datos Validos	Se crea el datatype con los datos en el archivo.

7.1.5 Crear GAMS

Contrato

Operación	String CrearGAMS (DataArchivoDatos)
Entrada	Un datatype con la información del archivo de datos.
Salida	La ruta de donde se encuentra el archivo de GAMS.
Descripción	Se crea un archivo de modelo de GAMS a partir del datatype DataArchivoDatos pasado como parámetro.
Excepciones	NoDataFile: Error al crear el archivo. IncorrectData: Los datos ingresados son incorrectos.

Precondiciones y Postcondiciones
Pre: Los datos ingresados son correctos. Post: Se crea un archivo de modelo de GAMS con la información del datatype ingresado y se devuelve la ruta donde se creó.

Casos de Prueba

Nro.	Caso de Prueba	Resultado Esperado
CG1	Datos null	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
CG2	Datos no es null pero algún campo null	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
CG3	Datos con: - Cantidad de zonas <> tamaño del array zonas	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
CG4	Datos con: - Cantidad de fertilizantes <> tamaño del array fertilizantes	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
CG5	Datos con: - Cantidad de hectáreas <> la suma de las hectáreas en el array zonas	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
CG6	Datos con: - TopeN o TopeP negativo	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
CG7	Datos con: - AP=False y cantidadzonas >1	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
CG8	Datos con: - Presupuesto < 0	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
CG9	Datos con: - Liquido diferente al parámetro liquido de alguno de los fertilizantes	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
CG10	Datos con: - Array DataCultivo.etapas <> 1	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
CG11	Datos con: - DataCultivo.precio <0	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".

CG12	Datos con: - DataCultivo.etapa no es una etapa válida del DataCultivo.Nombre (Trigo, Cebada: "Siembra", "Z ₂₂ ", "Z ₃₀ " – Maiz: "Siembra", "V5V6" – Soja: "Siembra")	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
CG13	Datos con: - DataCultivo.Nombre no valido (Trigo, Cebada, Maiz, Soja)	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
CG14	Datos con: - DataFertilizante con (TopeN o TopeP o Precio)<0	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
CG15	Datos con: - Alguno de los valores con DataParametro <0	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
CG16	Datos con: - Alguno de los valores con DataZona <0	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
CG17	Datos con: - DataZona.TipoSuelo <> 0,1,2	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
CG18	Datos Validos	Se crea el archivo con los datos y se devuelve la ruta donde se creó.
CG19	Datos con: - Cantidad de zonas <= 0	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
CG20	Datos con: - Cantidad de fertilizantes <0	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".

7.1.6 Ejecutar GAMS

Contrato

Operación	DataReporte EjecutarGAMS(DataArchivoDatos, String)
Entrada	Un datatype con la información del archivo de datos y un String con la ruta donde se encuentra el archivo de GAMS a ejecutar.
Salida	Un datatype DataReporte con la información generada.
Descripción	Se ejecuta GAMS con el archivo de modelo de GAMS para los datos pasados como parámetro, y se genera un datatype DataReporte con la solución obtenida con GAMS.
Excepciones	NoDataFile: No existe el archivo de modelo de GAMS. IncorrectData: Los datos ingresados son incorrectos. NoSolFile: GAMS no generó un archivo de salida para la ejecución. IncorrectSolFile: El archivo de salida no tiene el formato esperado.

Precondiciones y Postcondiciones

<p>Pre: Los datos ingresados son correctos. Existe el archivo de modelo de GAMS.</p> <p>Post: Se ejecuta GAMS con el archivo de modelo de GAMS para el cultivo y etapa ingresados, y se genera un datatype DataReporte con la solución obtenida con GAMS. Se elimina el archivo GAMS.</p>

Casos de Prueba

Nro.	Caso de Prueba	Resultado Esperado
EG1	Ruta vacía Datos válidos	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "NoDataFile".
EG2	Ruta null Datos válidos	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "NoDataFile".
EG3	Ruta incorrecta Datos válidos	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "NoDataFile".
EG4	Ruta válida. Datos null.	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
EG5	Ruta válida. Datos no es null pero algún campo null	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
EG6	Ruta válida Datos con: - Cantidad de zonas <> tamaño del array zonas	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
EG7	Ruta válida Datos con: - Cantidad de fertilizantes <> tamaño del array fertilizantes	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
EG8	Ruta válida Datos con: - Cantidad de hectáreas <> la suma de las hectáreas en el array	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".

	zonas	
EG9	Ruta válida Datos con: - TopeN o TopeP negativo	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
EG10	Ruta válida Datos con: - AP=False y cantidadzonas >1	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
EG11	Ruta válida Datos con: - Presupuesto < 0	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
EG12	Ruta válida Datos con: - Liquido diferente al parámetro liquido de alguno de los fertilizantes	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
EG13	Ruta válida Datos con: - Array DataCultivo.etapas <> 1	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
EG14	Ruta válida Datos con: - DataCultivo.precio <0	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
EG15	Ruta válida Datos con: - DataCultivo.etapa no es una etapa válida del DataCultivo.Nombre (Trigo, Cebada: "Siembra", "Z ₂₂ ", "Z ₃₀ " – Maiz: "Siembra", "V5V6" – Soja: "Siembra")	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
EG16	Ruta válida Datos con: - DataCultivo.Nombre no valido (Trigo, Cebada, Maiz, Soja)	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
EG17	Ruta válida Datos con: - DataFertilizante con (TopeN o TopeP o Precio)<0	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
EG18	Ruta válida Datos con: - Alguno de los valores con DataParametro <0	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
EG19	Ruta válida Datos con: - Alguno de los valores con DataZona <0	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
EG20	Ruta válida Datos con: - DataZona.TipoSuelo <> 0,1,2	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
EG21	Ruta válida Datos válidos	Se crea y devuelve el datatype con los resultados obtenidos.
EG22	Ruta válida Datos con: - Cantidad de zonas <=0	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
EG23	Ruta válida Datos con: - Cantidad de fertilizantes <=0	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".
EG24	Ejecutar 2 veces la operación	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "NoDataFile".

7.1.7 Leer Reporte

Contrato

Operación	DataReporte LeerReporte (String)
Entrada	Un String con la ruta del archivo de reporte.
Salida	Un datatype DataReporte con la información del archivo.
Descripción	Se obtiene la información del archivo de reporte y se carga en el datatype de salida.
Excepciones	NoReporteFile: No existe el archivo de reporte. IncorrectReporteFile: El archivo es corrupto.

Precondiciones y Postcondiciones
<pre>Pre: Existe el archivo de reporte y los datos son correctos. Post: Se obtiene la información del archivo y se guarda en el datatype DataReporte.</pre>

Casos de Prueba

Nro.	Caso de Prueba	Resultado Esperado
LR1	Ruta vacía	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "NoReporteFile".
LR2	Ruta null	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "NoReporteFile".
LR3	Ruta incorrecta	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "NoReporteFile".
LR4	El archivo es corrupto (no tiene el formato correcto).	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectReporteFile".
LR5	Ruta válida Datos con: - Cantidad de zonas <= 0	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectReporteFile".
LR6	Ruta válida Datos con: - Cantidad de fertilizantes <= 0	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectReporteFile".
LR7	Ruta válida Datos válidos	Se crea el datatype con los datos del archivo.
LR8	Ruta válida Datos con: - Nivel de N o nivel de P de alguna zona < 0.	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectReporteFile".
LR9	Ruta válida Datos con: - Rendimiento por zona o rendimiento total < 0.	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectReporteFile".
LR10	Ruta válida Datos con: - Cantidad de hectáreas por zona o cantidad de hectáreas total < 0.	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectReporteFile".
LR11	Ruta válida Datos con: - Cantidades de algún insumo aplicado, por zona o total < 0.	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectReporteFile".
LR12	Ruta válida Datos con: - Ganancia o costo total < 0.	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectReporteFile".

7.1.8 Escribir Reporte

Contrato

Operación	<code>void EscribirReporte(DataReporte, String)</code>
Entrada	Un datatype <code>DataReporte</code> con la información a guardar y un <code>String</code> con la ruta del archivo de reporte.
Salida	No tiene.
Descripción	Se obtiene la información del datatype <code>DataReporte</code> y se escribe en el archivo indicado.
Excepciones	NoReporteFile: Cualquier error al crear el archivo. IncorrectData: El reporte no es válido.

Precondiciones y Postcondiciones

<p>Pre: Los datos ingresados son correctos. La ruta es válida en el sistema.</p> <p>Post: Se obtiene la información del datatype pasado como parámetro y se guarda en el archivo indicado.</p>
--

Casos de Prueba

Nro.	Caso de Prueba	Resultado Esperado
ER1	Ruta vacía Datos válidos	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "NoReporteFile".
ER2	Ruta null Datos válidos	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "NoReporteFile".
ER3	Ruta incorrecta Datos válidos	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "NoReporteFile".
ER4	Ruta válida Datos con Nombre Cultivo vacío	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectReporteFile".
ER5	Ruta válida Datos con Nombre Etapa vacío	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectReporteFile".
ER6	Ruta válida Datos con: - Cantidad de zonas <= 0	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectReporteFile".
ER7	Ruta válida Datos con: - Cantidad de zonas > 0 pero diferente al tamaño de los array de cantidadN, cantidadP, hectáreasZ, nrosZonas, rendimientoZona	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectReporteFile".
ER8	Ruta válida Datos con: - Cantidad de fertilizantes <= 0	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectReporteFile".
ER9	Ruta válida Datos con: - Cantidad de fertilizantes > 0 pero diferente al tamaño de los array nombresInsumos y totalInsumo.	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectReporteFile".
ER10	Ruta válida Datos válidos	Se crea el archivo con los datos del datatype, en la ruta especificada.
ER11	Ruta válida Datos con: - Nivel de N o nivel de P de alguna zona < 0.	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectReporteFile".
ER12	Ruta válida Datos con: - Rendimiento por zona o rendimiento total < 0.	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectReporteFile".
ER13	Ruta válida Datos con: - Cantidad de hectáreas por zona o cantidad de hectáreas total < 0.	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectReporteFile".
ER14	Ruta válida Datos con: - Cantidades de algún insumo aplicado, por zona o total < 0.	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectReporteFile".
ER15	Ruta válida Datos con: - Ganancia o costo total < 0.	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectReporteFile".

8 Resultados de Verificación Funcional

8.1 Verificación Funcional de la Interfaz Gráfica

No se definieron casos de prueba para la interfaz gráfica porque no realiza ningún procesamiento lógico de los datos. Sin embargo, las pruebas de los modelos permitieron al mismo tiempo verificar que la interfaz funciona correctamente y despliega los resultados de forma correcta. Se probaron: carga de datos por defecto a partir del archivo de configuración al abrir el Editor de Datos, carga de datos en el Editor de Datos almacenados previamente en un archivo, ingreso de datos en el Editor de Datos, almacenamiento de los datos en un archivo, generación de una prescripción, visualización de Reportes con los resultados, visualización de mensajes de advertencia y error en el Editor de Datos al generar una prescripción, y almacenamiento en un archivo de los Reportes.

8.2 Verificación Funcional de la Biblioteca

Para realizar la verificación de dichos casos de prueba se realizaron 3 aplicaciones de test, una para probar las dos funcionalidades del Archivo de Datos (EscribirArchivoDatos y CargarArchivoDatos), otra para probar las dos funcionalidades relacionadas con GAMS (CrearGAMS y EjecutarGAMS) y la última para probar las dos funcionalidades del Reporte (LeerReporte y EscribirReporte). Realizamos en estas aplicaciones una función por cada caso de prueba definido en el plan de pruebas.

Con respecto a la biblioteca se cumplió con la verificación funcional en su totalidad. Se realizaron pruebas unitarias, sin embargo no se realizaron reportes sobre las mismas. A continuación se presentan los resultados de las pruebas funcionales. Tal como se estableció en el plan de verificación, estas pruebas se realizaron utilizando un enfoque de caja negra sobre la biblioteca sin utilizar la interfaz gráfica para probar diferentes combinaciones de datos de entrada de la misma forma que lo haría un sistema externo. Si se utiliza la interfaz gráfica muchos de estos casos de prueba no son válidos ya que la interfaz gráfica posee validaciones para los mismos.

8.2.1 Escribir Archivo de Datos

Nro.	Caso de Prueba	Resultado Esperado	Resultado Obtenido	Testeado Por:	Ok
EAD1	Ruta vacía. Datos válidos	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "NoDataFile".	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "NoDataFile".	Javier	SI
EAD2	Ruta null Datos válidos	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "NoDataFile".	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "NoDataFile".	Javier	SI
EAD3	Ruta incorrecta Datos válidos	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "NoDataFile".	Se crea un archivo con el nombre incorrecto pasado como parámetro en el directorio al mismo nivel que el ejecutable.	Javier	NO
EAD4	Ruta válida. Datos null.	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Javier	SI
EAD5	Ruta válida. Datos no es null pero algún campo null	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Javier	SI
EAD6	Ruta válida Datos con: - Cantidad de zonas <> tamaño del array zonas	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Javier	SI
EAD7	Ruta válida Datos con: - Cantidad de fertilizantes <> tamaño del array fertilizantes	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Javier	SI
EAD8	Ruta válida Datos con: - Cantidad de hectáreas <> la suma de las hectáreas en el array zonas	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Javier	SI
EAD9	Ruta válida Datos con: - TopeN o TopeP negativo	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Javier	SI
EAD10	Ruta válida Datos con: - AP=False y cantidadzonas >1	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Javier	SI
EAD11	Ruta válida Datos con: - Presupuesto < 0	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Javier	SI
EAD12	Ruta válida Datos con: - Liquidado diferente al parámetro liquidado de alguno de los fertilizantes	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Javier	SI

EAD13	Ruta válida Datos con: - Array DataCultivo.etapas <> 1	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Javier	SI
EAD14	Ruta válida Datos con: - DataCultivo.precio <0	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Javier	SI
EAD15	Ruta válida Datos con: - DataCultivo.etapa no es una etapa válida del DataCultivo.Nombre (Trigo, Cebada: "Siembra", "Z22", "Z30" - Maiz: "Siembra", "V5V6" - Soja: "Siembra")	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Javier	SI
EAD16	Ruta válida Datos con: - DataCultivo.Nombre no valido (Trigo, Cebada, Maiz, Soja)	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Javier	SI
EAD17	Ruta válida Datos con: DataFertilizante con (NivelN o NivelP o Precio)<0	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Se creó el archivo con el nivel de N en -1	Javier	NO
EAD18	Ruta válida Datos con: - Alguno de los valores con DataParametro <0	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Javier	SI
EAD19	Ruta válida Datos con: - Alguno de los valores con DataZona <0	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Javier	SI
EAD20	Ruta válida Datos con: - DataZona.TipoSuelo <> 0,1,2	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Javier	SI
EAD21	Ruta Valida Datos Validos	Se crea el archivo con los datos en la ruta especificada.	Se crea el archivo con los datos en la ruta especificada.	Javier	SI
EAD22	Ruta válida Datos con: - Cantidad de zonas <= 0	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Javier	SI
EAD23	Ruta válida Datos con: - Cantidad de fertilizantes <= 0	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Javier	SI

8.2.2 Cargar Archivo de Datos

Nro.	Caso de Prueba	Resultado Esperado	Resultado Obtenido	Testeado Por:	Ok
CAD1	Ruta vacía.	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "NoDataFile".	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "NoDataFile".	Sebastián	SI
CAD2	Ruta null	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "NoDataFile".	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "NoDataFile".	Sebastián	SI
CAD3	Ruta incorrecta	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "NoDataFile".	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "NoDataFile".	Sebastián	SI
CAD4	El archivo es corrupto (no tiene el formato correcto).	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Sebastián	SI
CAD5	Ruta válida Datos con: - TopeN o TopeP negativo	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Sebastián	SI
CAD6	Ruta válida Datos con: - Presupuesto < 0	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Sebastián	SI
CAD7	Ruta válida Datos con: - Liquido diferente al parámetro liquido de alguno de los fertilizantes	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Sebastián	SI
CAD8	Ruta válida Datos con: - Precio Cultivo < 0	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Sebastián	SI
CAD9	Ruta válida Datos con: - La etapa no es una etapa válida del Cultivo (Trigo, Cebada: "Siembra", "Z ₂₂ ", "Z ₃₀ " – Maiz: "Siembra", "V5V6" – Soja: "Siembra")	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Sebastián	SI
CAD10	Ruta válida Datos con: - Cultivo no valido (Trigo, Cebada, Maiz, Soja)	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Sebastián	SI
CAD11	Ruta válida Datos con: - Algún Fertilizante con (N o P o Precio)<0	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Sebastián	SI
CAD12	Ruta válida Datos con: - Algún valor de los Parámetros < 0	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Sebastián	SI

CAD13	Ruta válida Datos con: - Alguno de los valores de alguna Zona <0	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Sebastián	SI
CAD14	Ruta válida Datos con: - DataZona.TipoSuelo <> 0,1,2	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Sebastián	SI
CAD15	Ruta Valida Datos Validos	Se crea el datatype con los datos en el archivo.	Se crea el datatype con los datos en el archivo.	Sebastián	SI

8.2.3 Crear GAMS

Nro.	Caso de Prueba	Resultado Esperado	Resultado Obtenido	Testeado Por:	Ok
CG1	Datos null	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Javier	SI
CG2	Datos no es null pero algún campo null	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Javier	SI
CG3	Datos con: - Cantidad de zonas <> tamaño del array zonas	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Javier	SI
CG4	Datos con: - Cantidad de fertilizantes <> tamaño del array fertilizantes	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Javier	SI
CG5	Datos con: - Cantidad de hectáreas <> la suma de las hectáreas en el array zonas	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Javier	SI
CG6	Datos con: - TopeN o TopeP negativo	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Javier	SI
CG7	Datos con: - AP=False y cantidadzonas >1	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Javier	SI
CG8	Datos con: - Presupuesto < 0	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Javier	SI
CG9	Datos con:	No se crea el archivo. La	No se crea el archivo. La	Javier	SI

	- Líquido diferente al parámetro líquido de alguno de los fertilizantes	biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".		
CG10	Datos con: - Array DataCultivo.etapas <> 1	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Javier	SI
CG11	Datos con: - DataCultivo.precio <0	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Javier	SI
CG12	Datos con: - DataCultivo.etapa no es una etapa válida del DataCultivo.Nombre (Trigo, Cebada: "Siembra", "Z22", "Z30" – Maiz: "Siembra", "V5V6" – Soja: "Siembra")	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Javier	SI
CG13	Datos con: - DataCultivo.Nombre no válido (Trigo, Cebada, Maiz, Soja)	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Javier	SI
CG14	Datos con: - DataFertilizante con (TopeN o TopeP o Precio)<0	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Ejecución Completa	Javier	NO
CG15	Datos con: - Alguno de los valores con DataParametro <0	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Javier	SI
CG16	Datos con: - Alguno de los valores con DataZona <0	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Javier	SI
CG17	Datos con: - DataZona.TipoSuelo <> 0,1,2	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Javier	SI
CG18	Datos Validos	Se crea el archivo con los datos y se devuelve la ruta donde se creó.	Ejecución Completa	Javier	SI
CG19	Datos con: - Cantidad de zonas <= 0	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Javier	SI
CG20	Datos con: - Cantidad de fertilizantes <0	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Javier	SI

8.2.4 Ejecutar GAMS

Nro.	Caso de Prueba	Resultado Esperado	Testeado Por:	Ok
EG1	Ruta vacía Datos válidos	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "NoDataFile".	Javier	SI

EG2	Ruta null Datos válidos	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "NoDataFile".	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "NoDataFile".	Javier	SI
EG3	Ruta incorrecta Datos válidos	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "NoDataFile".	Javier	SI
EG4	Datos null	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Javier	SI
EG5	Datos no es null pero algún campo null	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Javier	SI
EG6	Datos con: - Cantidad de zonas <> tamaño del array zonas	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Javier	SI
EG7	Datos con: - Cantidad de fertilizantes <> tamaño del array fertilizantes	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Javier	SI
EG8	Datos con: - Cantidad de hectáreas <> la suma de las hectáreas en el array zonas	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Javier	SI
EG9	Datos con: - TopeN o TopeP negativo	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Javier	SI
EG10	Datos con: - AP=False y cantidadzonas >1	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Javier	SI
EG11	Datos con: - Presupuesto < 0	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Javier	SI
EG12	Datos con: - Liquido diferente al parámetro liquido de alguno de los fertilizantes	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Javier	SI
EG13	Datos con: - Array DataCultivo.etapas <> 1	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Javier	SI
EG14	Datos con: - DataCultivo.precio <0	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Javier	SI
EG15	Datos con:	No se crea el datatype. La	No se crea el datatype. La	Javier	SI

	- DataCultivo.etapa no es una etapa válida del DataCultivo.Nombre (Trigo, Cebada: "Siembra", "Z22", "Z30" – Maiz: "Siembra", "V5V6" – Soja: "Siembra")	biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".		
EG16	Datos con: - DataCultivo.Nombre no valido (Trigo, Cebada, Maiz, Soja)	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Javier	SI
EG17	Datos con: - DataFertilizante con (TopeN o TopeP o Precio)<0	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Se completa la ejecución con éxito	Javier	NO
EG18	Datos con: - Alguno de los valores con DataParametro <0	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Javier	SI
EG19	Datos con: - Alguno de los valores con DataZona <0	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Javier	SI
EG20	Datos con: - DataZona.TipoSuelo <> 0,1,2	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Javier	SI
EG21	Datos Validos	Se completa la ejecución con éxito. Se crea el datatype de reporte.	Se completa la ejecución con éxito	Javier	SI
EG22	Datos con: - Cantidad de zonas <= 0	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Javier	SI
EG23	Datos con: - Cantidad de fertilizantes <0	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectData".	Javier	SI
EG24	Ejecutar 2 veces la operación	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "NoDataFile".	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "NoDataFile".	Javier	SI

8.2.5 Leer Reporte

Nro.	Caso de Prueba	Resultado Esperado	Resultado Obtenido	Testeado Por:	Ok
LR1	Ruta vacía	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "NoReporteFile".	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "NoReporteFile".	Cecilia	SI
LR2	Ruta null	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "NoReporteFile".	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "NoReporteFile".	Cecilia	SI
LR3	Ruta incorrecta	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "NoReporteFile".	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "NoReporteFile".	Cecilia	SI

LR4	El archivo es corrupto (no tiene el formato correcto).	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectReporteFile".	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "NoReporteFile".	Cecilia	NO
LR5	Ruta válida Cantidad de zonas <'= 0	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectReporteFile".	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectReporteFile".	Cecilia	SI
LR6	Ruta válida Datos con: Cantidad de fertilizantes <= 0	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectReporteFile".	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectReporteFile".	Cecilia	SI
LR7	Ruta válida Datos válidos	Se crea el datatype con los datos del archivo.	Se crea el datatype con los datos del archivo.	Cecilia	SI
LR8	Ruta válida Datos con: - Nivel de N o nivel de P de alguna zona < 0.	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectReporteFile".	Se crea el datatype con los datos del archivo.	Cecilia	NO
LR9	Ruta válida Datos con: - Rendimiento por zona o rendimiento total < 0.	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectReporteFile".	Se crea el datatype con los datos del archivo.	Cecilia	NO
LR10	Ruta válida Datos con: - Cantidad de hectáreas por zona o cantidad de hectáreas total < 0.	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectReporteFile".	Se crea el datatype con los datos del archivo.	Cecilia	NO
LR11	Ruta válida Datos con: - Cantidades de algún insumo aplicado, por zona o total < 0.	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectReporteFile".	Se crea el datatype con los datos del archivo.	Cecilia	NO
LR12	Ruta válida Datos con: - Ganancia o costo total < 0.	No se crea el datatype. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectReporteFile".	Se crea el datatype con los datos del archivo.	Cecilia	NO

8.2.6 Escribir Reporte

Nro.	Caso de Prueba	Resultado Esperado	Resultado Obtenido	Testeado Por:	Ok
ER1	Ruta vacía Datos válidos	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "NoReporteFile".	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "NoReporteFile"	Cecilia	SI
ER2	Ruta null Datos válidos	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "NoReporteFile".	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "NoReporteFile".	Cecilia	SI

ER3	Ruta incorrecta Datos válidos	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "NoReporteFile".	Se crea el archivo con el nombre incorrecto pasado como parámetro en el directorio al mismo nivel que el ejecutable.	Cecilia	NO
ER4	Ruta válida Datos con Nombre Cultivo vacío	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectReporteFile".	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectReporteFile".	Cecilia	SI
ER5	Ruta válida Datos con Nombre Etapa vacío	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectReporteFile".	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectReporteFile".	Cecilia	SI
ER6	Ruta válida Datos con: Cantidad de zonas <'= 0	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectReporteFile".	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectReporteFile".	Cecilia	SI
ER7	Ruta válida Datos con: Cantidad de zonas > 0 pero diferente al tamaño de los array de cantidadN, cantidadP, hectáreasZ, nrosZonas, rendimientoZona	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectReporteFile".	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectReporteFile".	Cecilia	SI
ER8	Ruta válida Datos con: Cantidad de fertilizantes <= 0	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectReporteFile".	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectReporteFile".	Cecilia	SI
ER9	Ruta válida Datos con: Cantidad de fertilizantes > 0 pero diferente al tamaño de los array nombresInsumos y totalInsumo	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectReporteFile".	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectReporteFile".	Cecilia	SI
ER10	Ruta válida Datos válidos	Se crea el archivo con los datos del datatype, en la ruta especificada.	Se crea el archivo con los datos del datatype, en la ruta especificada.	Cecilia	SI
ER11	Ruta válida Datos con: - Nivel de N o nivel de P de alguna zona < 0.	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectReporteFile".	Se crea el archivo con los datos del datatype, en la ruta especificada.	Cecilia	NO
ER12	Ruta válida Datos con: - Rendimiento por zona o rendimiento total < 0.	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectReporteFile".	Se crea el archivo con los datos del datatype, en la ruta especificada.	Cecilia	NO
ER13	Ruta válida Datos con: - Cantidad de hectáreas por zona o cantidad de hectáreas total < 0.	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectReporteFile".	Se crea el archivo con los datos del datatype, en la ruta especificada.	Cecilia	NO

ER14	Ruta válida Datos con: - Cantidades de algún insumo aplicado, por zona o total < 0.	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectReporteFile".	Se crea el archivo con los datos del datatype, en la ruta especificada.	Cecilia	NO
ER15	Ruta válida Datos con: - Ganancia o costo total < 0.	No se crea el archivo. La biblioteca lanza la excepción "IncorrectReporteFile".	Se crea el archivo con los datos del datatype, en la ruta especificada.	Cecilia	NO

8.2.7 Conclusiones de las Pruebas Funcionales

En esta sección presentamos los resultados globales de la verificación funcional de la biblioteca.

En total se planificaron 109 casos de prueba para la biblioteca. En la Tabla 8.2.7.1 se muestran los resultados de las pruebas por funcionalidad detallando la cantidad de casos de prueba con resultado positivo (columna OK), los casos de prueba que fallaron (columna Falla) y el total por funcionalidad.

	OK	Falla	Total
Escribir Reporte	9	6	15
LeerReporte	6	6	12
Escribir Archivo Datos	21	2	23
Cargar Archivo Datos	15	0	15
CrearGAMS	19	1	20
EjecutarGAMS	23	1	24

Tabla 8.2.7.1. Resultado de los casos de prueba por Funcionalidad.

Estos resultados arrojan un total de fallas detectadas del 19% sobre los casos de prueba planteados como se puede apreciar en la Figura 8.2.7.1.

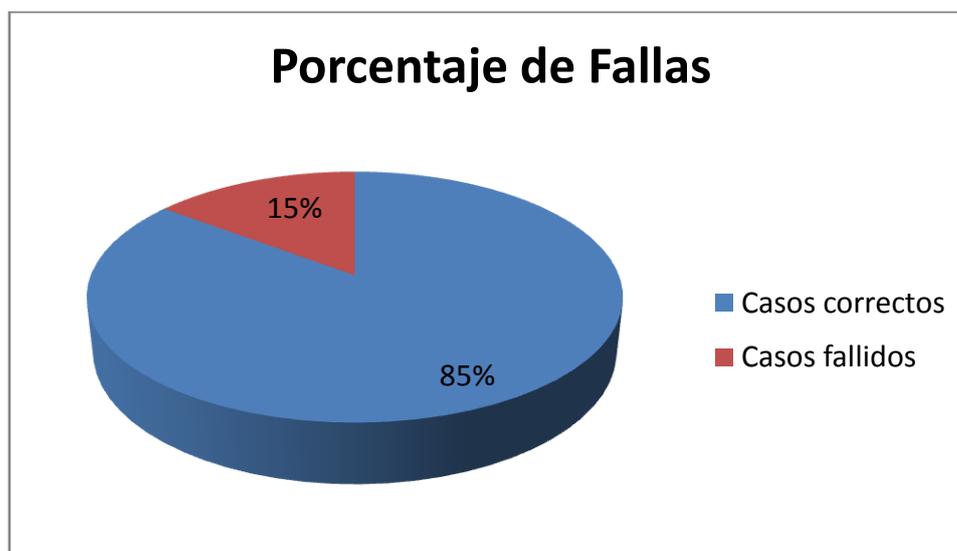


FIGURA 8.2.7.1. PORCENTAJE DE FALLAS.

Dentro de las fallas detectadas, la mayor cantidad están asociadas con las funcionalidades relacionadas con el Reporte con un total del 67% entre ambas. Dicha comparación se aprecia en la Figura 8.2.7.2.

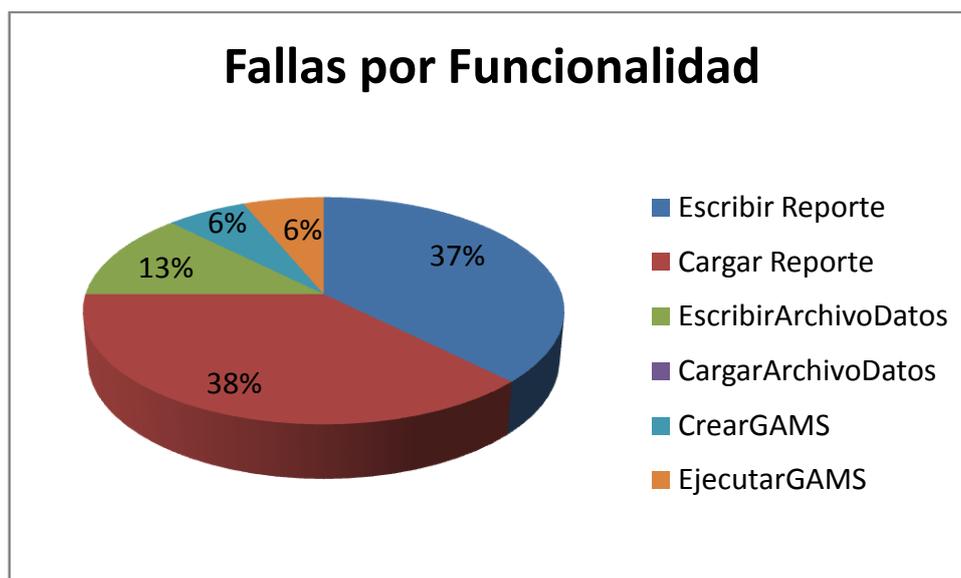


FIGURA 8.2.7.2. FALLAS POR FUNCIONALIDAD.

En la Tabla 8.2.7.2 se presenta la severidad de los errores detectados pero no corregidos.

Caso de Prueba	Severidad
EAD3	Baja
EAD17	Media
CG14	Media
EG17	Media
LR4	Baja
LR8	Media
LR9	Media
LR10	Media
LR11	Media
LR12	Media
ER3	Baja
ER11	Media
ER12	Media
ER13	Media
ER14	Media
ER15	Media

Tabla 8.2.7.2. Resultado de los casos de prueba por Funcionalidad.

En la Figura 8.2.7.3 se observa el porcentaje de la totalidad de los errores detectados pero no corregidos, según su severidad.



FIGURA 8.2.7.3: SEVERIDAD DE LOS ERRORES DETECTADOS PERO NO CORREGIDOS.

8.3 Validación y Verificación de los Modelos

Se realizó una recorrida de los modelos revisando las constantes, variables, restricciones y funciones.

Se revisaron las ecuaciones e inequaciones de las restricciones para asegurarse que se correspondan con la documentación de referencia. El objetivo era detectar cualquier restricción que hubiera sido copiada mal o utilizada de forma incorrecta.

Los resultados en este caso fueron positivos, no detectándose restricciones utilizadas de forma incorrecta.

Para cada restricción y función objetivo de los modelos se verificaron las unidades de las variables utilizadas. En este punto se detectaron varios errores de conversión de unidades entre PPM y Kg./Ha. Las diferentes bibliografías en la materia manejan ambas unidades para referirse a los niveles de los nutrientes, encontrándose casos donde un mismo autor trabaja con ambas. Esto llevo a que en algunas restricciones se estaba utilizando una variable con unidad en Kg./Ha. en una ecuación que tomaba PPM. El error se corrigió aplicando el factor de conversión en cada caso.

Se realizaron pruebas de todos los cultivos en todas sus etapas vegetativas. A su vez para cada una de las etapas se evaluaron las diferentes combinaciones de manejo (utilizando AP y no utilizando AP) y laboreo (Siembra Directa o Laboreo Convencional). Para que la evaluación de los resultados tuviera sentido se utilizaron datos cercanos a la realidad, es decir, mediciones reales de un potrero, datos sobre los fertilizantes más utilizados en la práctica y costos de cultivos, fertilizantes y muestreos. El Ing. Agr. Daniel Melo de La Hectárea proporcionó información de los fertilizantes más usados e información de un potrero con tres zonas de manejo. A su vez, M.Sc. Mercedes Berterretche nos proporcionó datos sobre costos y presupuestos manejados en la práctica agrícola. Con todos estos datos se armaron los datos de prueba.

Para los datos de prueba se decidió variar para cada cultivo y para cada etapa, cuando el modelo considera los datos: AP o sin AP, Laboreo Convencional o Siembra Directa, topes de N y de P a agregar, presupuesto disponible y concentración en el suelo de las zonas de N y P. Vale la pena aclarar que para realizar estas pruebas utilizamos la interfaz gráfica desarrollada a tales efectos. En la Figura 8.3.1 se muestra un ejemplo de las pruebas realizadas, para el cultivo de Trigo.

Siembra – Con AP – Laboreo Convencional

Observaciones:
Se utilizan los 3 fertilizantes en las 3 zonas con uso de AP.

Resultados:
La prescripción es de realizar fertilización solo con N.

Cultivo: Trigo Etapa: Siembra Precio: 0,133 \$/Kg <input checked="" type="checkbox"/> Agricultura de Precisión <input checked="" type="checkbox"/> Laboreo Convencional		General Cultivo: Trigo Manejo: Agricultura de Precisión Fecha: 11/02/2008 Etapa: Siembra Laboreo: Laboreo Convencional																																					
Parámetros Tope P: 50 Kg/Ha Costo de Fertilización Líquida con AP: 5,88 \$/Ha Tope N: 50 Kg/Ha Costo de Fertilización Líquida sin AP: 5 \$/Ha Costo de Muestreo con AP: 7,32 \$/Ha Costo de Fertilización Sólida con AP: 5,78 \$/Ha Costo de Muestreo sin AP: 0,25 \$/Ha Costo de Fertilización Sólida sin AP: 5 \$/Ha Costo de Muestra Foliar con AP: 11,58 \$/Ha Presupuesto: 2290 \$ Costo de Muestra Foliar sin AP: 0,36 \$/Ha		Zonas <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Zona</th> <th>Nivel N (Kg)</th> <th>Nivel P (Kg)</th> <th>Hectareas</th> <th>Rendimiento (Kg/Ha)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>577,52</td> <td>0</td> <td>14,24</td> <td>3783,54</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>655,88</td> <td>0</td> <td>17,37</td> <td>4462,6</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>102,39</td> <td>0</td> <td>3,92</td> <td>5833,41</td> </tr> </tbody> </table>		Zona	Nivel N (Kg)	Nivel P (Kg)	Hectareas	Rendimiento (Kg/Ha)	1	577,52	0	14,24	3783,54	2	655,88	0	17,37	4462,6	3	102,39	0	3,92	5833,41																
Zona	Nivel N (Kg)	Nivel P (Kg)	Hectareas	Rendimiento (Kg/Ha)																																			
1	577,52	0	14,24	3783,54																																			
2	655,88	0	17,37	4462,6																																			
3	102,39	0	3,92	5833,41																																			
Fertilizantes <input type="checkbox"/> Utilizar Fertilizantes Líquidos <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Nombre</th> <th>Nivel N (Kg N/Kg)</th> <th>Nivel P (Kg P/Kg)</th> <th>Precio (\$/Kg)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>UREA</td> <td>0,46</td> <td>0</td> <td>0,505</td> </tr> <tr> <td>P-simple</td> <td>0</td> <td>0,23</td> <td>0,29</td> </tr> <tr> <td>Binaio</td> <td>0,18</td> <td>0,46</td> <td>0,65</td> </tr> </tbody> </table>		Nombre	Nivel N (Kg N/Kg)	Nivel P (Kg P/Kg)	Precio (\$/Kg)	UREA	0,46	0	0,505	P-simple	0	0,23	0,29	Binaio	0,18	0,46	0,65	Fertilizantes <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Insumo</th> <th>Zona 1 (Kg)</th> <th>Zona 2 (Kg)</th> <th>Zona 3 (Kg)</th> <th>Total (Kg)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>UREA</td> <td>1255,48</td> <td>1425,83</td> <td>222,59</td> <td>2903,90015</td> </tr> <tr> <td>P-simple</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Binaio</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>		Insumo	Zona 1 (Kg)	Zona 2 (Kg)	Zona 3 (Kg)	Total (Kg)	UREA	1255,48	1425,83	222,59	2903,90015	P-simple	0	0	0	0	Binaio	0	0	0	0
Nombre	Nivel N (Kg N/Kg)	Nivel P (Kg P/Kg)	Precio (\$/Kg)																																				
UREA	0,46	0	0,505																																				
P-simple	0	0,23	0,29																																				
Binaio	0,18	0,46	0,65																																				
Insumo	Zona 1 (Kg)	Zona 2 (Kg)	Zona 3 (Kg)	Total (Kg)																																			
UREA	1255,48	1425,83	222,59	2903,90015																																			
P-simple	0	0	0	0																																			
Binaio	0	0	0	0																																			
Zonas de Manejo <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Nro</th> <th>Nivel N (Kg/Ha)</th> <th>Nivel P (Kg/Ha)</th> <th>Nivel N Planta (g N/Kg MS)</th> <th>Rendimiento (Kg/Ha)</th> <th>Hectareas</th> <th>Tipo de</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>32,88</td> <td>43,52</td> <td>40,6</td> <td>2800</td> <td>14,24</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>34,74</td> <td>43,23</td> <td>38,9</td> <td>3500</td> <td>17,37</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>42,48</td> <td>36,84</td> <td>39,1</td> <td>5000</td> <td>3,92</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table>		Nro	Nivel N (Kg/Ha)	Nivel P (Kg/Ha)	Nivel N Planta (g N/Kg MS)	Rendimiento (Kg/Ha)	Hectareas	Tipo de	1	32,88	43,52	40,6	2800	14,24	2	2	34,74	43,23	38,9	3500	17,37	2	3	42,48	36,84	39,1	5000	3,92	2	Económicos Rendimiento: 4341,68 Kg/Ha Ganancia: 29772,16 \$ Total Hectáreas: 35,53 Costo: 1931,91 \$ Beneficio Económico: 27840,25 \$									
Nro	Nivel N (Kg/Ha)	Nivel P (Kg/Ha)	Nivel N Planta (g N/Kg MS)	Rendimiento (Kg/Ha)	Hectareas	Tipo de																																	
1	32,88	43,52	40,6	2800	14,24	2																																	
2	34,74	43,23	38,9	3500	17,37	2																																	
3	42,48	36,84	39,1	5000	3,92	2																																	

FIGURA 8.3.1: RESULTADOS DE TRIGO

Cada verificador revisó los resultados obtenidos con los modelos de un punto de vista matemático, revisando unidades y cálculos. Estos resultados detallados se encuentran en el documento del Anexo 5 y se resumen a continuación.

8.3.1 Resultados

La Tabla 8.3.1.1 contiene un resumen de los resultados de todas las pruebas realizadas sobre el conjunto de datos proporcionado por el Ing. Agr. Daniel Melo. Se pueden apreciar, para cada conjunto de datos, la ganancia, el costo y el beneficio económico.

Posteriormente se realiza un análisis de los resultados para cada cultivo (secciones 8.3.1.1 a 8.3.1.8). Las comparaciones se hacen entre etapas iguales y considerando variaciones de manejo y laboreo.

A su vez, para verificar que los resultados obtenidos se ajustan a la realidad contamos con el apoyo del Ing. Agr. Daniel Melo quien analizó los resultados y proporcionó su evaluación. Dicha evaluación se encuentra en el Anexo 6.

Cultivo	Etap	Manejo	Laboreo	Fertiliza N	Fertiliza P	Ganancia	Costo	Beneficio Económico
Trigo	Siembra	AP	LC	SI	NO	29772,16	1931,91	27840,25
Trigo	Siembra	AP	SD	SI	SI	29772,16	1956,96	27815,2
Trigo	Siembra	No AP	LC	SI	NO	29581,57	1544,4	28037,17
Trigo	Siembra	No AP	SD	SI	SI	29581,57	1583,46	27998,11
Trigo	Z22	AP	LC	SI	NO	24902,53	1151,8	23750,73
Trigo	Z22	AP	SD	SI	NO	20667,54	1151,8	19515,74
Trigo	Z22	No AP	LC	SI	NO	24597,05	764,29	23832,76
Trigo	Z22	No AP	SD	SI	NO	20001,39	764,29	19237,1

Trigo	Z30	AP	LC	NO	NO	22629,06	260,08	22368,98
Trigo	Z30	AP	SD	SI	NO	17249,45	411,85	16837,6
Trigo	Z30	No AP	LC	NO	NO	22629,05	8,88	22620,17
Trigo	Z30	No AP	SD	NO	NO	16457,49	8,88	16448,61
Cebada	Siembra	AP	LC	SI	NO	26105,37	784,76	25320,61
Cebada	Siembra	AP	SD	SI	SI	28639,52	1436,14	27203,38
Cebada	Siembra	No AP	LC	SI	NO	25718,95	431,99	25286,96
Cebada	Siembra	No AP	SD	SI	SI	28529,49	1041,47	27488,02
Cebada	Z22	AP	LC	NO	NO	22887,67	259,13	22628,54
Cebada	Z22	AP	SD	NO	NO	16397,28	259,13	16138,15
Cebada	Z22	No AP	LC	NO	NO	22887,87	8,85	22879,02
Cebada	Z22	No AP	SD	NO	NO	16397,28	8,85	16388,43
Cebada	Z30	AP	LC	NO	NO	22546,26	259,13	22287,13
Cebada	Z30	AP	SD	SI	NO	17245,8	421,74	16824,06
Cebada	Z30	No AP	LC	NO	NO	22546,26	8,85	22537,41
Cebada	Z30	No AP	SD	NO	NO	16397,28	8,85	16388,43
Maíz	Siembra	AP	N/A	SI	SI	N/A	545,77	N/A
Maíz	Siembra	No AP	N/A	SI	NO	N/A	195,22	N/A
Maíz	V5V6	AP	N/A	SI	NO	N/A	584,06	N/A
Maíz	V5V6	No AP	N/A	SI	NO	N/A	233,95	N/A
Soja	Siembra	AP	N/A	NO	NO	25530,6	260,08	25270,52
Soja	Siembra	No AP	N/A	NO	NO	25530,59	8,88	25521,71

TABLA 8.3.1.1: RESULTADOS DE LAS PRUEBAS.

8.3.1.1 Trigo - Agricultura de Precisión – Comparativo entre Laboreo Convencional y Siembra Directa

Aquí se comparan las diferentes opciones de laboreo para el cultivo de Trigo utilizando AP. Para el cultivo de Trigo realizando un manejo de AP se obtiene un mayor beneficio económico en cualquiera de las tres etapas utilizando Laboreo Convencional.

Agricultura de Precisión - Siembra Directa						
Cultivo	Etapas	Fertiliza N	Fertiliza P	Ganancia	Costo	Beneficio Económico
Trigo	Siembra	SI	SI	29772,16	1956,96	27815,2
Trigo	Z22	SI	NO	20667,54	1151,8	19515,74
Trigo	Z30	SI	NO	17249,45	411,85	16837,6

Agricultura de Precisión - Laboreo Convencional						
Cultivo	Etapas	Fertiliza N	Fertiliza P	Ganancia	Costo	Beneficio Económico
Trigo	Siembra	SI	NO	29772,16	1931,91	27840,25
Trigo	Z22	SI	NO	24902,53	1151,8	23750,73
Trigo	Z30	NO	NO	22629,06	260,08	22368,98

8.3.1.2 Trigo – Sin Agricultura de Precisión – Comparativo entre Laboreo Convencional y Siembra Directa

Aquí se comparan las diferentes opciones de laboreo para el cultivo de Trigo sin utilizar AP. En el caso de Trigo, realizando un manejo sin AP también se obtiene un mayor beneficio económico utilizando LC.

Sin Agricultura de Precisión - Siembra Directa						
Cultivo	Etapas	Fertiliza N	Fertiliza P	Ganancia	Costo	Beneficio Económico
Trigo	Siembra	SI	SI	29581,57	1583,46	27998,11
Trigo	Z22	SI	NO	20001,39	764,29	19237,1
Trigo	Z30	NO	NO	16457,49	8,88	16448,61

Sin Agricultura de Precisión - Laboreo Convencional						
Cultivo	Etapas	Fertiliza N	Fertiliza P	Ganancia	Costo	Beneficio Económico
Trigo	Siembra	SI	NO	29581,57	1544,4	28037,17
Trigo	Z22	SI	NO	24597,05	764,29	23832,76
Trigo	Z30	NO	NO	22629,05	8,88	22620,17

8.3.1.3 Trigo - Comparativo entre uso o no de Agricultura de Precisión

Aquí se comparan los resultados de las opciones de manejo. En cualquiera de los casos, tanto LC como SD, la diferencia entre ambas opciones es muy chica (U\$S 388 como máximo).

Agricultura de Precisión – Siembra Directa						
Cultivo	Etapas	Fertiliza N	Fertiliza P	Ganancia	Costo	Beneficio Económico
Trigo	Siembra	SI	SI	29772,16	1956,96	27815,2
Trigo	Z22	SI	NO	20667,54	1151,8	19515,74
Trigo	Z30	SI	NO	17249,45	411,85	16837,6

Sin Agricultura de Precisión – Siembra Directa						
Cultivo	Etapas	Fertiliza N	Fertiliza P	Ganancia	Costo	Beneficio Económico
Trigo	Siembra	SI	SI	29581,57	1583,46	27998,11
Trigo	Z22	SI	NO	20001,39	764,29	19237,1
Trigo	Z30	NO	NO	16457,49	8,88	16448,61

Sin Agricultura de Precisión – Laboreo Convencional						
Cultivo	Etapas	Fertiliza N	Fertiliza P	Ganancia	Costo	Beneficio Económico
Trigo	Siembra	SI	NO	29581,57	1544,4	28037,17
Trigo	Z22	SI	NO	24597,05	764,29	23832,76
Trigo	Z30	NO	NO	22629,05	8,88	22620,17

Agricultura de Precisión – Laboreo Convencional						
Cultivo	Etapa	Fertiliza N	Fertiliza P	Ganancia	Costo	Beneficio Económico
Trigo	Siembra	SI	NO	29772,16	1931,91	27840,25
Trigo	Z22	SI	NO	24902,53	1151,8	23750,73
Trigo	Z30	NO	NO	22629,06	260,08	22368,98

8.3.1.4 Cebada - Agricultura de Precisión – Comparativo entre Laboreo Convencional y Siembra Directa

A diferencia de Trigo utilizando AP, aquí la tendencia no es tan clara. Se obtiene un mayor beneficio económico utilizando SD, en la etapa Siembra. Sucede lo contrario en Z₂₂ y en Z₃₀ donde se obtiene un mayor beneficio económico en el caso que se haya sembrado utilizando LC.

Agricultura de Precisión – Siembra Directa						
Cultivo	Etapa	Fertiliza N	Fertiliza P	Ganancia	Costo	Beneficio Económico
Cebada	Siembra	SI	SI	28639,52	1436,14	27203,38
Cebada	Z22	NO	NO	16397,28	259,13	16138,15
Cebada	Z30	SI	NO	17245,8	421,74	16824,06

Agricultura de Precisión – Laboreo Convencional						
Cultivo	Etapa	Fertiliza N	Fertiliza P	Ganancia	Costo	Beneficio Económico
Cebada	Siembra	SI	NO	26105,37	784,76	25320,61
Cebada	Z22	NO	NO	22887,67	259,13	22628,54
Cebada	Z30	NO	NO	22546,26	259,13	22287,13

8.3.1.5 Cebada – Sin Agricultura de Precisión – Comparativo entre Laboreo Convencional y Siembra Directa

A diferencia de Trigo sin utilizar AP, aquí la tendencia no es tan clara. Se obtiene un mayor beneficio económico utilizando SD, en la etapa Siembra. Sucede lo contrario en Z₂₂ como en Z₃₀ donde se obtiene un mayor beneficio económico en el caso que se haya sembrado utilizando LC.

Sin Agricultura de Precisión – Siembra Directa						
Cultivo	Etapa	Fertiliza N	Fertiliza P	Ganancia	Costo	Beneficio Económico
Cebada	Siembra	SI	SI	28529,49	1041,47	27488,02
Cebada	Z22	NO	NO	16397,28	8,85	16388,43
Cebada	Z30	NO	NO	16397,28	8,85	16388,43

Sin Agricultura de Precisión – Laboreo Convencional						
Cultivo	Etapas	Fertiliza N	Fertiliza P	Ganancia	Costo	Beneficio Económico
Cebada	Siembra	SI	NO	25718,95	431,99	25286,96
Cebada	Z22	NO	NO	22887,87	8,85	22879,02
Cebada	Z30	NO	NO	22546,26	8,85	22537,41

8.3.1.6 Cebada - Comparativo entre uso o no de Agricultura de Precisión

Aquí se comparan los resultados de las opciones de manejo. En cualquiera de los casos, tanto LC como SD, la diferencia entre ambas opciones es muy chica (U\$S 435 como máximo).

Agricultura de Precisión – Siembra Directa						
Cultivo	Etapas	Fertiliza N	Fertiliza P	Ganancia	Costo	Beneficio Económico
Cebada	Siembra	SI	SI	28639,52	1436,14	27203,38
Cebada	Z22	NO	NO	16397,28	259,13	16138,15
Cebada	Z30	SI	NO	17245,8	421,74	16824,06

Sin Agricultura de Precisión – Siembra Directa						
Cultivo	Etapas	Fertiliza N	Fertiliza P	Ganancia	Costo	Beneficio Económico
Cebada	Siembra	SI	SI	28529,49	1041,47	27488,02
Cebada	Z22	NO	NO	16397,28	8,85	16388,43
Cebada	Z30	NO	NO	16397,28	8,85	16388,43

Agricultura de Precisión – Laboreo Convencional						
Cultivo	Etapas	Fertiliza N	Fertiliza P	Ganancia	Costo	Beneficio Económico
Cebada	Siembra	SI	NO	26105,37	784,76	25320,61
Cebada	Z22	NO	NO	22887,67	259,13	22628,54
Cebada	Z30	NO	NO	22546,26	259,13	22287,13

Sin Agricultura de Precisión – Laboreo Convencional						
Cultivo	Etapas	Fertiliza N	Fertiliza P	Ganancia	Costo	Beneficio Económico
Cebada	Siembra	SI	NO	25718,95	431,99	25286,96
Cebada	Z22	NO	NO	22887,87	8,85	22879,02
Cebada	Z30	NO	NO	22546,26	8,85	22537,41

8.3.1.7 Soja - Comparativo entre uso o no de Agricultura de Precisión

Aquí se comparan los resultados de las opciones de manejo. Se puede ver que la ganancia es prácticamente la misma pero debido a que el costo con AP es mayor, se obtiene mayor beneficio económico sin usar AP.

Agricultura de Precisión							
Cultivo	Etapas	Laboreo	Fertiliza N	Fertiliza P	Ganancia	Costo	Beneficio Económico
Soja	Siembra	N/A	NO	NO	25530,6	260,08	25270,52

Sin Agricultura de Precisión							
Cultivo	Etapas	Laboreo	Fertiliza N	Fertiliza P	Ganancia	Costo	Beneficio Económico
Soja	Siembra	N/A	NO	NO	25530,59	8,88	25521,71

8.3.1.8 Maíz - Comparativo entre uso o no de Agricultura de Precisión

Aquí se comparan los resultados de las opciones de manejo. Se puede ver que el costo con AP es mayor que sin AP. En este modelo la idea es minimizar el costo. Este es un resultado esperado ya que los costos de fertilización y de muestreos cuando se utiliza AP son mayores.

Agricultura de Precisión							
Cultivo	Etapas	Laboreo	Fertiliza N	Fertiliza P	Ganancia	Costo	Beneficio Económico
Maíz	Siembra	N/A	SI	SI	N/A	545,77	N/A
Maíz	V5V6	N/A	SI	NO	N/A	584,06	N/A

Sin Agricultura de Precisión							
Cultivo	Etapas	Laboreo	Fertiliza N	Fertiliza P	Ganancia	Costo	Beneficio Económico
Maíz	Siembra	N/A	SI	NO	N/A	195,22	N/A
Maíz	V5V6	N/A	SI	NO	N/A	233,95	N/A

8.3.2 Análisis de los Resultados

Comparación entre opciones de Laboreo.

Para los cultivos de Trigo y Cebada utilizando un manejo de AP, se encontró que la tendencia es un mayor beneficio económico utilizando Laboreo Convencional. El único caso en que esto no se cumple es para Cebada en la etapa Siembra. Por otro lado, también para Trigo y Cebada, ahora sin utilizar AP, también se encontró una tendencia de mayor beneficio económico utilizando Laboreo Convencional. Este mismo análisis no se puede realizar para los cultivos de Maíz y Soja debido a que el laboreo no es un factor considerado en estos modelos.

Comparación entre opciones de Manejo.

Para los cultivos tanto de Trigo como Cebada, con ambas opciones de laboreo, los beneficios económicos obtenidos son similares.

Para Soja, se obtiene un mayor beneficio económico sin utilizar AP. En el caso de Maíz, el modelo trata de minimizar el costo total y los resultados muestran un menor costo sin utilizar AP. Por lo tanto, para Soja y Maíz, la mejor alternativa es la de no utilizar AP.

9 Conclusiones y Trabajo Futuro

Esta sección describe las conclusiones del trabajo, lo que se planteó hacer y lo que se hizo realmente, los resultados alcanzados, dificultades encontradas y posibles extensiones al trabajo.

Los objetivos de este proyecto son:

- Realizar una investigación sobre los Estados del Arte de las áreas de Agricultura de Precisión y Optimización para estudiar los últimos avances en estos temas.
- Desarrollo de un prototipo que permita generar prescripciones de fertilización de algunos nutrientes, de forma de maximizar el beneficio económico del productor agrícola. Se planteó construir una biblioteca como parte de ese prototipo que brinde las funcionalidades requeridas de este. A su vez, se plantea hacer una interfaz gráfica que utilice dicha biblioteca y que permita el ingreso de datos y la visualización de los resultados en forma de reporte.
- Creación de modelos matemáticos del comportamiento de los cultivos que sirvan de soporte en la creación del prototipo.

A continuación se realiza un análisis del cumplimiento de los objetivos planteados.

9.1 Investigación de los Estados del Arte

Se realizó una investigación de los Estados del Arte tanto de Agricultura de Precisión como de Optimización que resultó en dos documentos con la investigación de los mismos. Estos documentos se presentan en los Anexos 1 y 2.

El Estado del Arte de Agricultura de Precisión fue de utilidad para la introducción al tema de la agricultura y fundamentalmente a la Agricultura de Precisión. Con esta investigación se logró conocer las últimas tecnologías existentes en el área, analizar el grado avance del uso de estas técnicas en la región y otros países en el mundo, focalizándonos por sobre todo en Uruguay. Además permitió realizar un análisis de las herramientas de Software disponibles, evaluar su utilización y la existencia de herramientas similares al prototipo solicitado en el mercado.

El Estado del Arte de Optimización fue de utilidad para investigar acerca de Optimización, focalizándonos en el área de Programación Lineal, sobre los diferentes tipos de problemas que se han estudiado y sus métodos de resolución. Se investiga sobre las bibliotecas de Optimización existentes en el mercado, para evaluar cual utilizar de acuerdo a las características de los requerimientos del problema. También fue útil la investigación realizada sobre problemas similares relacionados con la planificación de la producción agrícola. Se encontraron algunos modelos donde se plantean objetivos similares, pero ninguno que satisfaga los requerimientos planteados. El modelo más similar es [28] donde se plantea la optimización de la aplicación de fertilizantes pero no se realizó una implementación de éste.

9.2 Creación de los modelos

Con respecto a las prescripciones de fertilización, se planteó realizar modelos matemáticos para los cultivos de Trigo, Cebada, Soja y Maíz para todas sus etapas optimizando la fertilización con Nitrógeno, Fósforo y Potasio, el riego y densidad de semillas, maximizando el beneficio económico, teniendo en cuenta para esto rendimiento de los cultivos para cada insumo, costos y precios.

Con respecto a dichas prescripciones de fertilización, no se realizaron los modelos con toda la información requerida, y en algunos casos resultaron con diferente información para cada cultivo y etapa. Esto se debió a que no existen estudios sobre algunas de las relaciones entre los datos y variables planteadas inicialmente, ya que biológicamente no hay relación modelable matemáticamente o es muy compleja. Por este motivo, por ejemplo en el caso de Soja, solo se pudo considerar la etapa Siembra y el nutriente Fósforo.

Para el caso de Potasio, no existe documentación que relacione los niveles residuales en el suelo con la cantidad a fertilizar ni con el rendimiento del cultivo. Para el caso de optimizar la densidad de semilla a aplicar, tampoco fue posible encontrar documentación que permita obtener un modelo abstracto. Finalmente, para el caso de riego, es decir el agua como insumo, se decidió no considerarlo en los requerimientos debido a la complejidad que posee y a que escapa al alcance de este proyecto.

En resumen, los nutrientes considerados en la optimización fueron Nitrógeno y Fósforo. En los casos de Trigo y Cebada se consideraron las etapas de Siembra, Z_{22} y Z_{30} . En el caso de Maíz, se consideraron las etapas de Siembra y V5V6. Finalmente en el caso de Soja se consideró solamente la etapa de Siembra. En el Anexo 3 se encuentra la documentación de los modelos teóricos obtenidos en la investigación.

Los resultados de la investigación fueron buenos ya que permitieron la creación de modelos abstractos que reflejaran la realidad de los cultivos. En nuestra investigación de herramientas y modelos de fertilización en agricultura no encontramos otras herramientas disponibles en el mercado local hoy en día, que tengan este respaldo matemático. Creemos que si bien el prototipo tal como está ahora, tiene muchos aspectos a mejorar y no se encuentra a nivel de producción, representa un buen comienzo para avanzar en el desarrollo de una aplicación de fertilización más completa.

9.3 Desarrollo del Prototipo

Se logró implementar una herramienta que cumple con todas las funcionalidades requeridas. Se desarrolló una biblioteca que brinda las funcionalidades necesarias para la creación de la prescripción y el manejo de los resultados. Esta biblioteca permite que otros sistemas utilicen dichas funcionalidades ocultando la comunicación con la biblioteca de optimización GAMS. Se implementó una interfaz gráfica que utiliza la biblioteca creada y permite el ingreso de datos y la visualización de los resultados de una manera amigable. Esta interfaz gráfica, además, permitió la realización de pruebas de los modelos y poder evaluar los resultados.

Se realizó la documentación del diseño de la biblioteca y la interfaz gráfica. Se realizó un documento de Arquitectura y Diseño del prototipo presentado en el Anexo 4. En él se muestran los contratos con información relevante de las funcionalidades, se definen los tipos de datos utilizados en la solución así como un diagrama de clases de esta. También se explican los archivos utilizados.

Debido a que las funcionalidades pueden ser utilizadas por otros componentes, se creó un documento de Uso de la Biblioteca, que explica como esos componentes pueden utilizar dichas funcionalidades. Este documento se presenta en el Anexo 7.

Para una mejor comprensión del uso de la interfaz gráfica, se diseñó un Manual de Usuario, presentado en el Anexo 8.

9.4 Testing

Se realizó una verificación completa de la biblioteca desde el punto de vista funcional y se documentaron todos los casos de pruebas, tanto los correctos como los que produjeron fallas. Esto facilitará el mantenimiento del prototipo en el futuro. A su vez se realizó una verificación y validación de los modelos y se analizaron los resultados. Estos fueron satisfactorios, debido a que la utilización de datos reales para estas pruebas, permitió verificar que los resultados obtenidos eran coherentes con los valores manejados en la realidad.

9.4.1 Análisis de los Resultados

Se realizaron pruebas de las diversas opciones de manejo y laboreo para todos los cultivos y todas sus etapas. Aquí se analizan los resultados de las mismas.

Comparación entre opciones de Laboreo.

Para los cultivos de Trigo y Cebada utilizando un manejo de AP, se encontró que la tendencia es un mayor beneficio económico utilizando Laboreo Convencional. El único caso en que esto no se cumple es

para Cebada en Siembra. Por otro lado, también para Trigo y Cebada, ahora sin utilizar AP, también se encontró una tendencia de mayor beneficio económico utilizando Laboreo Convencional.

Este mismo análisis no se puede realizar para los cultivos de Maíz y Soja debido a que el laboreo no es un factor considerado en estos modelos.

Comparación entre opciones de Manejo.

Para los cultivos tanto de Trigo como Cebada, con ambas opciones de laboreo, los beneficios económicos obtenidos son similares.

Para Soja, se obtiene un mayor beneficio económico sin utilizar AP. En el caso de Maíz, el modelo trata de minimizar el costo total y los resultados muestran un menor costo sin utilizar AP. Por lo tanto, para Soja y Maíz, la mejor alternativa es la de no utilizar AP.

9.5 Dificultades Encontradas

Una de las dificultades encontradas fue la falta de trabajos de investigación con respaldo matemático sobre la fertilización de los cultivos estudiados, sus etapas y los nutrientes requeridos. Por este motivo, no se pudo lograr uniformizar las restricciones y función objetivo a los largo de todos los modelos. Por ejemplo, en el caso de Maíz se tuvo que modificar la función objetivo para minimizar el costo total en lugar de maximizar el beneficio económico como en los demás modelos. Tampoco se pudo incluir en los modelos todos insumos deseados, como son el Potasio y la densidad de semillas, debido a la falta de documentación y estudios sobre los mismos.

Para los nutrientes considerados, no se han realizados estudios que contemplen la interacción entre ambos (al mismo tiempo) y el rendimiento del cultivo. Solo se han realizado estudios de cómo afectan el rendimiento cada uno por separado. Esto lleva a que la abstracción realizada no concuerde con la realidad del cultivo.

Otra de las dificultades que encontramos fue el estudio de documentación técnica de agricultura ya que no poseemos conocimientos básicos sobre la materia. Esto resultó en grandes tiempos de lectura e investigación de los conceptos manejados.

9.6 Posibles mejoras

El Ing. Agr. Daniel Melo de la consultora La Hectárea, en diciembre, sugirió modificaciones en las unidades manejadas en los modelos. Debido a la fecha en que se realizó la sugerencia y a que no se trata de una modificación menor, se decidió dejarlo como trabajo futuro. A su vez, las unidades ya habían sido definidas al comienzo del proyecto sin haberse encontrado motivos para modificarlas.

Otra de las indicaciones realizadas fue la modificación de los modelos para fertilizar dejando un nivel de nutrientes residual en el suelo. El problema de los modelos tal cual están implementados ahora es que utilizan todos los nutrientes del suelo causando que el mismo quede prácticamente inutilizable en la siguiente zafra. Este hecho no es bueno para el dueño del campo, para el ambiente ni para el próximo cultivo.

Con respecto a las evaluaciones realizadas por el Ing. Agr. Daniel Melo sugerimos lo siguiente:

- Con respecto a modificación de las unidades, sugerimos modificar la semántica de los atributos "NivelN" y "NivelP" en *DataArchivoDatos* para tratarlos con la unidad PPM. A su vez, agregar un nuevo atributo a la información de las zonas de manejo que represente el factor de conversión de PPM a Kg/Ha. para esa zona. Este factor debe considerar con la densidad aparente del suelo y la profundidad. Esto implica modificar el archivo de datos por lo que sería necesario hacer una pequeña modificación en la clase *DatosDataAccess*.
Con este cambio no es necesario modificar los modelos en GAMS si se implementa la conversión en la biblioteca previa a la creación del modelo (CrearGAMS).
- Con respecto la modificación de los modelos para dejar un nivel de nutrientes residuales en el suelo, creemos que es necesario que se estudie el punto en detalle debido a que es un tema complejo. En el caso del Nitrógeno por ejemplo, toda la documentación estudiada indica que este es un nutriente que no se mantiene en el suelo por lo que su fertilización para la siguiente

rotación no tendría efecto. El caso del Fósforo debería estudiarse más en profundidad para evaluar el impacto en la próxima rotación del cultivo.

A su vez, presentamos algunos puntos de trabajo en el futuro para mejorar la aplicación:

- Manejar un esqueleto único de GAMS y parametrizarlo según el cultivo y según la etapa debido a que el formato de los esqueletos es muy similar entre todos. Esta modificación simplificaría el mantenimiento de la aplicación para los casos cuando hayan modificaciones del modelo.
- Con respecto al diseño, identificar los cultivos con un ID (ej.: 1, 2, 3...) y mantener el nombre aparte o utilizar el tipo de datos enumerado. El tipo de suelo también podría haber sido un enumerado.
- En el caso de Maíz, la función que genera el modelo GAMS tiene “hardcoded” la generación de un dato de entrada debido a que su implementación en GAMS resultó complicada. Se debería modificar esto para eliminar esa porción de código.
- Considerar la extensibilidad a la hora de agregar nuevos datos, como por ejemplo, nuevos nutrientes. Este aspecto, debido a los requerimientos, no fue tenido en cuenta.
- Implementar las correcciones a las fallas detectadas en testing funcional de la biblioteca

9.7 Evaluación Global del Proyecto

El proyecto cumplió con el objetivo principal de investigar y crear un prototipo funcional en un campo de gran desarrollo en los últimos tiempos como es la Agricultura de Precisión y que creemos que tendrá un mayor desarrollo en los próximos años.

Para nosotros, los integrantes del grupo, el proyecto significó la introducción a dos ramas muy interesantes de la ciencia como son la Optimización y la Agricultura de Precisión y esperamos que el trabajo realizado sirva como base para que se pueda continuar trabajando en el tema.

10 Referencias Bibliográficas

- [1] Jansle Vieira Rocha, El SIG en los contextos de planificación del medio físico y de las cuencas hidrográficas, capítulo 8, *Notas de clases dictadas en el II Curso Internacional de Aspectos Geológicos de Protección Ambiental*, 2000, ISBN 92-9089-073-8, Oficina Regional de Ciencia de la UNESCO para América Latina y el Caribe Oficina UNESCO Montevideo, 2002, <http://www.unesco.org/geo/campinaspdf/8sig.pdf>, accedida el 21 de Abril de 2007.
- [2] WASDE/USDA, diciembre 2007. <http://www.usda.gov/oce/commodity/wasde/>
- [3] Jorge Chouy, *La tierra cambia de manos*, Informe publicado para El País Agropecuario N° 154, Montevideo, 26 de diciembre de 2007, jchouy@seragro.com.uy.
- [4] Rodolfo Bongiovanni, Evandro C. Montovani, Stanley Best, Álvaro Roel, *Agricultura de precisión: integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable*, ISBN 92-9039-741-1, Montevideo: PROCISUR/IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura) 2006.
- [5] DSSAT-ICASA, http://www.icasa.net/about_us/index.html, accedida el 21 de Junio de 2007.
- [6] Ana B. Bermejo Nieto, Juan M. Meneses Chaus, *Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en Agricultura*, Universidad Politécnica de Madrid, CEDITEC, 2004, http://www.ceditec.etsit.upm.es/Informes_globales/ceditec_agricultura.pdf, accedida el 2 de Mayo de 2007.
- [7] Ing. Agr. M. Sc. Mario Bragachini, Ing. Agr. Andrés Méndez, *Agricultura de Precisión: Protagonismo en la próxima década*, Proyecto Agricultura de Precisión, INTA Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Manfredi, 2003.
- [8] Ing. Agr. M. Sc. Mario Bragachini, *Agricultura de Precisión en Argentina*, 5to Curso de Agricultura de Precisión, Hacia una Agricultura Sustentable, INTA EEA Manfredi, Julio 2004.
- [9] E. Hoffman, C. Perdomo, *Criterios para el manejo de la fertilización nitrogenada en cultivos intensivos bajo cero laboreo (No existen más datos disponibles)*.
- [10] *Global Positioning System*, Wikipedia, <http://en.wikipedia.org/wiki/GPS>, accedida el 29 de Marzo de 2008.
- [11] Guillermo Peña, *Telefonía Celular- Informe La Evolución de la Telefonía Celular*, Publicado en El País Digital, Jueves 11 de Noviembre de 2004, Internet Año 9 N° 3017, http://www.elpais.com.uy/ProDig/TIC/04/11/11/tic_uru_129584.asp.
- [12] Ing. Agr. Nicolás Lussich, *El campo hace TIC - El mundo en el campo, Internet se mueve*, Informe publicado para El País Agropecuario N° 154, Montevideo, 26 de diciembre de 2007, nlussich@seragro.com.uy.
- [13] ICA, *Ingenieros Consultores Asociados*, Portal Corporativo: <http://www.ica.com.uy/>
- [14] ESRI, <http://www.esri.com>, accedida el 25 de Abril de 2007.
- [15] *Curso Introducción a la Investigación de Operaciones*, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Uruguay. <http://www.fing.edu.uy/inco/cursos/io/>, accedida el 12 de Mayo de 2007.
- [16] Axel von Martini, Mario Bragachini, Agustín Bianchini, Eduardo Martellotto, Andrés Méndez, *Percepción remota*, INTA, Manfredi, Argentina.
- [17] Antonio Caro Merchante, *Programación Lineal*, Descartes, Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, 2000.
- [18] *The GAMS System*, <http://www.gams.com/docs/intro.htm>, accedida el 18 de Mayo de 2007.
- [19] *The GNU Linear Programming Kit, Part 1: Introduction to linear optimization*, <http://www-128.ibm.com/developerworks/linux/library/l-glpk1>, accedida el 22 de Mayo de 2007.
- [20] A. Garcia Lamorthe, *Manejo de la fertilización con nitrógeno en trigo y su interacción con otras prácticas agronómicas*, INIA, 2004, ISBN 9974-38-197-5.
- [21] .NET Framework Development Center, <http://msdn2.microsoft.com/en-us/netframework/default.aspx>, accedida el 29 de Marzo de 2008.
- [22] *C Sostenido*, Wikipedia, http://es.wikipedia.org/wiki/C_Sostenido, accedida el 29 de Marzo de 2008.
- [23] E. Hoffman, C. Perdomo, C. Pons, E. Borghi, *Fertilización en Cebada Cervecera*, Facultad de Agronomía, UdelaR, Mayo 2001.

- [24] E. Hoffman Berasain, *Fertilización en Cultivos Extensivos, Cultivos de Verano*, Departamento de Producción Vegetal, EEMAC, Facultad de Agronomía, Julio de 2004.
- [25] M. S. Zubillaga, *Manejo del Fósforo en Maíz*, Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes. Facultad de Agronomía. UBA, <http://www.fertilizando.com/articulos/Manejo%20del%20Fosforo%20en%20Maiz.asp>.
- [26] Free Software Foundation, Inc, *La definición de Software Libre*, <http://www.gnu.org/philosophy/free-sw.es.html> , accedida el 3 de Abril de 2008.
- [27] *Programa de Desarrollo Tecnológico*, <http://www.pdt.gub.uy>, accedida el 4 de Abril de 2008.
- [28] Esmelin Niquín Alayo, Edmundo Rúben Vergara Moreno, José Luis Verdegay, *MODELOS DE PROGRAMACIÓN LINEAL DIFUSA PARA LA FERTILIZACIÓN ÓPTIMA DE TIERRAS DE CULTIVO*, Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo" - Perú, Universidad Nacional de Trujillo – Perú, Universidad de Granada, <http://www.institucional.us.es/sisting/forum/download.php?id=15&sid=eddd5daaad0dc168620750ba89c7339> , accedida el 10 de Septiembre de 2007.

1 Anexo 1 – Estado Arte de Agricultura de Precisión

1.1 Abstract

Este Anexo describe el estudio del Estado del Arte de Agricultura de Precisión (AP) donde se detallan los conceptos más importantes de la materia así como las tecnologías y técnicas más utilizadas. Además se muestran ejemplos de aplicación en varios países tanto de la región como del resto del mundo.

El documento está organizado de la siguiente forma: la sección 1.2 es una introducción al tema presentando las definiciones más importantes; la sección 1.3 describe las tecnologías utilizadas en AP como ser: Global Positioning System (GPS), Monitores de Rendimiento, Mapas de Rendimiento, etc.; y también describe las técnicas más utilizadas en AP; la sección 1.4 contiene ejemplos de aplicaciones de AP en países de la región (Argentina, Brasil y Uruguay) y en países del resto del mundo (EE.UU. y Australia); la sección 1.5 contiene nuestras conclusiones sobre el conocimiento existente en la materia; y finalmente la sección 1.6 contiene las referencias bibliográficas de todos los temas a los que hacemos referencia en el documento.

Palabras Clave: Agricultura de Precisión, Sistemas de Información Geográfica (SIG), GPS, Zona de Manejo.

1.2 Introducción

En las últimas décadas el aumento de tecnología en el área de informática ha sido muy grande. Actualmente el computador está incorporado en casi todos los sectores de negocios, en la investigación y en la vida de las personas. En cambio, la adopción de dicha tecnología para la agricultura y para el manejo de los recursos naturales ha sido más lenta. Esto en general se debe a la resistencia a los cambios, a no disponer de equipos y personal calificado y a la falta de información que muestre una ventaja sobre los métodos convencionales para el manejo del campo [25].

El análisis espacial, el estudio de elementos geográficos y sus relaciones se aplican a muchas áreas de la agricultura, permitiendo optimizar el manejo de las tierras agrícolas y aumentar los beneficios económicos. Actualmente, los profesionales agrícolas están utilizando la tecnología de los SIG [43], impulsados por varias razones: la preservación del ambiente, la administración de bienes, la superproducción constante con precios bajos, los subsidios de gobierno variables, la biotecnología y la competencia [26].

El avance en la capacidad de producción de la maquinaria (sembradoras, cosechadoras, pulverizadoras, etc.) le ha traído la posibilidad al agricultor de procesar rápidamente de forma uniforme su chacra. Sin embargo, desde hace un tiempo se está dando una tendencia a tratar los campos de forma diferencial en oposición al modelo más tradicional de tratamiento uniforme con el objetivo de reducir costos y aumentar la productividad.

Se entiende como AP [1] al conjunto de técnicas y sistemas aplicados para optimizar la producción agrícola en términos de su eficiencia, productividad y rentabilidad. Se desean realizar recomendaciones sobre los insumos que se vayan a utilizar basándose en la interpretación y análisis de datos del suelo y del cultivo. Estas recomendaciones estarán basadas en las necesidades específicas de cada zona en lugar de la necesidad promedio de todo el campo. Una de las ideas básicas de AP es que se puede mejorar la eficiencia de la producción agrícola ajustando la aplicación de los insumos a las áreas que son más receptivas sin necesidad de aumentar la cantidad de recursos (maquinaria, personal, etc.). Se entiende por insumos todos los componentes necesarios para la producción agrícola como ser: nutrientes principales (Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K)), cantidad de semilla, pesticidas, abono, tierra, agua, etc. Todo el conjunto de prácticas recomendadas por AP deberá minimizar el daño al ambiente y se espera que contribuya a prácticas eficientes en la administración de la producción agrícola en general.

Otro de los objetivos de AP [1] es poder localizar geográficamente la información de variabilidad del suelo. Para esto son necesarias dos tecnologías, GPS para determinar el posicionamiento global y distintos tipos de sensores y equipos de medición, que se describen a continuación.

1.3 Herramientas

En esta sección se presentan algunas de las tecnologías más importantes que son utilizadas en AP. Comienza describiendo dos tecnologías que se complementan para obtener datos del suelo, que son GPS y Monitores de Rendimiento. Después, se describen los Mapas de Rendimiento, Tecnologías de la Información y Comunicación y Tecnologías de Dosis Variable. Finalmente se describen algunos de los diferentes productos de Software existentes para AP.

1.3.1 GPS

El GPS o Global Positioning System es un sistema de navegación satelital que brinda al usuario su posición en cualquier parte del planeta. Fue lanzado en fase experimental en 1978 con 4 satélites y al día de hoy cuenta con 24 satélites en órbita media (aprox. a 20.000 Km. de la Tierra). Fue creado originalmente con fines militares por el departamento de defensa de los EE.UU. (DoD), quien hasta la fecha opera el sistema. Oficialmente se lo denominó NAVSTAR GPS (**NAV**igation **S**atellite **T**iming **A**nd **R**anging **G**lobal **P**ositioning **S**ystem). En la actualidad su uso se ha difundido de forma gratuita también para uso civil debido a su bajo costo, ya que solamente se necesita contar con un receptor de GPS, los cuales han disminuido considerablemente de precio.

El sistema completo comprende 3 componentes principales denominados segmentos, a saber: espacial, control y usuario. El segmento espacial comprende la constelación de satélites de NAVSTAR donde cada satélite cuenta con un reloj atómico de alta precisión. El segmento de control está compuesto por una serie de estaciones ubicadas en diferentes puntos del planeta: Colorado Springs en EE.UU., la isla de Ascensión en el sur del Océano Atlántico, la isla Hawái en el Océano Pacífico, Kwajalein en las Islas Marshall, Diego García en el Océano Indico. Finalmente el segmento de usuarios comprende todos los receptores de GPS utilizados en el planeta.

La idea detrás del cálculo de la ubicación mediante GPS es que el receptor determina la posición en base al cálculo de la distancia de su posición a 3 satélites NAVSTAR. La distancia se calcula con la diferencia de tiempo entre la emisión de la señal en el satélite y la recepción de la misma ya que la velocidad de la onda de la señal es conocida. La señal contiene también información sobre la posición de cada satélite lo que permite calcular la posición del receptor. Dado a que los relojes de los receptores son de baja precisión el resultado del cálculo contiene errores donde el resultado puede distar hasta un centenar de kilómetros de la ubicación real. Por este motivo se utiliza un cuarto satélite para brindar más precisión en el cálculo.

Existen varios factores que pueden introducir errores en el cálculo de la posición en el receptor: se supone que la onda viaja a la velocidad de la luz lo cual es cierto solamente en el vacío, existe un fenómeno de rebote cuando el receptor no capta la señal directamente del satélite y capta la señal que rebotó en la superficie del planeta, variaciones en los relojes de los receptores, etc. Para corregir estos errores se definió DGPS.

DGPS o Differential Global Positioning System es una mejora realizada al sistema GPS tradicional en la cual se utilizan bases en tierra que transmiten la diferencia entre la posición transmitida por el satélite y la posición física conocida. Este factor puede utilizarse para estimar el error y realizar la corrección.

En AP, los dispositivos GPS o DGPS trabajan conectados a equipos de medición de forma de agregar a la medición el dato de la posición donde se tomó la misma. Por este motivo se vuelve crítico para poder medir la variabilidad del suelo y determinar las Zonas de Manejo [1] ya que de otra forma no se podría georeferenciar [57] los datos.

1.3.2 Monitores de Rendimiento y otros

Los Monitores de Rendimiento son dispositivos para recolectar datos de la cosecha. Típicamente van montados en la cosechadora, recolectando datos sobre el grano a medida que la misma va avanzando. La cantidad de datos que sean procesados dependerá del ancho de la cosechadora, la frecuencia de muestreo, la velocidad de la cosechadora y el tamaño de la parcela a procesar.

El rendimiento del grano se mide en cantidad de unidades por área, típicamente en kilogramos por hectárea.

En promedio se pueden llegar a tomar entre 600 y 800 datos por hectárea dependiendo de la frecuencia a la que estén configurados para tomar las muestras. Cuando se agrega un dispositivo GPS o DGPS al monitor es posible georeferenciar los datos permitiendo ubicar espacialmente las muestras tomadas.

El procesamiento posterior de los datos recolectados mediante un Software de SIG permite generar Mapas de Rendimiento (Ver Sección 1.3.3). Cuanto mejor sea la calidad de la medición mejor será la calidad del Mapa de Rendimiento generado con esos datos por lo que el monitor deberá estar debidamente calibrado para el cultivo que se está midiendo.

En [1] se muestran algunos ejemplos de Monitores de Rendimiento que operan con dispositivos GPS para tomar mediciones son:

- **Monitores de Rendimiento:** dispositivos que permiten medir y mostrar la variabilidad de rendimiento de un campo a medida que se cosecha. Los resultados son desplegados en forma de mapa lo que permite una fácil interpretación.

- **Monitor de Calidad de Granos:** son sensores que operan montados sobre la cosechadora conectados a un dispositivo GPS y permiten medir la cantidad de proteínas y humedad del grano.
- **Monitor de Calidad de Frutos:** Es un sensor espectrofotómetro infrarrojo que permite medir el contenido de azúcar, pH y color del fruto. Al igual que el anterior, conectado a un dispositivo GPS permite obtener planos de calidad espacial de la fruta.
- **Monitor de Estado Nutricional (N-Sensor):** permite conocer la variabilidad de la demanda de Nitrógeno a través de la reflectancia emitida por el cultivo.
- **Aplicación Variable de Agroquímicos:** dispositivos que permiten dosificar la cantidad de pesticidas según área foliar. Al estar conectados a un dispositivo GPS permiten elaborar mapas de distribución espacial de la aplicación de pesticida.
- **Monitores de Conductividad Eléctrica:** Dispositivos que miden la Conductividad Eléctrica del suelo (CE). La CE es una medida indirecta del grado de salinidad de un suelo y puede ser usado para inferir propiedades físicas del suelo ya que esta propiedad varía con el contenido de arcilla, agua, sales disueltas y temperatura del suelo [56]. Esta medición se realiza mediante un equipo que emite una señal eléctrica, cada segundo, desde un disco o electrodo positivo (+), la cual es recibida por otro disco o electrodo negativo (-), determinándose la caída de voltaje.

1.3.3 Mapas de Rendimiento

Los Mapas de Rendimiento permiten estimar la variabilidad espacial del suelo y desplegarla en forma gráfica (mapa) para facilitar su interpretación. El análisis posterior de esta variabilidad es generalmente utilizado para definir las recomendaciones de dosis variable de insumos (Ver Sección 1.3.5).

El proceso de generación de Mapas de Rendimiento comienza con la recolección de datos en la cosechadora, estos datos son almacenados en una tarjeta de memoria junto con la información geográfica proporcionada por el dispositivo GPS o DGPS. Los datos son descargados en un computador y son procesados utilizando algún Software.

Una vez generado el Mapa de Rendimiento se procede al análisis de la información con el objetivo de determinar los factores de manejo (que no son propios del suelo) y que están influyendo el rendimiento. En [42] los autores presentan un ejemplo de mapa de rendimiento donde se puede apreciar claramente la incidencia del riego (factor de manejo) en el rendimiento. Ver Figura 1.3.3.1.

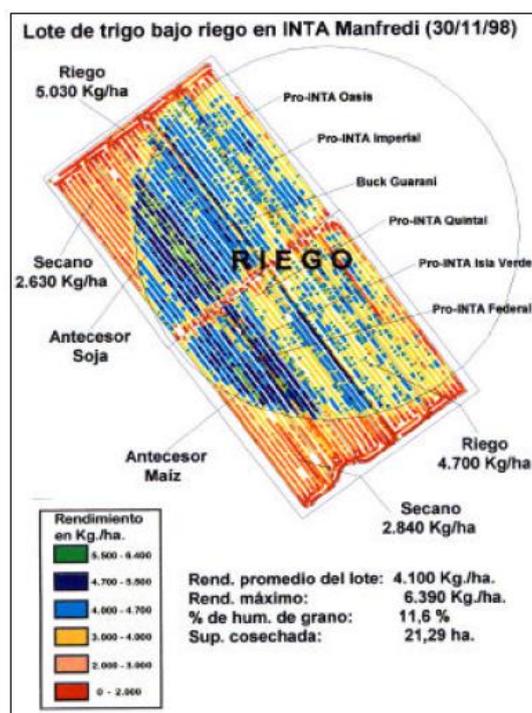


FIGURA 1.3.3.1: SE PUEDE APRECIAR LA VARIACIÓN DEL RENDIMIENTO EN EL CÍRCULO ALCANZADO POR EL SISTEMA DE RIEGO. FUENTE [42].

También señalan algunos de los datos de variabilidad que pueden ser reflejados en Mapas de Rendimiento:

Variabilidad Natural:

- Relieve/ Pendiente
- Climática
- Relación suelo-clima
- Propiedades físicas y químicas del suelo
- Infestación de malezas, insectos y enfermedades

Variabilidad Inducida:

1) Manejos anteriores:

- Rotaciones
- Prácticas anteriores

2) Manejo actual

- Cultivares
- Fechas de siembra
- Densidad
- Fertilización
- Herbicidas
- Laboreos
- Riegos, etc.

1.3.4 Tecnología de la Información y la Comunicación (TIC) en la agricultura

Las TIC son instrumentos y procesos utilizados para recuperar, almacenar, organizar, manejar, producir, presentar e intercambiar información por medios electrónicos y automáticos [36]. Permiten transmitir, procesar y difundir información de forma instantánea [36].

Actualmente son cada vez más indispensables en el desarrollo de la agricultura. El aumento de los rendimientos ya no depende solo de la calidad del suelo y del clima sino que de la obtención y utilización de información [35].

La AP es una de las principales aplicaciones de la TIC orientada al aumento de la productividad y reducción de costos [35]. Se caracteriza por un mayor dominio de la información y una menor utilización de componentes no naturales [34].

La TIC en agricultura involucra la utilización de sensores, información digitalizada y sistemas de información, que recogen, almacenan, procesan y usan la información derivada, con la finalidad de reducir el riesgo y mejorar la eficiencia de las decisiones, facilitando la implementación y evaluación de las estrategias de gestión del negocio [34].

La aplicación más común en el área es la creación de servicios de información en Internet para el agricultor, lo que favorece el desarrollo rural de las poblaciones más aisladas, acercándolas a la información [33] [34]. También en Internet es posible realizar la compra y venta de productos, acceder a servicios bancarios y estar al tanto de las regulaciones [33].

La disponibilidad de información fiable, verdadera y oportuna sobre un cultivo, un producto o un proceso, se considera como un insumo más que hay que gestionar. La información debe usarse para conocer el rendimiento del cultivo y tomar acciones para mejorarlo [34].

Las principales barreras de las TIC en AP son: que la inversión inicial en equipos de hardware y software es percibida por los agricultores como alta, ya que los beneficios pueden no ser evidentes a simple vista;

la existencia de una falta de usabilidad de las interfaces tecnológicas y un bajo nivel de informatización del sector; el bajo nivel de formación e información de los agricultores, que en ocasiones desconocen las implicaciones y beneficios que la AP puede aportarles; y que, existe la necesidad de disponer, no solamente de los dispositivos adecuados para llevar a cabo la AP, sino también de una infraestructura de comunicaciones que permita transmitir la información desde la maquinaria que recoge los datos hasta el centro de control [34].

Incorporar esta nueva tecnología implica mucha capacitación, vencer las barreras de resistencia a este nuevo conocimiento y todo el cambio que significa en los procesos de trabajo, pero sus beneficios son un gran incentivo [33].

Los beneficios principales de las TIC en AP son: brindar una mejora de la gestión de la explotación y de la documentación para la trazabilidad de sus productos; la informatización de los datos recogidos, junto con la aplicación de los conocimientos edafológicos del agricultor, que favorece la realización de previsiones de comportamiento y simulación de cultivos, lo que permite aprender de experiencias anteriores; y el despliegue de redes de comunicación que permite la conectividad dentro y hacia fuera de la explotación, reduciendo el aislamiento de los agricultores [34].

En Reino Unido y Nueva Zelanda, 60% de los agricultores utiliza Internet para buscar información y para participar del comercio electrónico. En EE.UU. 43% de los agricultores trabaja conectado [33].

1.3.5 Tecnologías de Dosis Variables (TDV)

Llamada también manejo de nutrientes sitio-específico (MNSE), es el área de mayor desarrollo dentro de la AP [37]. Consiste en la aplicación variable de dosis de insumos (fertilizantes, semillas, agroquímicos, etc.) según el nivel de fertilidad de cada Zona de Manejo [1] homogénea de la chacra. Se consideran tantas dosis de insumo como cantidad de zonas homogéneas [37].

Con su utilización es posible mejorar la eficiencia de uso de los insumos, lograr el máximo potencial de crecimiento del cultivo en un lugar dado y reducir la contaminación que provocan las aplicaciones ineficientes [37]. Se puede lograr un mayor rendimiento total de la chacra con un mayor o igual uso de insumo con respecto a la dosis fija (aplicación de igual cantidad de insumo en toda la chacra), o un menor uso de insumo sin disminución del rendimiento total [39].

Esta utilización variable de los insumos se puede aplicar de dos formas, dependiendo del nivel tecnológico disponible y del costo de operación involucrado. Una se basa en el muestreo y mapeo de los factores de producción (fertilidad del suelo, malezas, etc.) a ser manejados en forma diferencial y la posterior elaboración de mapas de prescripción para la aplicación variable de los insumos. La otra es el sensoriamiento directo del suelo y/o el cultivo para la aplicación inmediata de los insumos en forma variable [37].

Para cada sector definido en el mapeo de fertilidad se deben definir las dosis de insumos a aplicar, lo que provoca que la interpretación de los mapas de fertilidad y la recomendación de insumos en base a la variabilidad de la fertilidad del suelo sea una de las etapas más críticas. La correcta determinación de esas dosis es fundamental para obtener tanto beneficios ambientales como económicos [37].

Para la aplicación variable de los insumos existen controladores y maquinaria con una gran precisión que permiten variar la dosis por unidad de superficie. Un computador integra la información del mapa de aplicación y del GPS enviando la información al controlador del equipo para variar la dosis recomendada, en tiempo real. Se puede controlar el flujo de líquidos y/o granulados que están siendo aplicados, lo que permite regular y monitorear la aplicación [37] [38]. También se puede utilizar la sembradora, abonadora o pulverizadora tradicional controlando que cada vez que se traspase el límite entre una Zona de Manejo [1] homogéneo y otra, se cambie la dosis de aplicación [37].

Actualmente se está experimentando con esta tecnología, pero a nivel comercial tiene poco uso. Los países que la utilizan en mayor grado son EE.UU. y Canadá. En Europa se está comenzando a adoptar por la preocupación por la contaminación y para cumplir con normas legales. Finalmente en América Latina y Australia su uso está limitado por el alto costo del muestreo y análisis de suelo [41].

1.3.6 Software

En esta sección presentamos algunas de las diversas alternativas de Software existentes para AP con un breve resumen de sus funcionalidades.

FarmWorks

Es un paquete de Software para procesar Mapas de Rendimiento compatible con muchos Monitores de Rendimiento. Por su capacidad de calibrar los datos con GPS brinda mapas posicionados con coordenadas reales. Se puede trabajar con varios niveles del mismo sitio, como son por ejemplo Mapas de Rendimiento, programación de siembra, y mapa de suelo de un mismo lote. También se puede acoplar a otras aplicaciones, como por ejemplo FarmTrac (explicada a continuación) para el control de gestión agrícola. Permite la importación de archivos exportados de otros programas de análisis espaciales de datos de rendimiento (como ArcView y sstoolbox [54]) [15].

Se pueden realizar varias tareas con los Mapas de Rendimiento. Estos se pueden ver de diferentes maneras, mapas de datos básicos, datos integrados, datos promediados, promedios de todo un lote, promedio por parcelas o ensayos. Según la manera en que se visualicen, se podrá realizar diferentes tareas sobre ellos. También brinda la posibilidad de trabajar con capas (por ejemplo, poder superponer diferente tipo de información obtenida en diferentes etapas en un mismo mapa para poder trabajar con ella) [15].

FarmTrac

Modulo de FarmWorks que permite llevar un registro del historial del campo, del uso de químicos y otros productos en él, y de la rotación de las siembras. Además permite tener mapas detallados de los lotes y campos, así como del uso de herbicidas, fertilizantes, condiciones del tiempo, cosechas, rendimiento de semillas y más. Permite realizar informes y mapas que contengan la maquinaria, las herramientas (con identificaciones de ellas como por ejemplo su número de serie) y las zonas de siembra [44] [45].

Con esta información que se tiene, es posible generar reportes de por ejemplo, como se están utilizando los pesticidas para verificar la protección al medio ambiente, que producto es necesario en la granja y solicitarlo mediante Internet, y como es el nivel de combustible de la maquinaria. También es posible planificar las operaciones futuras que se van a realizar en la granja [44] [45].

FarmFunds

Integrado con FarmTrac y FarmStock (gestión agropecuaria), este modulo permite llevar un control económico de la granja, tener una mejor información de los costos y calcular los impuestos.

Sirve para llevar un inventario de los recursos del establecimiento, así como de los gastos y el mantenimiento de los equipamientos, todo lo cual se puede observar mediante sencillos reportes. Estos inventarios son mantenidos día a día debido a que también es registrado el uso y compras de los elementos que lo componen, por lo que se puede obtener la cantidad exacta que se tiene de determinado elemento cuando sea necesario.

Junto con FarmTrac, se puede seguir la historia del campo, al mismo tiempo que se pueden observar los gastos realizados, donde y si estos fueron útiles o no [46].

FarmSite

Es el módulo de mapas de FarmWorks. Agrega capas y compatibilidad con GPS a FarmTrac. Estas capas pueden ser por ejemplo de tipos de suelo, y de plantaciones. Nos permite testear los suelos, crear mapas de aplicación y de tipos de suelo.

Sirve para realizar análisis profundos acerca de la calidad de las tierras así como consultar mapas de todo tipo para obtener información. Se puede importar datos de los Monitores de Rendimiento, para agregar a las capas información como por ejemplo elevaciones, fuentes de agua, etc.

Uno puede controlar la precisión de la información mostrada en los mapas, en cuanto a la información que estos nos muestran, sean Mapas de Rendimiento o test del suelo [47] [48].

FarmTracMate

Sistema portable para trabajar en el campo para mayor comodidad en el momento de realizar consultas. Debe estar integrado con FarmTrac.

Permite recolectar datos en el campo, para luego transmitirlos a un computador y utilizando FarmTrac recopilar la información. Esta información puede ser por ejemplo las horas trabajadas en el campo y los recursos utilizados [49].

FarmSiteMate

Este dispositivo portátil junto con GPS sirve para especificación de mapas, exploración, muestras de suelos. Permite crear fácilmente mapas de campos, caminos, etc. con sus límites geográficos.

Maneja áreas de interés como por ejemplo pozos de agua y zonas infestadas de insectos, y brinda las distancias entre los objetos o puntos necesarios.

Esta información es guardada en el formato que se le indique para que pueda ser compatible con otras aplicaciones de AP [49] [50].

Site Pro

Utilizando FarmTrac y FarmSite. Permite compartir la información con varios clientes a través de FarmSite. Es posible compartir testeos de suelos o Mapas de Rendimiento de varios clientes para que estos puedan tener mayor información a la hora de tomar decisiones. Este Software puede crear capas para un cliente en particular o compartir a todos con la información que tiene registrada. Al ser compatible con FarmSite, mantiene las funcionalidades de éste.

Agis

SIG donde se puede procesar de todo tipo de información de AP con una gran flexibilidad en término de datos geográficos, resolución, tipo y rango de datos. Los datos pueden ser ingresados en forma de archivo de texto, o importados desde otras aplicaciones de información geográfica [51].

GeoDa

Software libre y amigable [12]. Sirve como introducción gráfica al análisis espacial para no especialistas en SIG.

Los objetivos de esta aplicación van desde proveer un camino empírico al análisis de datos espaciales a través de mapas y geovisualización a la regresión espacial, pasando por el análisis del auto correlación espacial.

La última versión de este programa cuenta con funcionalidades como cartografía y visualización 3D [12].

Hibrid-Maize

Simulador del desarrollo de plantaciones y de su crecimiento, con o sin la influencia de otros factores, como el tiempo o los nutrientes.

Según el potencial de cosecha y las limitaciones del agua puede simular el desarrollo y crecimiento de una plantación de maíz. Se puede hacer un seguimiento día a día de la simulación. Para realizarla, es posible ingresar una gran cantidad de datos, como por ejemplo la radiación solar, temperatura máxima y mínima, lluvias, profundidad de la semilla y densidad de la plantación [13].

DSSAT

Software que combina base de datos de cultivos, suelos y estados del clima, junto con aplicaciones que manejan toda esta información y modelos de cultivos, para simular estrategias de administración de cultivos en Agricultura [56], las cuales permite comparar con resultados reales si así se desea.

Integrando los efectos del suelo, los cultivos y el clima, permite al usuario cuestionarse que pasaría si se realiza cierta acción y obtener una respuesta que de otra manera sería solo posible en la práctica.

Contiene 27 tipos de cultivos, basado en el Cropping System Model. Brinda módulos de tierra para simular el balance de agua, Nitrógeno y Carbono en él.

Además de esto, provee la posibilidad de poder ingresar, analizar y generar diferentes climas y tiempo (climático), representado mediante sistemas gráficos detallados [14] [56].

Para las simulaciones, necesita que se ingresen como mínimo los siguientes datos: datos del tiempo para la temporada de zafra (estación, radiación solar, máximo y mínimo de la temperatura, lluvias), datos del suelo (pendientes, porcentaje de arena, arcilla y otros componentes, carbono, pH, saturación de aluminio, abundancia de raíces) y datos del manejo que se piensa hacer en el experimento (fechas de plantación, densidad de esta, profundidad, practicas de fertilizantes) [56].

DSSAT cuenta con 8 módulos principales: modulo de tierras, de administración y manejo, de suelos, del tiempo (simula u obtiene el tiempo diario de la simulación), de la atmósfera (como interactúa la luz y el agua con los cultivos), y tres módulos para diferentes tipos de plantaciones, como son granos, soja, papas, etc.

ArcGIS

Es un conjunto de productos de SIG que juntos forman un completo SIG [43]. Está formado por los siguientes productos: Desktop GIS, Server GIS, Mobile GIS, Hosted GIS y ArcGIS OnLine.

Desktop GIS sirve para crear, editar, importar, consultar, analizar y publicar información geográfica. Este incluye ArcInfo, quien construye modelos de geoprocésamiento, análisis e integración de datos, ArcEditor nos brinda la posibilidad editar y manejar datos geográficos. ArcView es un software de SIG para visualizar, analizar, crear y manejar datos con un componente geográfico [43]. ArcReader permite ver, explorar e imprimir mapas.

Server GIS permite a los usuarios poder distribuir los mapas, modelos y herramientas con otros miembros de la organización. Sus componentes son ArcGIS Server, ArcGIS Explorer, ArcGIS Image Server, ArcIMS [43].

Mobile GIS permite realizar ciertas tareas de oficina en el mismo campo. Se puede capturar, guardar, modificar, analizar y mostrar información geográfica [43].

Comparación del Software

La Tabla 1.3.6.1 muestra un comparativo de los productos relevados de acuerdo a sus funcionalidades más relevantes.

	Procesar Mapas	Compatibilidad GPS	Trazabilidad del campo	Dispositivo Portátil	Información Económica
FarmSite	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			
FarmTrac	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>		
FarmFunds					<input checked="" type="checkbox"/>
FarmTracMate	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
FarmSiteMate	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	
Site Pro	<input checked="" type="checkbox"/>				
Agis	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			
Geoda	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			
Hibrid-Maize	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>		
DSSAT	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
ArcGIS	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

TABLA 1.3.6.1: COMPARATIVO DE LAS FUNCIONALIDADES DE LOS PRODUCTOS DE SOFTWARE RELEVADOS.

1.3.7 Percepción Remota

La Percepción Remota (PR) es un grupo de técnicas para recolectar información sobre un objeto o área sin tener que estar en contacto físico con él [30]. Los objetos o áreas estudiadas pueden encontrarse a metros o a miles de kilómetros del sensor que recolecta la información.

Tiene muchos usos, entre ellos el estudio del suelo agrícola y los cultivos. En los cultivos por ejemplo, es utilizada durante la estación de crecimiento, donde el contacto físico podría causarles daño, para obtener una información más oportuna logrando prevenir pérdidas y anticipando a los problemas que pueden surgir.

La PR implica la medición de la energía que es reflejada o emitida por los objetos, sin entrar en contacto con ellos [30]. Esta viaja en el espacio como ondas electromagnéticas. Solo una pequeña porción del espectro de éstas es de interés en la PR. El estudio de estas ondas y su interacción con los objetos se estudia en la espectroscopia.

Para objetos en la Tierra hay dos tipos básicos de opciones, los sistemas de percepción activa y los sistemas de percepción pasiva. Los primeros generan una señal, rebota en un objeto y miden las características de la señal reflejada. Los segundos reciben las señales emitidas naturalmente y reflejadas por los objetos percibidos. Son estos los de mayor valor para las aplicaciones de PR en la agricultura [30].

Para evaluar y comparar sistemas de PR se consideran algunas medidas. Algunas son: la resolución espacial, que nos dice el tamaño de la grilla, relacionado al tamaño del objeto más pequeño que puede ser distinguido por un sensor; la respuesta espectral, que refiere a la habilidad de un sistema de PR de responder a una medida de radiación dentro de una banda espectral en particular; la resolución espectral, que distingue y diferencia la radiación electromagnética de diferentes longitudes de onda y la frecuencia de cobertura, que nos indica la disponibilidad de un sistema de PR.

Antes las imágenes para los sistemas de PR se obtenían por fotos desde aviones o por imágenes de satélites. Ambas tomas tienen la ventaja de tener muy buena calidad y cantidad de detalles. Cuentan con algunas desventajas, por ejemplo, solo se pueden usar durante el día y hay momentos que no están disponibles (cuando está nublado). Hoy en día se utilizan sensores electro-ópticos ubicados en satélites, que crean una señal eléctrica proporcional a la cantidad de energía electromagnética que reciben [30]. Se guardan éstas de manera digital en un sistema de computación o electrónico adicional, para luego ser reconstruidos en una imagen.

La PR utiliza la extrapolación. Con ésta se pueden analizar grandes áreas utilizando solo las imágenes del sistema, si ya se han sacado deducciones, relacionando los datos del sensor con análisis de medidas del suelo.

Lo primero que se hace en PR es recoger los datos. Esto es brindado por alguna compañía con este servicio, que es contratada por el agricultor de acuerdo a sus características, y a la cual deberá explicar para que y donde quiere los datos. Estos datos luego son procesados para corregir errores y distorsiones en las imágenes. Estas distorsiones pueden ser provocadas por la rotación y curvatura de la Tierra, el movimiento de los satélites o aviones, así como efectos de elevación de la superficie. Las técnicas utilizadas son corrección radiométrica y corrección geométrica. Luego de la rectificación y corrección de datos, estos se pueden comenzar a analizar. La verificación de los datos implica la investigación en el terreno de las condiciones en los sitios que van a ser, o han sido percibidos remotamente con el fin de interpretar correctamente la imagen [30]. Esta verificación de campo debe ser hecha aproximadamente al mismo tiempo con la obtención de los datos de PR, ya que si no estos pueden perder su validez. Dicha validez se realiza a través de un SIG, para examinar la relación entre las capas de datos georreferenciados dentro de un lote, y luego poder tomar decisiones acerca de la información obtenida, clasificarla y rectificarla. Con esto, el agricultor es capaz de poder tomar decisiones que beneficien la producción.

1.3.8 Zonas de Manejo

Tradicionalmente la determinación de la aplicación de insumos en una parcela se realizó guiándose en la intuición y experiencia del agricultor, sin embargo la investigación ha mostrado la importancia de tomar en consideración otros factores [4].

El concepto de Zonas de Manejo es el de dividir el suelo en diferentes áreas más pequeñas de acuerdo a la variabilidad de los factores limitantes del suelo de forma que se pueda tratar a cada Zona de Manejo de forma uniforme. Los atributos de terreno como ser: elevación, pendiente, área cuenca, etc. tienen gran influencia sobre algunas propiedades de los suelos por el simple hecho que la topografía es uno de los cinco factores de formación de suelos [1]. El resto de la variabilidad en el rendimiento está dada por factores variables (no propios del terreno) como ser: en disponibilidad de nutrientes, presión de plagas y manejos previos de chacra, radicación solar, etc. Es importante destacar que las Zonas de Manejo no necesariamente son las mismas para diferentes cultivos, años o manejos generales de la chacra.

Desde este punto de vista, el objetivo central de la AP es entonces, la obtención de Zonas de Manejo definidas por sus factores limitantes del rendimiento, para ser manejadas de acuerdo a sus propiedades intrínsecas [1]. En los casos que exista más de un factor limitante se deberá encontrar y elegir los más dominantes que limitan el rendimiento. Para esto, se utilizan procedimientos estadísticos de análisis de regresión o CART [76]. Una vez que están determinadas las variables o factores que tienen más influencia en la variabilidad se procede a definir las Zonas de Manejo según esas variables. Para esto es posible utilizar la técnica de Análisis de Clusters como lo que utiliza el software “Analizador de Zonas de Manejo” (MZA) [5] que está basado en el procedimiento de análisis de clúster no supervisado de medias k difusas [5].

Según [1], los principales requerimientos que las Zonas de Manejo deben cumplir para ser consideradas como tales son: a) las diferencias de rendimientos entre Zonas de Manejo debe ser mayor que las diferencias dentro de la zona; y b) los factores limitantes de rendimiento dentro de la zona deben ser los mismos.

La aparición de los SIG y los GPS ha permitido avanzar bastante en la implementación de este concepto aunque el verdadero desafío se encuentra en el desarrollo de metodologías prácticas en la delimitación de las zonas. Uno de los problemas más difíciles de determinar es la cantidad de Zonas de Manejo que tendrá una chacra.

Si no se utilizan métodos adecuados de evaluación, la eficiencia de una estrategia de Zona de Manejo puede no ser notada. Existen métodos básicos para evaluar la efectividad de una estrategia de Zona de Manejo [5]:

- Realizar una comparación con datos históricos.
- Utilizando Monitores de Rendimiento con DGPS pueden recolectar los datos a la hora de cosechar de dos estrategias de Zona de Manejo diferentes y comparar los Mapas de Rendimiento mediante el uso de un SIG.

El foco en Zonas de Manejo se encuentra en la investigación de dos puntos claves relacionados con la determinación de las zonas:

- El desarrollo de equipamiento con capacidad de procesar más cantidad de capas de datos.
- El desarrollo de procedimientos matemáticos para determinar patrones en los suelos y así determinar las Zonas de Manejo.

1.3.9 Análisis de Datos

Geoestadística

La utilización de los mapas ha sido tradicionalmente asociada a la ubicación de elementos en los mismos, sin embargo actualmente, mediante los SIG, el punto de vista ha variado hacia resolver problemáticas que surgen de intentar realizar asociaciones de tipo espacial [1].

Una vez que se ha tomado muestras es necesario determinar si los datos están autocorrelacionados, es decir, dado un punto de muestreo, que los valores de la variable en estudio tengan valores similares en puntos cercanos al mismo. Si los valores de la variable en estudio son similares en datos cercanos se dice que tienen correlación espacial positiva.

Cuando se está tratando con mapas de suelos por lo general esta continuidad existe. Por ejemplo las muestras de datos de elevación del terreno muestran valores similares en muestras tomadas cerca, es decir, no se tienen picos de variación para muestras contiguas.

Se han desarrollado índices para determinar si los datos se encuentran autocorrelacionados respecto a una variable, algunos ejemplos de estos son: Índice de Geary e Índice de Moran [1].

Por ejemplo, el índice de autocorrelación de Moran se calcula de la siguiente forma:

$$I = \frac{\frac{N}{S_0} \sum_i \sum_j W_{ij} Z_i Z_j}{\sum_i Z_i^2}$$

Donde Z_i es la desviación de la variable en estudio con respecto a la media, W_{ij} es una matriz de distancias donde la posición (i,j) marca la distancia entre i y j (En la mayoría de las aplicaciones resulta ser una matriz binaria donde la posición (i,j) es 1 si i es "vecino" de j y 0 en otro caso) y N es la cantidad de valores.

Una vez que se ha determinado el índice de autocorrelación, el siguiente paso es la aplicación de técnicas de interpolación para determinar los valores en los puntos donde no se han tomado muestras.

Si los datos presentan autocorrelación, muchos de los análisis estadísticos tradicionales no presentan validez ya que asumen que los valores de los datos son independientes entre sí. La Geoestadística por otra parte, utiliza los patrones geográficos de los datos para explicar de mejor forma su variabilidad [1].

Algunas de las técnicas de interpolación son:

- Nearest Neighbor
- IDW
- Modified Shepard's Method
- Radial Basis Function
- Natural Neighbor weighted
- Método de triangulación
- Método de curvatura mínima
- Regresión polinomial
- Variograma

Variograma

El Variograma es una descripción matemática de la relación entre la varianza entre pares de observaciones (puntos de datos) y la distancia que separa esos puntos (h) [1]. Permite analizar el comportamiento espacial de una variable sobre un área definida.

El proceso consiste en seleccionar el valor de h (lag), crear el Variograma empírico basándose en la muestra tomada y buscar un Variograma teórico que ajuste al empírico de forma de poder realizar interpolaciones.

La técnica más utilizada para realizar interpolaciones en Geoestadística es la de Kriging que es utilizada para determinar propiedades como niveles de elevación, niveles de nutrientes, o rendimientos de cultivos, de un conjunto de puntos vecinos.

Kriging

Es una técnica de interpolación cuyo objetivo es la de estimar el mejor valor de una función en un punto x dadas las evaluaciones de la función en los puntos x_1, x_2, \dots, x_n . La técnica trata de asignar pesos grandes a muestras que se encuentran cerca e inversamente cuando la distancia aumenta.

$$z(x) = \sum_{i=1}^{i=n} \lambda_i z(x_i)$$

Donde los coeficientes deben cumplir que

$$\sum_{i=1}^{i=n} \lambda_i = 1$$

para que el error tenga esperanza matemática nula.

Econometría Espacial

La Econometría es la parte de la ciencia económica que aplica las técnicas matemáticas y estadísticas a las teorías económicas, para su verificación y solución de los problemas económicos mediante modelos [1]. La econometría espacial está orientada hacia la estimación y la comprobación de hipótesis. Tiene en cuenta los efectos de la autocorrelación espacial y del grado en que las diferentes regiones afectan la magnitud de los coeficientes estimados en el modelo (heterocedasticidad).

Según [1] la econometría espacial se centra en cuatro áreas de interés:

- Especificación formal de efectos espaciales en modelos econométricos.
- La estimación de modelos que incorporan efectos espaciales.
- Los tests de especificación y de diagnóstico para detectar la presencia de efectos espaciales.
- La predicción espacial.

Los modelos de regresión estiman el valor de una variable aleatoria, como puede ser el rendimiento, frente los valores de una o más variables asociadas conocidas como pueden ser los valores de alguna propiedad del suelo. A continuación se detalla un modelo de regresión [1].

$$Y_i = a + B_1 X_i + B_2 X_i^2 + e_i$$

Donde Y_i es el valor de la variable aleatoria dependiente por cada punto i del Monitor de Rendimiento; a es el primer parámetro de la ecuación de regresión, que indica el valor de Y cuando $X = 0$; B_1 es el estimador lineal o pendiente de la línea de regresión; B_2 es el estimador cuadrático de la línea de regresión; X_i es el valor especificado de la variable independiente en el ensayo y e_i es el error de muestreo aleatorio en el ensayo u observación i .

Los rendimientos del cultivo se deben a una respuesta a los insumos que se aplican, a las características predeterminadas del sitio y a los factores climatológicos aleatorios. Nunca es posible incluir todas las variables relevantes de la respuesta del rendimiento de un cultivo en un modelo de regresión [1]. En [53] se presenta un ejemplo de uso de la econometría espacial para estimar la aplicación de Nitrógeno al maíz en Argentina, con el requerimiento de que se desean métodos que usen información barata y que tengan en cuenta los insumos y la variabilidad propios de Argentina. En este estudio para tomar las decisiones se tienen en cuenta los costos de aplicación de dosis variable por hectárea de forma de maximizar el beneficio neto.

1.4 Actualidad de la Agricultura de Precisión en el Mundo

En esta sección se presenta la actualidad de la AP en el Uruguay, en países de la región como ser Argentina y Brasil y en otras partes del mundo como EE.UU. y Australia.

1.4.1 En la Región

- Argentina

Durante la década del 90 se produjeron en el mundo avances tecnológicos que revolucionaron la agricultura favoreciendo su crecimiento. La introducción de tecnologías revolucionarias de alto impacto, en gran escala y a su vez el bajo costo de la tierra provocó un aumento productivo.

En Argentina se comenzó a difundir la AP a principios de 1996 en el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) Manfredi, Córdoba, con el lanzamiento de lo que actualmente es el Proyecto Nacional de Agricultura de Precisión. En 1996 se probaron las primeras unidades de Monitores de Rendimiento y se generó una adopción masiva del sistema de guía por GPS (banderillero satelital) con un rápido beneficio agronómico y económico.

Desde el inicio de la década del 90 hasta estos días, Argentina evolucionó en la producción de grano, en el cultivo de soja y paralelamente la escala promedio de las explotaciones aumentó. Se modificó el perfil del productor surgiendo así los gerentes agrícolas, productores que no poseen tierras y que producen el 65% de los granos en campos alquilados. Representan al 25 % de los productores y a su vez contratan las pulverizadoras, las sembradoras, las cosechadoras y el conocimiento (asesores).

El éxito de éstos nuevos productores se basó en la adopción de la tecnología de alto impacto productivo, con reducción de los costos, con un adelanto promedio de 3 años en relación al productor medio [8].

Hasta el 2001 el modelo funcionó en base a la escala sin mucha necesidad de productividad y eficiencia en el manejo, gracias al bajo costo de la tierra. En la actualidad se produjo un fuerte incremento del costo de la tierra, manifestado por el costo de los alquileres de los campos, elevando significativamente el punto de indiferencia económica a niveles que valorizan la productividad. Sólo se hacen rentables las explotaciones con rendimientos promedios superiores a la media nacional y eso se logra entre otras cosas con tecnología de información y un equipo de análisis y diagnóstico interdisciplinario [8] [9]. Esto redefine el sistema productivo hacia un manejo más preciso de todos los factores que inciden en el rendimiento y la sustentabilidad de las explotaciones, incrementando el uso de nuevas herramientas como las que involucra la AP.

En la actualidad, Argentina es uno de los países de mayor adopción en el Cono Sur de las herramientas de AP, junto con Brasil. Los productores argentinos se interesan en AP como una tecnología que les permite producir más eficientemente. Existen interrogantes con respecto a cuáles de las herramientas disponibles son de aplicación práctica en cada caso en particular y cuáles son más rentables.

El Proyecto Nacional de Agricultura de Precisión nombrado anteriormente tiene como una de sus actividades principales la extensión, dentro de la que se encuentran cursos para operarios de equipos de AP y cursos de capacitación para productores y profesionales en el uso de software SIG y herramientas de AP.

A su vez hay numerosas compañías que proveen servicios integrales de AP a los productores. El paquete de servicios incluye el relevamiento de suelos con GPS, mapas de elevación digital, medición de la compactación de suelo, muestreo de suelo georreferenciados, análisis de suelo, seguimiento del cultivo en forma georreferenciada, imágenes satelitales, creación de Zonas de Manejo de suelos, recomendaciones de fertilización y mapeo de suelos.

La Tabla 1.4.1.1 muestra la adopción de dichas herramientas en los últimos años en Argentina [1].

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Monitores de rendimiento con GPS	25	75	155	270	400	420	600	850	1300
Monitores de rendimiento sin GPS	25	125	145	180	160	160	250	350	200
Monitores de rendimiento TOTAL	50	200	300	450	560	560	850	1200	1500
Dosis variable (DV) en sembradoras	1	2	3	4	5	5	7	8	20
DV en camiones fertilizadores (Terra-Gator)	2	2	2	2	6	6	6	6	7
DV en incorporadoras de urea	0	0	0	0	0	0	4	4	30
DV en espaciadoras de urea al voleo	0	0	0	0	0	0	0	10	20
DV de incorporadoras de UAN	0	0	0	0	1	2	3	3	3
DV de UAN en pulverizadoras autopropulsadas	0	0	0	0	0	0	5	9	60
Fertilización con dosis variable (DV), TOTAL	3	4	5	6	12	14	25	40	120
Banderilleros satelitales en aviones	35	60	100	160	200	230	300	450	470
Banderilleros satelitales en pulverizadoras	0	10	70	200	400	500	2000	3000	4000
Pilotos automáticos en tractores	0	0	0	0	0	0	0	3	20
Banderilleros satelitales, TOTAL	35	70	70	360	600	730	2300	3453	4490
Sensores de N en tiempo real	0	0	2	2	4	5	6	7	7

TABLA 1.4.1.1: ADOPCIÓN DE HERRAMIENTAS DE AP EN ARGENTINA. FUENTE [1].

Las tecnologías más adoptadas son los Monitores de Rendimiento, los banderilleros satelitales y las imágenes satelitales, ya que son herramientas que muestran beneficios inmediatos.

La adopción del Monitor de Rendimiento requiere regulaciones específicas a las condiciones locales de cosecha ya que por ejemplo, como no hay heladas fuertes al momento de la cosecha que maten completamente la planta, las malezas, el tallo y la paja del cultivo suelen estar más húmedos, lo que puede manchar el grano con verdín, o ensuciar la placa de impacto del sensor de rendimiento.

Los Monitores de Rendimiento se usan como una herramienta para diagnosticar problemas de malezas, plagas, enfermedades, napas de agua subterránea, fertilidad, salinidad y diferencias en sistemas de labranza, por lo que es una herramienta de ayuda para la toma de decisiones en la gestión de la empresa agropecuaria.

Argentina se ubica en el segundo lugar del mundo respecto a la adopción de Monitores de Rendimiento, está solo después de EE.UU. Respecto al número de monitores por millón de hectáreas por país, se ubica en quinto lugar, después de EE.UU., Dinamarca, Suecia y Gran Bretaña [1].

La rápida adopción de banderilleros satelitales se debió a que son pocas las pulverizadoras autopropulsadas que cuentan con marcadores de espuma. La mayoría continúa usando dos personas con banderas (banderilleros) en ambos extremos del lote. El uso del sistema de guía por GPS permite reducir el riesgo de intoxicación ligado a esta actividad y el costo de la mano de obra.

Los sensores remotos se están utilizando cada vez más para obtener exenciones impositivas en caso de inundaciones, para que los grandes productores determinen la calidad de la tierra y el riesgo de inundación antes de alquilar o comprar y para establecer zonas de manejo por aptitud de suelos, índices verdes o topografía por parte de los ingenieros agrónomos.

Las imágenes satelitales son una importante fuente de información porque hay una falta de información cartográfica detallada, las imágenes de las cámaras multiespectrales son muy caras y las fotografías aéreas en blanco y negro (pancromáticas) que se disponen están desactualizadas porque se tomaron a fines de los años 1960 y comienzo de los 1970.

Se han comercializado pocas sembradoras y fertilizadoras con la capacidad de realizar densidad de siembra variable o dosis variable de fertilizante ya que la dosis variable no ha sido muy adoptada, principalmente porque no se cuenta con toda la información necesaria para realizar prescripciones por Zonas de Manejo.

La novedad en el mercado es el lanzamiento de los sistemas de guía automatizados, que consisten en equipos que permiten que el implemento siga una trayectoria predeterminada, sin la intervención del operario. El operario trabaja únicamente para girar la máquina en las cabeceras.

Uno de los sistemas es el Piloto Automático o autoguía de la empresa Trimble, introducido al país por la firma D&E en Marzo del 2004. Automatiza el direccionamiento de un equipo agrícola, permitiendo un trabajo más cualificado. El operador trabaja con precisión de noche y en condiciones de baja visibilidad, por más tiempo y con menos desgaste físico. También le permite al operador trabajar en campos con curvas de nivel y ayuda a reducir la superposición y las zonas sin aplicar. Ha sido probado exitosamente en tractores y pulverizadoras autopropulsadas.

En Marzo de 2005 se introdujo al país otro de los sistemas de guía automatizados, el Volante Automático (EZ Steer), también de la empresa Trimble, y en el 2006 el de la empresa John Deere. Este motor eléctrico por medio de un accionador hace girar al volante de la maquinaria que va a ser guiada (pulverizadora, cosechadoras, tractores, etc.).

Con respecto al software de SIG el más usado por los productores y por los asesores es el FarmWorks que está disponible en español y tiene un precio accesible. La mayoría de los investigadores utilizan ArcView de ESRI [43].

En la actualidad, la AP en Argentina posee todas las herramientas que se encuentran disponibles para el resto del mundo, GPS, Monitor de Rendimiento, Software, Monitores de Siembra, equipamiento para la aplicación de semilla y fertilizante, dosis variable, banderilleros satelitales, sensores remotos (como fotografía aérea e imágenes satelitales), sistemas registradores de actividades que se realizan en el campo por cualquier maquinaria (sembradora, pulverizadora, cosechadora, etc.), sistemas de guía automatizados, NIRS sensores en tiempo real de proteína en grano (se mide en la noria de la cosechadora) y N sensor (se basa en sensores que leen biomasa e índice verde del cultivo y tienen la posibilidad de hacer la aplicación variable de fertilizante nitrogenado a medida que atraviesa la variabilidad).

Hoy los lotes o ambientes de manejo están definidos por coordenadas GPS y no por un alambrado o camino como se hacía en la Agricultura Convencional.

- Brasil

En Brasil, la adopción de la AP está creciendo rápidamente, otorgando importantes resultados económicos y modificando la manera en que el productor trabaja su propiedad. Se orienta principalmente a los cultivos de cereales, como por ejemplo trigo, soja y maíz y a la producción de café y de naranjas [27] [29].

En el mercado se encuentran disponibles un gran número de Software de SIG aplicados a la agricultura, a la agroindustria y a la preservación medioambiental que han sido desarrollados tanto por compañías privadas y por universidades.

En las páginas Web locales ya se dispone de un gran número de información para agricultores, empresarios y administradores que apoya a la toma de decisiones, a la administración de la producción y a la comercialización agrícola [27].

Algunas de las herramientas utilizadas son: GPS, monitores de rendimiento, software, equipamiento para la aplicación de semilla y fertilizante, dosis variable, sensores remotos (como fotografía aérea e imágenes satelitales), sembradoras, pulverizadoras y cosechadoras.

La primera reunión técnica sobre AP en el país se realizó en 1996. En 2004 se realizó el primer Congreso Brasileño de AP, siendo un evento no solo de carácter científico para atraer a todos los usuarios de AP, técnicos, consultores, a los que brindan los productos y servicios y principalmente los agricultores [28].

Existe un programa de incentivos del gobierno para aumentar la adopción de la AP. Ofrece asistencia técnica a los productores rurales, agroindustrias, cooperativas y entidades, otorgándoles nuevos conocimientos e información de tecnologías para el sector [27].

Es relativamente reciente el proceso de incorporación de nuevas tecnologías a la realidad rural, sin embargo varios expertos señalan el riesgo en el rumbo del cambio que se está dando debido a que aumenta y refuerza las desigualdades existentes actualmente en el campo. Por lo general un número pequeño de productores, los que disponen de mayor capital, son los que tienen acceso a las fuentes de información más seguras, usan las nuevas tecnologías para la toma de decisiones y cuentan con personal que posee mayor formación académica y profesional. Por otro lado, los que disponen de un capital menor, en general toman sus decisiones basándose en experiencias anteriores o en informaciones de fuentes poco precisas. Entonces la incorporación de las nuevas tecnologías puede derivar a la eliminación paulatina de los productores que no sean competitivos. Algunos investigadores están buscando mecanismos de viabilidad para el acceso y aplicación de esas tecnologías para todos los productores rurales en Brasil [27].

- Uruguay

Actualmente en el Uruguay se está utilizando AP en un nivel muy bajo, como una tecnología emergente. La están utilizando algunos productores de soja y de trigo en el litoral sur y algunas empresas arroceras [7].

La adopción es muy lenta y se da en paralelo con el proceso de investigación, lo que permite que los investigadores trabajen juntos con los técnicos de campo y productores, produciendo un uso más eficiente de la AP [7].

El Uruguay tiene como gran referencia de AP a Argentina, país en el cual la AP tiene una adopción masiva ya que varios de los actores que trabajan en la agricultura uruguaya son argentinos. El aumento en el tamaño y la calidad de la maquinaria agrícola junto con la incorporación de técnicos especializados argentinos contribuyen a un proceso de transformación de la agricultura uruguaya muy importante.

Las herramientas de AP más difundidas a nivel comercial son GPS, Monitores de Rendimiento y los SIG para el manejo y análisis de la información [6].

Esta tecnología está siendo introducida y promovida en el país, principalmente por agentes representantes de equipos agrícolas que traen como accesorios dichas herramientas.

En el país existen dos cámaras. Una es la Cámara de Importadores de Tractores y Maquinaria Agrícola (CITRAMA), que ingresa maquinaria (tractores, trilladoras, cosechadoras, etc.) de última tecnología y de marcas reconocidas a nivel mundial (por ejemplo: John Deere, Massey Ferguson, Ford, Valmet). Otra es ASIFAMA que comercializa todos los implementos que necesitan las distintas maquinarias agrícolas.

Últimamente se ha reducido el número de personas que se necesitan para manejar cada hectárea de campo. Hace unos años 20 personas manejaban una hectárea, hoy es posible para una persona manejar entre 50 y 100 hectáreas, todo con una metodología nueva que ha reducido la cantidad de mano de obra [22].

Lo que más se utiliza de la AP es la realización de la cosecha con Monitores de Rendimiento. Se están haciendo los primeros Mapas de Rendimiento y todo lo relativo al manejo de sitio específico está recién en sus comienzos.

Uno de los factores limitantes para la adopción de la AP es que esta tecnología no es barata y es una inversión que no tiene un retorno rápido, entonces muchas veces el productor no quiere correr ese riesgo. Otro factor limitante es que se necesita personal más especializado y según [7], se debería comenzar a capacitar a nivel de las escuelas agrarias.

Uno de los factores que incentivan la adopción de AP es que hoy se trabaja mucho sobre tierra arrendada o sobre campos nuevos donde el agricultor que lo va a trabajar no cuenta con los datos históricos de rendimiento de cada zona de ese campo. Esto, de alguna forma, lleva al agricultor a buscar técnicas que le permitan obtener una ventaja productiva sobre campos.

Además actualmente se está dando un crecimiento del área agrícola, donde este año se sembraron en el país 1.000.000 de hectáreas [24].

Los técnicos extensionistas y los productores poseen un gran interés sobre AP y un importante grado de confusión sobre el alcance, aplicabilidad y utilidad de la tecnología [6].

El INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria) está formulando un proyecto llamado Aplicación de Técnicas de "Agricultura de Precisión" en la Agricultura de Granos de Uruguay contando con la colaboración y el apoyo de especialistas calificados en el tema con el fin de brindar información calificada e imparcial sobre la AP y evaluar en forma primaria la posible aplicabilidad y alcances de tal tecnología en nuestras condiciones de producción.

Por otra parte desde 1992 por iniciativa de la Asociación Rural de Soriano se realiza la principal feria de maquinaria agrícola del país, Expoactiva. Se realiza una vez al año y no se celebró entre los años 2000 y 2003 por el período de crisis. Concentra muestras de maquinaria agrícola, empresas relacionadas con el sector, como financieras, de productos químicos, seguros, e incluso se extiende también por el sector ganadero [23].

1.4.2 En el resto del Mundo

- EE.UU.

EE.UU. es uno de los países pioneros en el tema de la AP. Una gran cantidad de empresas de agrobiznes y grandes productores han adoptado la AP, aunque el proceso ha sido más lento y desigual de lo esperado, similar a la adopción de la mecanización agraria motorizada, que tomó unos 50 años en implementarse [32].

Las investigaciones de AP comenzaron en este país, Australia, Canadá y Europa Occidental a mediados de los años 80. La mayoría de las experiencias en EE.UU. estaban concentradas en Dosis Variable de fertilizantes y herbicidas, pero en los últimos tiempos se han desarrollado diversos tipos de tecnologías de AP. Por ejemplo en California se están evaluando las tecnologías para la producción de arroz y tomate de manera muy intensiva y en Louisiana estudios sobre el efecto de varias propiedades del suelo en el algodón.

EE.UU. y Canadá son los países en donde más se está utilizando la Dosis Variable, ya que el costo de muestreo y análisis de suelo es bastante elevado [32]. Para el año 2001 gracias a una encuesta, se mostró que los servicios de aplicación con dosis variable se estaban estabilizando, mientras que se llegó al 42% de uso del banderillero satelital, casi 8 veces más que en 1999, sobre todo en el cinturón maicero (Illinois, Indiana, Iowa, Minnesota, Missouri, Nebraska y Ohio) de EE.UU. [11].

Como en otros países, la AP es utilizada sobre todo por productores que cuentan con parcelas de tamaño superior al promedio de sus países, aunque estos solo la utilizaron en una pequeña proporción de sus campos [11] [32]. En cuanto a la edad de los productores que la utilizan, es en general gente joven, ya que los mayores son más reticentes a invertir el tiempo necesario para aprender nuevas tecnologías.

Las prácticas agrarias que más se utilizan son tareas realizadas por el propio productor, pero también se realizan tareas contratando servicios que brindan empresas en determinados rubros. Hoy en día la experiencia de quienes utilizan AP es en promedio alrededor de entre seis a ocho años.

La Tabla 1.4.2.1 muestra una tabla con las prácticas en AP utilizadas en EE.UU. [32].

Practica[%]	E.E.U.U
Recolección de Información	
Muestreo de Rejilla del suelo	50
Muestreo directo del suelo	39
Monitorización del rendimiento(no GPS)	29
Mapa de rendimiento (GPS)	76
Fotografías aéreas	40
Senseo remoto	19
Monitorización de plagas con GPS	3
Mapa de conductividad del suelo	6
Mapa fotográfico del suelo	22
Mapa convencional del suelo	
Media	32
Acciones	
Aplicación variable de fertilizante	47
Aplicación variable de cal	26
Aplicación variable de pesticidas	3
Media	25
Otros	14

TABLA 1.4.2.1: PORCENTAJE DE USO DE AP EN EE.UU. FUENTE [32].

Se puede observar que el muestreo directo del suelo, junto con los Mapas de Rendimiento son las prácticas que más popularidad han ganado en los últimos tiempos.

Los productores de EE.UU. se encuentran muy optimistas en cuanto al incremento en la producción gracias a la AP, ya que la mayoría esperan un incremento en sus ganancias respecto a las hectáreas que poseen. La práctica que genera mayor expectativa es la aplicación de TDV, seguida de los Mapas de Rendimiento [32].

- Australia

La agricultura australiana es predominantemente una actividad extensiva. Ocupa grandes áreas sobre las que los productores tienen control limitado [16].

Tradicionalmente los productores han manejado poca información en lo que refiere a cantidad y calidad de producción o impacto sobre el ambiente. A comienzos de los 90 se comenzó a introducir nuevas tecnologías que permitieron en la producción agrícola incrementar la información y el control de operaciones.

En Australia la división de tierras agrícolas es realizada por catastro, no por lineamiento bio-físico, es decir, no teniendo en cuenta las diferentes características del suelo, lo que genera que dentro de un mismo lote haya variabilidad con respecto a los componentes de éste, y por más que se trate de amortiguar esta variación, siempre hay parte de esta que no es descubierta.

La incertidumbre es algo a lo que se deben enfrentar los tomadores de decisiones, por lo tanto es fundamental poder minimizarla a la hora de obtener resultados. Las tecnologías de información y el control son la solución técnica a esta incertidumbre. En Australia se utilizan varias de estas tecnologías como ser: el DGPS que es utilizado como corrección diferencial provista por empresas vía satélite y los SIG que al principio eran utilizados en la agricultura para estudios regionales y a fines de los 90 se empezaron a usar para resolver problemas en el manejo de lotes. La venta de Monitores de Rendimiento ha crecido exponencialmente a finales de los 90.

A finales de los 90 todavía se presentaban obstáculos en la adopción de estas tecnologías, debido a la falta de comprensión de datos espaciales, la incertidumbre en los productores sobre los beneficios que se obtienen, la capacidad de cambio de la industria y el soporte técnico que contaban. En general estas capacidades no estaban bien cubiertas [16].

Hoy en día se están realizando una gran cantidad de investigaciones en cuanto al desarrollo y mejora de la AP.

Las tecnologías que estudian el electromagnetismo de la Tierra se están convirtiendo en los rivales de las tecnologías de mapeo de producción en cuanto al icono de la AP [31]. Con esta información es posible extraer información que antes no era posible. Se está desarrollando una herramienta llamada EM38 que permite usar el electromagnetismo para recabar información.

A través del estudio de la arcilla en el suelo, así como también el volumen explorado por las raíces, es posible determinar variaciones espaciales y temporales del cultivo en el ambiente australiano. Con EM38 es posible analizar la arcilla en el suelo, pero no es posible un estudio de las raíces. Por lo tanto se está estudiando la posibilidad de utilizando estas herramientas, lograr profundizar en el estudio de ambas informaciones, importantes a la hora de tomar decisiones.

Como en todo el mundo, la información es una necesidad económica en cualquier área productiva. Se está tratando de aprovechar al máximo, realizando investigaciones y enseñando como usar las técnicas ya desarrolladas, creando un marco de trabajo que permita que los agricultores logren obtener los resultados esperados.

1.5 Conclusiones

La AP le ofrece al agricultor la oportunidad de realizar un manejo más eficiente de la chacra obteniendo mayores beneficios económicos. Por otro lado, además de los beneficios económicos, la adopción de AP contribuye en la preservación del ambiente impulsando un uso sostenible de los suelos en el tiempo.

La AP ha ido evolucionando con el correr de los años, con el aumento del conocimiento de los investigadores en el área, de los técnicos y, con la incorporación y mejora de técnicas y tecnologías. En cambio la adopción de la AP por el agricultor se está dando lentamente. No todos los agricultores poseen el capital necesario para acceder a las nuevas tecnologías que brinda la AP. También está presente que algunos agricultores se resisten a los cambios. A su vez para gran parte de los agricultores la AP es un área que está comenzando a conocer o que desconoce. Informar al agricultor de los beneficios de la AP es fundamental para aumentar su adopción.

1.6 Referencias

- [1] Rodolfo Bongiovanni, Evandro C. Montovani, Stanley Best, Álvaro Roel, *Agricultura de precisión: integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable*, ISBN 92-9039-741-1, Montevideo: PROCISUR/IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura) 2006.
- [2] ACPA, *PRECISION AGRICULTURE An Introduction to Concepts, Analysis and Interpretation*, University of Sydney, http://www.usyd.edu.au/su/agric/acpa/GRDC/ACPA_Intro_workshop.pdf, accedida el 10 de Abril de 2007.
- [3] Ing. Agr. (Ph.D.) Jose Terra, *Zonas de Manejo*, INIA., www.inia.org.uy, 2004.
- [4] Ing. Agr. M. Sc. Mario Bragachini, Ing. Agr. Andrés Méndez, Ing. Agr. Fernando Scaramuzza, *Calibración de Monitores de rendimiento*, Información para la Prensa N° 6/2005, Proyecto Agricultura de Precisión - INTA Manfredi, <http://www.agriculturadeprecision.org>, accedida el 11 de Abril de 2007.
- [5] Dr. Thomas A. Doerge, *Site Specific Management Guidelines*, Potash & Phosphate Institute.
- [6] INIA, Fondo de Promoción de Tecnología Agropecuaria, *Aplicación de Técnicas de "Agricultura de Precisión" en la Agricultura de Granos de Uruguay*, <http://www.inia.org.uy/online/site/6070211.php>, accedida el 13 de Abril de 2007.
- [7] La Agricultura de Precisión gana terreno en Uruguay, entrevista realizada por Emiliano Cotelo al Ing. Jorge Sawchick para Radio Espectador el 12 de Septiembre de 2006, <http://www.espectador.com/dyn/mediaNode/go.php?SID=&id=78063>, accedida el 12 de Abril de 2007.
- [8] Ing. Agr. M. Sc. Mario Bragachini, Ing. Agr. Andrés Méndez, *Agricultura de Precisión: Protagonismo en la próxima década*, Proyecto Agricultura de Precisión, INTA Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Manfredi, 2003.
- [9] Ing. Agr. M. Sc. Mario Bragachini, *Agricultura de Precisión en Argentina*, 5to Curso de Agricultura de Precisión, Hacia una Agricultura Sustentable, INTA EEA Manfredi, Julio 2004.
- [10] Ing. Agr. M. Sc. Mario Bragachini, Ing. Agr. Andrés Méndez, Ing. Agr. Fernando Scaramuzza, *Agricultura de Precisión: Una realidad en el Campo Argentino*, Proyecto Agricultura de Precisión, INTA EEA Manfredi, 2005.
- [11] Jess L. DeBoer, *Visión a futuro de la aplicación de la agricultura de precisión*, Indiana, EE.UU., 2003.
- [12] Luc Anselin, Ibnu Syabri, Youngihn Kho, *GeoDa: An Introduction to Spatial Data Analysis*, Illinois, EE.UU., 2004.
- [13] Achim Dobermann, Haishun Yang, Daniel Walters, Kenneth Cassman, *Use of the Hybrid-Maize model to improve management decisions*, Nebraska, 2005.
- [14] Gerrit Hoogenboom, *DSSAT v4 Overview*, Hawaii, EE.UU. 2003.
- [15] Manfredi, *Curso introductorio al manejo de FarmWork*, INTA, Argentina, 2005.
- [16] Dr. Simon Cook, *Nuevas tecnologías en Australia, Documento Internet Agrícola*, 1998.
- [17] Farm Works sitio comercial, <http://www.farmworks.com>, accedida el 10 de Abril de 2007.
- [18] GPS, <http://en.wikipedia.org/wiki/Gps>, accedida el 20 de Abril de 2007.
- [19] Ing. Agr. Rodolfo Bongiovanni, *Rentabilidad de la Agricultura de Precisión*, Revista Agromercado, Enero 2004, <http://www.agriculturadeprecision.org/analecon/RentabilidadAgriculturaPrecision2004.pdf>, accedido el 20 de Abril de 2007.
- [20] Use of unsupervised clustering algorithms, http://mpac.missouri.edu/pubs/mngmt_zones.pdf, accedido el 21 de Abril de 2007.
- [21] *Local Indicators of Spatial Association*, http://en.wikipedia.org/wiki/Local_Indicators_of_Spatial_Association, accedida el 21 de Abril de 2007.
- [22] *Vuelve la Expoactiva*, entrevista realizada por Emiliano Cotelo al Ing. Agr. Walter Frisch para Radio Espectador el 14 de Abril de 2004, <http://www.espectador.com.uy/nota.php?idNota=16184>, accedida el 21 de Abril de 2007.
- [23] *Red de oficinas económicas y comerciales de España en el exterior. Uruguay*, http://www.oficinascomerciales.es/icex/cda/controller/pageOfecomes/0,5310,5280449_5282963_5286832_528420_UY,00.html, accedida el 21 de Abril de 2007.

- [24] *Expoactiva 2007. Viene con Novedades*, nota realizada por El País Agropecuario al Ing. Agr. Walter FRISCO el 28 de marzo de 2007, http://www.elpais.com.uy/Suple/Agropecuario/07/03/28/agrope_272973.asp, accedida el 21 de Abril de 2007
- [25] Jansle Vieira Rocha, El SIG en los contextos de planificación del medio físico y de las cuencas hidrográficas, capítulo 8, *Notas de clases dictadas en el II Curso Internacional de Aspectos Geológicos de Protección Ambiental, 2000*, ISBN 92-9089-073-8, Oficina Regional de Ciencia de la UNESCO para América Latina y el Caribe Oficina UNESCO Montevideo, 2002, <http://www.unesco.org.uy/geo/campinaspdf/8sig.pdf>, accedida el 21 de Abril de 2007.
- [26] ESRI, *SIG para alimentos y agricultura, Soluciones para la producción, el negocio agrícola y el gobierno*, <http://www.esri.com/library/brochures/pdfs/gis-sols-for-agriculture-spanish.pdf>, accedida el 21 de Abril de 2007.
- [27] Celso Locatel, Jeffer Chaparro, *Panorama de la Agricultura Informatizada en Brasil*, Scripta Nova, Revista electrónica de geografía y ciencias sociales, Universidad de Barcelona, 2004, <http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-170-17.htm>, accedida el 21 de Abril de 2007.
- [28] *Laboratório de automação agrícola da escola politécnica da USP*, Eventos, <http://www.pcs.usp.br/~laa/html/pagina.php?p=eventos&id=44> accedida el 21 de Abril de 2007.
- [29] *Modernização garante precisão à agricultura, Análise de resultados da colheita ajuda a planejar próxima safra*, 2005, http://www.link.estadao.com.br/index.cfm?id_conteudo=4409 accedida el 21 de Abril de 2007.
- [30] Axel von Martini, Mario Bragachini, Agustín Bianchini, Eduardo Martellotto, Andrés Méndez, *Percepción remota*, INTA, Manfredi, Argentina.
- [31] David Lamb, *10th Annual Symposium on Precision Agriculture Research & Application in Australasia*, Sydney, Australia, Agosto 2006.
- [32] Pablo Kreimer, *Las TICS en la Agricultura de Precisión*, Creditec, España, 2003.
- [33] Nidia Cerna de la Torre, *TIC en Agricultura*, <http://www.yachay.com.pe/especiales/agricultura/dos.htm>, accedida el 2 de Mayo de 2007.
- [34] Ana B. Bermejo Nieto, Juan M. Meneses Chaus, *Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en Agricultura*, Universidad Politécnica de Madrid, CEDITEC, 2004, http://www.ceditec.etsit.upm.es/Informes_globales/ceditec_agricultura.pdf, accedida el 2 de Mayo de 2007.
- [35] Graciela Moguillansky, *La importancia de la tecnología de la información y la comunicación para las industrias de recursos naturales*, CEPAL, Naciones Unidas, Chile, 2005, <http://www.eclac.org/publicaciones/xml/9/23149/lc164.pdf>, accedida el 2 de Mayo de 2007.
- [36] La Sociedad de la Comunicación, Información y Conocimiento, <http://www.etic.bo/Capitulo1/TIC.htm>, accedida el 5 de Mayo de 2007.
- [37] Rodrigo Ortega B., Luis Flores M., *Agricultura de precisión: Introducción al manejo sitio-específico*, CRI Quilamapu INIA, Chillán, Chile, [http://www.ppi-ppic.org/ppiweb/iaarg.nsf/\\$webindex/5D873FF80154C1D603256AE900601605/\\$file/AgricPrecisionOrtega.pdf](http://www.ppi-ppic.org/ppiweb/iaarg.nsf/$webindex/5D873FF80154C1D603256AE900601605/$file/AgricPrecisionOrtega.pdf), accedida el 2 de Mayo de 2007.
- [38] Ing. Agr. (Ph.D.) Rodolfo Bongiovanni, *La Agricultura de Precisión en la Cosecha*, Proyecto Agricultura de Precisión, INTA Manfredi, Córdoba, Argentina, <http://www.inta.gov.ar/ediciones/idia/cereales/cereales04.pdf>, accedida el 2 de Mayo de 2007.
- [39] Fernando O. García, *Beneficios Potenciales del Uso de las Herramientas de Agricultura de Precisión en el Diagnóstico y Aplicación de Fertilizantes*, INPOFOS Cono Sur, Bs. As., Argentina, http://www.cipasla.org/material_divulgativo/beneficiospotencialesdelusodelasherramientasdeagric.pdf, accedida el 2 de Mayo de 2007.
- [40] Ing. Agr. M. Sc. Mario Bragachini Coordinador del Proyecto Agricultura de Precisión, Ing. Agr. Andrés Méndez, Ing. Agr. Fernando Scaramuzza, *Dosis Variable de Insumos en tiempo real – Equipamiento -*, Proyecto Agricultura de Precisión, INTA Manfredi, 2005, <http://www.agriculturadeprecision.org/mansit/DosisVariableInsumosTiempoReal.pdf>, accedida el 2 de Mayo de 2007.

- [41] Dr. Jess Lowenberg-DeBoer, *Agricultura de precisión en EE.UU. y potencial de adopción en los países en desarrollo*, <http://www.planetasoja.com/trabajos/trabajos800.php?id1=12787&publi=&idSec=8&id2=12795>, accedida el 2 de Mayo de 2007.
- [42] Ing Agr Mario Bragachini; Ing Agr Axel von Martini; Ing Agr Andrés Méndez, *Componentes de Agricultura de Precisión*, Proyecto Agricultura de Precisión INTA Manfredi, 2000.
- [43] ESRI, <http://www.esri.com>, accedida el 25 de Abril de 2007.
- [44] FarmWorks Software, <http://www.farmworks.com/?/products/farmtrac/index.html>, accedida el 3 de Mayo de 2007.
- [45] Soil Essential Farm Trac, <http://www.soilessentials.com/products/farmtrac.html>, accedida el 3 de Mayo de 2007.
- [46] Soil Essential Farm Fund, <http://www.soilessentials.com/products/farmfund.html>, accedida el 3 de Mayo de 2007.
- [47] Soil Essential Farm Site, <http://www.soilessentials.com/products/farmsite.html>, accedida el 3 de Mayo de 2007.
- [48] Proyecto Nacional Agricultura de Precisión, <http://www.agriculturadeprecision.org/soft/FarmWorksPrec.html>, accedida el 4 de Mayo de 2007.
- [49] FarmWorks Software, GuideMate, <http://www.farmworks.co.uk/software.php/guidemate/index.htm>, accedida el 4 de Mayo de 2007.
- [50] Farm Site Mate, <http://www.farmworks.com/products/sitemate>, accedida el 4 de Mayo de 2007.
- [51] Agis Info, <http://www.agismap.com/agisinfo.html>, accedida el 4 de Mayo de 2007.
- [52] Glosario de Agricultura, http://www.oksustainability.org/resources/glosario_de_agricultura.php, accedida el 6 de Mayo de 2007.
- [53] Rodolfo Bongiovanni, *Econometría Espacial: Una Herramienta Clave para el Manejo Sitio-Específico de Insumos*, Tercer Taller Internacional de Agricultura de Precisión del Cono Sur de América, [http://www.agriculturadeprecision.org/cursos/IIITallerInternacional/Bongiovanni%20\(INTA%20Manfredi\)%20Procisur%2017-19%20Dic%202002.pdf](http://www.agriculturadeprecision.org/cursos/IIITallerInternacional/Bongiovanni%20(INTA%20Manfredi)%20Procisur%2017-19%20Dic%202002.pdf), 2002.
- [54] PAG SStoolBox, <http://www.sstinfo.com/sstoolbox.html>, accedida el 5 de Mayo de 2007.
- [55] Andrés Esser C, Rodrigo Ortega B, Oscar Santibáñez P, *Nuevas Tecnologías para Mejorar la Eficiencia Productiva en Viñas*, Centro de Agricultura de Precisión, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Chile.
- [56] DSSAT-ICASA, http://www.icasa.net/about_us/index.html, accedida el 21 de Junio de 2007.
- [57] Georeferenciación, Wikipedia, <http://es.wikipedia.org/wiki/Georeferenciación>, accedida del 30 de marzo de 2008.

2 Anexo 2 – Estado Arte de Optimización

2.1 Abstract

Este Anexo describe el estudio del Estado del Arte en temas relacionados con Optimización y Programación Lineal en el marco del proyecto de Generación de Prescripciones para la Aplicación de Insumos en la Producción Agrícola. El objetivo del documento es presentar los conceptos más relevantes en la materia, así como los problemas y métodos de resolución. También tratamos de presentar algunos elementos que pueden ser relevantes para la resolución del problema en cuestión como ser modelos matemáticos conocidos y casos de aplicaciones prácticas de modelos en agricultura.

El documento está dividido de la siguiente forma: en la sección 2.2 se presentan los conceptos básicos relacionados con Optimización en general de forma de brindar una base para la lectura del resto del documento. En la sección 2.3 se presenta una definición y descripción de modelos matemáticos así como un breve detalle del proceso de modelado. La sección 2.4 describe los problemas más relevantes de Optimización como ser problemas de: Programación Lineal, Programación Lineal Entera, Programación Lineal Entera Mixta, Programación no Lineal, Programación Estocástica, Programación Dinámica y sus métodos de resolución como ser el Método Simplex. También presentamos otros métodos de resolución más generales como son los Métodos Heurísticos y Meta-heurísticos. La sección 2.5 detalla los diferentes productos de Software existentes para la resolución de problemas de Optimización con sus características más importantes. En la sección 2.6 presentamos varios modelos de problemas de Programación Lineal que nos sirven como referencia para nuestro problema. En la sección 2.7 presentamos algunos casos y aplicaciones prácticas donde se utilizaron modelos de Programación Lineal para optimizar problemas de producción en la rama de agricultura. La sección 2.8 contiene nuestras conclusiones del estudio del Estado del Arte de Optimización. Finalmente presentamos las referencias bibliográficas del documento.

Palabras Clave: Optimización, Programación Lineal, Modelos, Planificación de la Producción.

2.2 Optimización

2.2.1 Introducción

La Optimización, también llamada Programación Matemática, es una parte importante de la Investigación Operativa [6]. Muchas de sus técnicas son anteriores a 1960 [3] [4].

Consiste en la selección de una alternativa mejor, en algún sentido, que las demás alternativas posibles, para alcanzar un objetivo [3].

Para seleccionar esa alternativa, primero hay que probar y comparar. Para probar, se necesita una metodología que permita encontrar lo mejor con la mínima cantidad de ensayos considerando las alternativas disponibles; y para comparar, se necesita tener alguna forma de ponderar una solución dada [5].

*Maximizar*_{Alternativas} *Objetivo*

Sujeto a :

Alternativas ε posible, práctico

Los elementos que componen la solución del problema de Optimización son:

La alternativa óptima: es la alternativa que cumple con todas las Restricciones y que a la vez genera el valor máximo del objetivo [5].

El valor óptimo: es el valor que adopta el objetivo cuando se aplica la alternativa óptima [5].

Los Modelos [2] que representan problemas de Optimización son usados en casi todas las áreas de toma de decisiones, como en ingeniería de diseño y selección de carteras financieras de inversión, entre otros [4].

Los componentes de los Modelos de los problemas de Optimización son los siguientes:

- **Función Objetivo:** es una función matemática que se emplea para ponderar una solución. Es la medida cuantitativa del funcionamiento del sistema que se desea optimizar (maximizar o minimizar) [5] [3].
- **Variables:** representan las decisiones que se pueden tomar para afectar el valor de la Función Objetivo [3].
- **Restricciones:** representan el conjunto de relaciones (expresadas mediante ecuaciones e inecuaciones) que ciertas Variables están obligadas a satisfacer [3].

Resolver un problema de Optimización por lo general consiste en encontrar el valor que deben tomar las Variables para hacer óptima la Función Objetivo satisfaciendo el conjunto de Restricciones [3]. Ese valor que deben tomar las Variables se llama *Solución Óptima*. El valor que adopta la Función Objetivo cuando se le aplica la Solución Óptima es el *Valor Óptimo*.

Cualquier valor que tomen las Variables que satisfaga el conjunto de Restricciones se llama *Solución Factible*. La región que forma el conjunto de Restricciones se llama *Región Factible*.

Los Modelos de Programación Lineal [26] son muy utilizados ya que se aplican muchos problemas como ser: problemas de microeconomía, macroeconomía, finanzas, ingeniería química, forestal, agrónoma, comercio internacional y desarrollo económico [3].

Últimamente se han producido avances significativos en la materia. Debido en gran parte a la mejora en el rendimiento del hardware, hoy se pueden resolver problemas en segundos que hace un tiempo atrás hubieran demorado años [3].

2.3 Modelos

2.3.1 Introducción

Los problemas de Optimización se refieren a mejorar u optimizar algo. En general se tratan problemas de optimización de procesos productivos en los cuales se desea reducir costos, reducir tiempos o aumentar las ganancias.

Un Modelo es una representación de la realidad que captura su esencia [1]. Un Modelo solo captura ciertos aspectos de la realidad que se desea estudiar. Por ejemplo, la temperatura es un solo aspecto que se puede estudiar cuando se hace un Modelo del clima, pero también se podrían generar Modelos que estudien otros aspectos como ser presión atmosférica o humedad.

La Optimización matemática es una rama de la ciencia computacional que estudia la pregunta “¿Qué es lo mejor?” para problemas en los cuales la calidad de la respuesta puede ser expresada con valores numéricos [1]. Los Modelos matemáticos son muy utilizados en las ciencias naturales, física, biología, etc. pero también en las ciencias sociales como ser economía, política, ciencias políticas [2].

Un Modelo de Optimización matemática describe un sistema mediante una Función Objetivo, un conjunto de Restricciones expresadas en forma de ecuaciones o inecuaciones y un conjunto de Variables [1] [2]. La Función Objetivo y las Restricciones incluirán dos tipos de Variables, las Variables de Decisión, que son las que pueden ser modificadas para variar el resultado de la Función Objetivo y los parámetros, que son estáticos en el Modelo.

Es necesario definir un criterio que permita medir la performance o efectividad del sistema. En Modelos matemáticos este criterio lo define la Función Objetivo. Para modificar la calidad del Modelo en cuestión se puede elegir agregar o quitar Variables evaluando los resultados para cada conjunto de Variables. La evaluación se logra comparando los valores resultantes contra valores conocidos o intuitivos de la realidad.

Los Modelos matemáticos pueden ser clasificados de varias formas [2]:

Lineales o No Lineales: Las ecuaciones en un Modelo matemático son composiciones de variables, constantes y operadores (algebraicos, funciones, ecuaciones diferenciales). Un Modelo matemático se considera Lineal si la Función Objetivo así como el resto de las Restricciones son ecuaciones lineales. En cualquier otro caso se considera No Lineal.

Determinístico o Probabilístico: Un Modelo Determinístico es uno en el cual el valor de cada variable está determinado de forma única por los valores de los parámetros o de las variables de estado. Por otro lado en un Modelo Probabilístico (o Estocástico) los valores de las Variables no están dados por valores únicos sino por valores tomados en distribuciones de probabilidad.

Estático o Dinámico: Un Modelo Estático no toma en cuenta el tiempo mientras que uno Dinámico sí. Los Modelos Dinámicos por lo general son representados mediante ecuaciones diferenciales.

2.3.2 Proceso de modelado

En [1] se describe los pasos a seguir en el proceso de modelado:

Formulación Matemática del Problema: Entender el problema de manera de poder formular una descripción escrita del mismo. Posteriormente si esta descripción fue validada se procede a la creación de un Modelo Matemático que lo describa.

Encontrar una Solución Óptima: Identificar un algoritmo o método para su resolución.

Interpretación de la Solución Óptima: Una vez que se determinó el algoritmo o método de resolución, se seleccionan las herramientas de Software a utilizar. Una vez que la solución es encontrada, esta es presentada y analizada junto con un experto en el campo de estudio.

Análisis Post-Solución: Incluye tareas como actualizar el Modelo y revisar la Solución Óptima ya que el Modelo puede perder validez si la realidad cambia en el tiempo.

En la Figura 2.3.2.1 se muestra el proceso de modelado que incluye las tareas de descripción del problema, encontrar la solución y actualizar la solución.

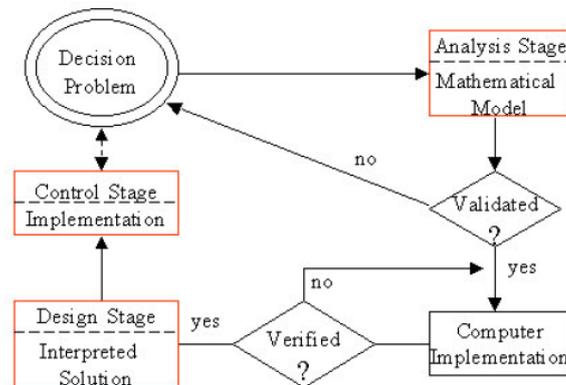


FIGURA 2.3.2.1: PROCESO DE MODELADO. FUENTE [1].

2.4 Problemas y Métodos de Optimización

Existen varios métodos para resolver los problemas de Optimización. Se utiliza uno u otro dependiendo de las particularidades del problema a resolver. En esta sección presentaremos los problemas más relevantes de Optimización como ser problemas de: Programación Lineal, Programación Lineal Entera, Programación Lineal Entera Mixta, Programación no Lineal, Programación Estocástica, Programación Dinámica y sus métodos de resolución como ser el Método Simplex. También presentamos otros métodos de resolución más generales como son los Métodos Heurísticos y Meta-heurísticos.

2.4.1 Programación Lineal

Introducción

La Programación Lineal (PL) fue utilizada por G. Monge en 1776, pero en realidad se considera a L. V. Kantoróvich uno de sus creadores que la presentó en 1939 y la desarrolló en 1942 [26].

Es una técnica determinista, no incluye probabilidades y utiliza un Modelo matemático para describir el problema [32].

Abarca los problemas de Optimización donde se tiene una Función Objetivo lineal (a ser maximizada o minimizada) y Restricciones lineales. En general se exige también la positividad de las Variables [6].

El conjunto de Soluciones Factibles es un conjunto poliédrico, en el cual los lados son las rectas asociadas a cada Restricción. Dicho conjunto puede ser acotado o no acotado. La Solución Óptima se encuentra siempre en un vértice de la Región Factible [26] [6].

Muchos clasifican el desarrollo de la PL entre los avances científicos más importantes de mediados del siglo XX [32]. Resuelve problemas muy grandes en poco tiempo de cálculo y con bajo consumo de recursos computacionales [6].

Se utiliza en campos como la ingeniería, la economía, la gestión, y muchas otras áreas de la ciencia, la técnica y la industria [27]. Se puede aplicar por ejemplo: en casi todas las facetas de los negocios, desde la publicidad hasta la planificación de la producción, en la asignación de instalaciones productivas a los productos, asignación de los recursos nacionales a las necesidades de un país, en la planeación agrícola, diseño de una terapia de radiación, problemas de distribución, de presupuestos de capital, diseño de dietas, conservación de recursos, juegos de estrategias, predicción de crecimiento económico y sistemas de transporte [32] [35].

Uno de los métodos más importantes para la resolución de los problemas de PL es el Método Simplex, desarrollado por G. B. Dantzig en 1947. Consiste en la utilización de un algoritmo para optimizar el valor de la Función Objetivo teniendo en cuenta las Restricciones planteadas [26].

En 1984 el matemático hindú Narendra Karmarkar, investigador de los laboratorios AT&T Bell [73], encontró un algoritmo que en ciertos casos es más rápido que el Método Simplex.

Dualidad

La Dualidad tiene su esencia en el hecho que existan dos Modelos lineales cuando se ha planteado sólo uno para resolver un problema específico [33]. El Modelo planteado inicialmente recibe el nombre de Modelo Primal.

Todo problema de PL, tiene otro problema de PL asociado llamado problema Dual con numerosas propiedades que los relacionan y permiten hacer un mejor análisis de los problemas [31] [32]. Cuando se obtiene la solución de uno, se está obteniendo también la solución del otro [33].

El Modelo Dual contiene una cantidad de Variables igual a la cantidad de Restricciones que existen en el Modelo Primal y contiene una cantidad de Restricciones igual a la cantidad de Variables que existen en el Modelo Primal.

El lado derecho de sus Restricciones está formado por los coeficientes de las Variables de la Función Objetivo del Modelo Primal. Además, el lado derecho de las Restricciones del Modelo Primal conforma los coeficientes de la Función Objetivo del Modelo Dual.

Los coeficientes de cada Restricción en el Modelo Dual corresponden a los coeficientes de cada Variable del Modelo Primal.

Finalmente, la Función Objetivo del Modelo Dual es el reverso de la Función Objetivo del Modelo Primal. Si en el Modelo Primal se maximiza, en el Dual se minimiza y viceversa [33].

Cualquiera de los dos brinda la misma información y el valor óptimo alcanzado es el mismo. [34].

Análisis de Sensibilidad

Es una parte importante de la PL, principalmente para la toma de decisiones [7]. Consiste en determinar cuál es el rango de variación de los parámetros de un problema de PL de modo que la Solución Óptima encontrada siga siendo óptima [31]. Su objetivo es identificar los parámetros sensibles, por ejemplo, los parámetros cuyos valores no pueden cambiar sin que cambie la Solución Óptima.

Los parámetros más importantes que se analizan son: los coeficientes de la Función Objetivo y los términos independientes de las Restricciones [7]. Los análisis se pueden hacer por medio del Método Gráfico [6] o del Método Simplex.

En muchos casos la información lograda por la aplicación del Análisis de Sensibilidad puede ser más importante y más informativa que el resultado obtenido en la Solución Óptima.

Cuando se analiza la sensibilidad de la solución debido a la modificación de un dato a la vez, asumiendo que todos los demás permanecen sin alteración alguna, se dice que la sensibilidad es estática. Cuando contempla el cambio de varios datos a la vez se dice que la sensibilidad es dinámica.

Métodos para la resolución de problemas de PL

- Método Simplex

Es el método predominante para la resolución de problemas de PL. Utiliza una estrategia "active set", lo que en este caso implica que se recorran las aristas de la Región Factible de vértice en vértice [6].

Es un procedimiento de cálculo algebraico, iterativo, para resolver Modelos lineales de cualquier tamaño [33]. Es un procedimiento sistemático y eficiente para encontrar y probar soluciones situadas en los vértices.

Exige que se haya formulado el problema en su Forma Standard, en cambio, la formulación más usual en el contexto teórico es la Forma Canónica. Cualquier problema de PL se puede formular tanto en Forma Canónica como en Forma Standard [6]. La Forma Standard es cuando sólo se tienen Restricciones de igualdad y además se exige la positividad de las Variables. A su vez el lado derecho de las Restricciones tiene valor positivo. En la Forma Canónica sólo se tienen Restricciones de desigualdad y condiciones de positividad de las Variables.

Para transformar las Restricciones en igualdades se deben incorporar Variables llamadas Variables de Holgura a cada Restricción del Modelo. Las mismas tienen coeficiente cero en la Función Objetivo. Expresan la diferencia entre el lado izquierdo y el lado derecho de las Restricciones. Al igual que las Variables de Decisión deben ser mayores o iguales a cero.

Debe existir una Variable Básica (variable que tiene coeficiente 1 positivo en una Restricción y no existe en las demás) en cada Restricción, lo que permite obtener una primera solución posible que satisface todas las Restricciones (Solución Básica Factible).

Cuando ninguna de las Variables cumple con la condición de ser básica, se resuelve un problema llamado Fase I para encontrar esa primera Solución Factible. Se incorpora una Variable para cumplir con el sistema canónico, llamada Variable Artificial. La misma debe tener incorporado un coeficiente muy alto en la Función Objetivo, con signo negativo en maximización y con signo positivo en minimización. Con esto se logra que el Método Simplex las elimine de la solución en las primeras iteraciones. Estas Variables deben valer cero en la Solución Óptima del Modelo [33].

En los pasos siguientes a partir de dicha Solución Básica, se aplica la segunda fase (Fase II), optimizando la Función Objetivo original [6].

El bosquejo del método es [32]:

Paso inicial: inicio en una Solución Factible en un vértice.

Paso iterativo: traslado a una mejor Solución Factible en un vértice adyacente (se repite este paso las veces que sea necesario).

Prueba de optimalidad: la Solución Factible en un vértice es óptima cuando ninguna de las soluciones en vértices adyacentes a ella sean mejores.

El Método Simplex es una solución algorítmica tabular. Cada tabla (de iteración) corresponde a un movimiento desde un Conjunto Básico de Variables (CBV) (puntos extremos ó esquinas) a otro, asegurándose que la Función Objetivo mejore en cada iteración hasta encontrar la Solución Óptima [35].

Considerando el problema a resolver en su Forma Estándar:

$$\begin{aligned} \text{Minimizar} \quad & Z = c^T x \\ \text{sujeto a:} \quad & Ax = b \\ & x \geq 0 \end{aligned}$$

donde la matriz A tiene dimensiones $m \times n$ con $n > m$ y sus filas son linealmente independientes [45]; la tabla inicial del método es de la siguiente forma:

B	N	0	b
c_B^T	c_N^T	1	0

B = coeficientes de las Variables Básicas (A_B)

N = coeficientes de las Variables no Básicas (A_N)

c_B^T = costos de las Variables Básicas

c_N^T = costos de las Variables no Básicas

El esquema del Método Simplex es [45]:

Dada una Solución Básica Factible con su tabla correspondiente

$$\text{Determinar } \bar{c}_k = \min_{j \in N} \bar{c}_j$$

$\bar{c}_k \geq 0$, Solución Básica actual es óptima, FIN

$\bar{c}_k < 0$, para algún k , x_k entra a la base

3 – Si $\bar{a}_{ik} \leq 0 \quad \forall i = 1, \dots, m$ el problema no tiene solución acotada, FIN

Si no, determinar $r = \min_{i=1, \dots, m} \left\{ \frac{\bar{b}_i}{\bar{a}_{ik}} \mid \bar{a}_{ik} > 0 \right\}$ x_{b_r} sale de la base

4 – Actualizar la tabla pivoteando sobre el elemento \bar{a}_{rk} .

Cambio de base listo, volver al paso 2.

Teóricamente la complejidad de este método crece de forma exponencial con el tamaño del problema, pero en la práctica tiene un comportamiento bueno.

El algoritmo es por lo general $O(\max(N, M))$, el número de iteraciones es factor del número de Variables (N) ó Restricciones (M) [35].

Este método es el Método Simplex Regular. Existen variaciones como el Simplex Revisado y numerosos refinamientos que se le han hecho en aplicaciones para computadora [33].

- Método Simplex Revisado

El Método Simplex original es un procedimiento algebraico directo. Durante su cálculo utiliza muchos valores los cuales finalmente no son relevantes en la toma de decisiones [32].

El Método Simplex Revisado tiene en cada iteración una parte de la tabla del Simplex ya que no es necesario tenerla completa. Calcula en cada iteración solo la información que necesita estrictamente en dicha iteración. A su vez, al igual que el Método Simplex, exige que se haya formulado el problema en su Forma Standard incorporando en caso de ser necesario Variables de Holgura [32].

Utiliza una notación de forma matricial para hallar la solución al problema:

$$\text{Maximizar } Z = cx$$

$$\text{sujeto a: } Ax \leq b$$

$$x \geq 0$$

En donde: c es el vector fila de costos, b es el vector columna de recursos, x es el vector columna de las variables de decisión y A es la matriz de coeficientes [32].

En vez de mantener toda la tabla del Método Simplex solo considera: los costos reducidos de las variables no básicas; la columna actualizada para la variable que entra a la base y el lado derecho actualizado [45].

\bar{a}_k	\bar{b}	B^{-1}
\bar{c}_k	$-\bar{Z}$	$-\pi^T$

\bar{c}_k = costos reducidos de las Variables no Básicas

\bar{a}_k = columna actualizada para la variable que entra a la base

\bar{b} = el lado derecho actualizado

B^{-1} = inverso de la base

π^T = multiplicadores del simplex para la base actual ($\pi^T = c_B^T A_B^{-1}$)

Lo único que se actualiza entre dos iteraciones es B^{-1} y π^T . No es necesario conocer desde el principio todas las columnas de la matriz A [45].

El esquema del Método Simplex Revisado es [45]:

1 - Dados B^{-1} , π^T , \bar{b} y \bar{Z} para la base factible actual

$$\bar{c}_k = \min_{k \in N} \bar{c}_k$$

2 - Determinar

$\bar{c}_k \geq 0$, Solución Básica actual es óptima, FIN

$\bar{c}_k < 0$, para algún k , x_k entra a la base

3 - Calcular la columna actualizada: $\bar{a}_k = B^{-1} a_k$

Si $\bar{a}_{ik} \leq 0 \quad \forall i = 1, \dots, m$ el problema no tiene solución acotada, FIN

Sino, determinar $r = \min_{1, \dots, m} \left\{ \frac{\bar{b}_i}{\bar{a}_{ik}} \mid \bar{a}_{ik} > 0 \right\}$ x_{b_r} sale de la base

4 - Actualizar B^{-1} , π^T , \bar{b} y \bar{Z} de acuerdo a la nueva base, pivoteando sobre el elemento \bar{a}_{rk} en la tabla del Simplex Revisado.

Poner $b_r = k$, volver al paso 2.

Por lo general la cantidad de columnas es mayor que la cantidad de filas de la matriz A por lo que es más rápido pivotar en la tabla de este método que en la del Método Simplex.

A su vez tiene menores tiempos de ejecución y menor necesidad de memoria ya que la matriz A es, en general una matriz dispersa y el método se saltea las multiplicaciones donde un factor es cero. Se almacenan solo los elementos de la matriz que no son ceros. En el Método Simplex la matriz actualizada se llena rápidamente de elementos distintos de cero [45].

Este método tiene mayor control sobre los errores numéricos que surgen, porque las computadoras realizan los cálculos con precisión finita. Trabaja con los datos originales directamente y además se puede ir controlando si la base actual satisface $B \cdot B^{-1}$ [45].

- Método del Elipsoide

El Método del Elipsoide fue desarrollado independientemente por Shor en el año 1970 y Yudin y Nemirovskii en el año 1976 para Programación Convexa No Diferenciable; o sea que la Programación No Lineal (Sección 2.4.3) es una de las raíces de este método [51] [52] [53].

En 1979 el ruso I. G. Khachian demostró que el Método del Elipsoide puede resolver problemas de PL rápidamente en un sentido teórico [51]. Es un algoritmo simple y de complejidad tipo polinómico, o sea que, en el peor caso, el número de iteraciones para resolver un problema de PL es proporcional a una potencia del tamaño del problema, lo que causó gran impacto [36] [52].

Este método es utilizado para la localización de una Solución Factible a un conjunto de desigualdades lineales dadas y para la solución de problemas de PL formados por un conjunto de desigualdades lineales y una Función Objetivo a maximizar o a minimizar [66].

El algoritmo para determinar una solución (en caso de existir), para resolver el problema de factibilidad de un conjunto dado de desigualdades lineales, consiste en ir reduciendo la Región Factible encerrándola en elipsoides de volúmenes decrecientes; analizando un conjunto abierto de desigualdades (S) [50] [67].

El algoritmo define una esfera con centro en el origen y radio suficientemente grande para abarcar un volumen grande de S cuando S no es vacío; si el centro de esta esfera está en S el algoritmo termina.

En caso contrario se construyen una serie de elipsoides que decrecen monótonamente en volumen, aunque todos contienen la región de S que fue capturada por la esfera inicial.

El resultado principal establece que si S es no vacío, entonces el centro de algún elipsoide estará en S en el transcurso de algún número de iteraciones acotado por encima por un polinomio en el tamaño del problema [67].

Jan Telgen (Países Bajos) realizó un estudio en el que en lugar de analizar el número de iteraciones por problema hace un análisis del número de operaciones por iteración. De los trabajos Telgen se desprende que este método es interesante solamente en problemas en los que el número de restricciones es mayor que el número de desigualdades (en ese caso puede ser más indicado la utilización del Método Simplex Dual) [50] [54] [67].

La idea no es que este método sea un competidor para el Método Simplex desde el punto de vista práctico, (en promedio ha resultado ser mucho más lento que el Método Simplex en la práctica), pero el fundamento teórico del Método del Elipsoide, hace que sea interesante para probar tiempo de solubilidad polinomial de muchos problemas de optimización geométrica y combinatoria [52].

Existen casos para los cuales el tiempo de ejecución esperado de una versión del Método Simplex es polinomial y mucho mejor que el tiempo de ejecución del Método del Elipsoide [52].

Usando simulación, se comprobó que el tiempo estimado de terminación del método es obtenido en casi todos los casos, no solo en el peor caso [36] [67]. Por lo tanto el método posee una deficiencia práctica importante. Últimamente, se le han encontrado algunas aplicaciones en problemas muy especializados [36].

Desde la aparición de este método, han surgido muchos algoritmos del tipo polinómico con características similares [36] [68].

- Métodos de Punto Interior

Un punto interior a un espacio de soluciones es aquel que cumple con las Restricciones de desigualdad aunque no cumpla con las Restricciones de igualdad [46].

Generalmente los problemas lineales se resuelven utilizando el Método Simplex. En sistemas de gran tamaño el número de vértices aumenta exponencialmente con el número de Variables, provocando que el proceso de búsqueda de la solución por medio del Método Simplex pueda requerir un gran tiempo de cómputo [47].

Los Métodos de Punto Interior surgen como una forma alternativa para resolver problemas lineales y no lineales con tiempo de solución de los problemas inferior [46] [47]. Son métodos iterativos que para la resolución de un problema evolucionan por el interior de la Región Factible, no como el Método Simplex [47] [48].

La idea del algoritmo es implementar, en el espacio original en el que se encuentra el polítopo (Región Factible), una serie de transformaciones en el mismo. El polítopo original es transformado en cada iteración en otro polítopo, en cada paso es transformado y se regresa a su forma original al final del paso.

Una vez dado el sistema y un punto inicial, se busca una manera de moverse en una dirección decreciente hacia el próximo punto, el cual debe ser factible e interior. Este proceso debe ser repetido hasta que no pueda haber mayor reducción en el valor de la Función Objetivo [71].

El escalado no se aplica únicamente al vector objetivo original, sino que también deben ser escaladas las restricciones del problema. Esta operación de escalado al problema original es un problema llamado problema de PL escalado [71].

Dado que el problema original es formulado en un espacio diferente, se debe reescalar la solución encontrada para regresarla al espacio original. La operación de reescalado se hace a través de una transformación afín (Algoritmos de escalado-afín) [49] [71].

Todo algoritmo de Punto Interior, debe satisfacer por lo menos dos requerimientos: centrado y direcciones de descenso. El centrado provee el potencial de una buena reducción del costo en un simple paso, y la dirección de descenso permite la realización de este potencial [71].

Son métodos que no requieren de una fase de inicialización, los puntos no son necesariamente factibles y el camino de solución solo debe ser interior a las restricciones de desigualdad [46]. Requiere que el punto inicial sea un punto interior a la región factible [49].

Se puede establecer la exactitud deseada, es posible controlar el tiempo de cálculo. El método puede encontrar una solución cercana a la óptima en pocas iteraciones [46].

Otra de las diferencias fundamentales respecto al Método Simplex es que existen algoritmos de Punto Interior polinómicos [49]. Convergen a la solución del problema en tiempo polinomial [48], mientras que el Método Simplex en el peor de los casos, tiene un costo exponencial [49].

Inicialmente fueron propuestos para resolver problemas no lineales, pero los sistemas de cómputo disponibles en el momento no permitieron su avance y entonces se desarrolló una idea para problemas lineales propuesta por Karmarkar denominado algoritmo de escalamiento proyectivo. Posteriormente se presentaron nuevos métodos que básicamente eran simplificaciones de los algoritmos de escalamiento y posteriormente los métodos llamados primales – duales que utilizan el concepto de barrera logarítmica [47].

Hay varias categorías de Métodos de Punto Interior, que se clasifican en [49]:

Métodos de escalado afín [49]: Son los métodos más sencillos. Transforman el problema original mediante un escalado afín de las variables.

Métodos basados en transformaciones proyectivas: Transforman el problema original, de forma más elaborada que los anteriores, utilizando una transformación proyectiva [55].

El primer algoritmo de punto interior, desarrollado por Karmarkar, pertenece a esta categoría.

Métodos llamados path-following: Utilizan una técnica para problemas no lineales, denominada barrera logarítmica.

El algoritmo primal-dual de punto interior pertenece a esta categoría.

Los métodos de reducción de potencial: Intentan reducir una determinada función de mérito o de potencial.

Método de escalado afín

Este método fue planteado originalmente en 1967 por un matemático ruso llamado Dikin. Unos años más tarde el método fue presentado en Occidente de forma independiente por diferentes investigadores como una simplificación del Método de Karmarkar [49].

El método emplea transformaciones afines [70], que se definen como una transformación lineal no singular seguida de una traslación [72]. Los algoritmos consisten en una secuencia de pasos donde el punto inicial es primero centrado a través de una operación en la que se escalan los ejes, de ahí se mueve en una dirección de descenso en el espacio escalado; después que el nuevo punto se obtiene, una operación de reescalado regresa el nuevo punto al espacio original. El proceso de escalar y reescalar se realiza en dos espacios diferentes (espacio escalado y espacio original) para su mejor comprensión, pero en el algoritmo matemático siempre se trabaja sobre el espacio original, es decir, nunca se mueve a un espacio distinto [71].

El problema que presentan estos escalados es que no se ha podido probar que su tiempo de resolución sea polinómico [70].

El método se puede ver como una aplicación de una variante de un método de Programación No Lineal llamado Método del Gradiente Proyectado, a la solución de un PL [49].

De todos los Métodos de Punto Interior este tipo son los más sencillos, Muestran un excelente rendimiento en la resolución de problemas de gran tamaño [72].

Método de Karmarkar

Es un algoritmo para solucionar problemas lineales. Permite manejar cantidades enormes de Variables y Restricciones [33].

Es un algoritmo de tipo polinómico que en la práctica ha resultado ser hasta 100 veces más rápido que el Método Simplex estándar, especialmente en problemas con miles de Variables y/o Restricciones [36] [47].

Se puede aplicar a problemas de PL que tienen una forma especial, llamada la forma canónica de Karmarkar (FCK). Cuando un problema de PL no está en la FCK entonces es necesario hacer algunas transformaciones (considerar el dual, introducir variables de holgura, pasarlo a un problema de factibilidad, etc.) para obtener un problema más grande, en la FCK, pero equivalente al inicial; o sea que a partir de la solución del problema modificado se puede obtener la solución del problema inicial [44].

Es un algoritmo iterativo, como el Método Simplex, pero parte de una solución de prueba, obtenida dentro de la región de soluciones posibles. En cada iteración se mueve dentro de la región solución a una mejor solución de prueba y así continúa hasta obtener la mejor solución en un punto extremo [33].

La idea del método es buscar soluciones a un problema de PL, a través de direcciones de mejora de la Función Objetivo, en el interior de la Región Factible del problema [69]. Se ayuda de una función proyectiva, y de su inversa, que transforman

$$S = \left\{ x \in R^n \mid \sum_{i=1}^n x_i = n \right\}$$

en sí mismo y, la solución actual de cada iteración corresponde al centro del simplex estándar [69].

Inicialmente, la elección de la dirección de búsqueda se realizó tomando la proyección del gradiente de la Función Objetivo sobre el espacio nulo de la matriz de Restricciones del problema [69].

El cálculo de la dirección de búsqueda es uno de los puntos principales de este método [69]. Algunos autores han continuado los estudios y han mejorado la propuesta original del método [69].

La principal diferencia con el Método Simplex es que trabaja con puntos interiores de la región solución [33].

En los laboratorios AT&T Bell, se desarrolló la implementación en computadora del método en 1988 y se han presentado versiones posteriores. IBM agregó variantes al algoritmo en 1990. Además, se han elaborado varios trabajos dirigidos a desarrollar variantes mejoradas del algoritmo [33] [44].

Método Primal - Dual de Punto Interior

Este método se basa en la aplicación de la barrera logarítmica. La solución de un problema de PL planteado en su Forma Standard puede ser encontrada mediante la solución sucesiva de sub-problemas usando una función de penalidad logarítmica [46].

El problema en su Forma Estándar es:

$$\begin{aligned} & \text{Minimizar} \quad c^T x \\ & \text{sujeto a:} \quad Ax = b \\ & \quad \quad \quad x \geq 0 \end{aligned}$$

Considerando:

Y = variables duales del problema
Z = variables de holgura

Los sub-problemas son de la forma [46]:

$$\begin{aligned} & \text{Maximizar} \quad b^T \cdot Y + \mu^k \cdot \sum_{i=1}^n \ln Z_i \\ & \text{sujeto a:} \quad A^T \cdot Y + Z = c \\ & \quad \quad \quad Z_i > 0 \end{aligned}$$

Es una formulación dual a la cual se le ha agregado un factor logarítmico de penalidad, el dual introduce una no linealidad al problema por lo cual debe ser resuelto por técnicas no lineales (Método de Newton [56]) [46].

La secuencia de soluciones a los sub problemas tiende a la solución del problema primal si los valores de μ^k son elegidos tal que $\mu \rightarrow 0$ si cada punto encontrado es un punto interior [46].

Para resolver el problema el método consiste en resolver la ecuación para distintos valores de μ en donde μ debe ser disminuido con algún criterio que garantice la convergencia bajo un tiempo de cálculo apropiado [46].

El Método Primal Dual de Punto Interior resuelve los problemas primal y dual de una vez, aplicando variantes del Método de Newton y modificando las direcciones de búsqueda y tamaño de paso de manera que la restricción de no negatividad se satisfaga estrictamente en cada iteración [48].

En la práctica se ha demostrado que este método puede competir en eficiencia con el Método Simplex [48]. Este algoritmo ha mostrado ser, en general, el método de punto interior más eficiente. Hoy en día es considerado como la mejor opción para solucionar problemas lineales de gran dimensión [49].

2.4.2 Programación Lineal Entera y Programación Lineal Entera Mixta

La Programación Lineal Entera (PLE) y la Programación Lineal Entera-Mixta (PLEM) abarca los problemas donde las Restricciones y la Función Objetivo son lineales, pero algunas de las Variables no son reales como en el caso de la PL. Para el caso de PLE son todas enteras o incluso binarias, es decir, pueden tomar el valor 1 o 0, y para el caso de PLEM algunas son enteras o binarias y otras reales [27]. El poder utilizar este tipo de Variables, aumenta las posibilidades de modelización matemática, pero también aumenta la complejidad de la resolución del Modelo [37]. Esto es dado debido a que para Variables enteras, el Método Simplex no proporciona la Solución Óptima en la mayoría de los casos [37]. Al aplicar el Método Simplex al problema lineal asociado, que es el problema planteado al cual se le relajan las condiciones de que las Variables de decisión sean enteras, si se encuentra una solución entera mediante este método, habremos encontrado la solución al problema planteado. En caso que no sea entera, esta solución es una aproximación a la solución del Modelo [27].

Uno de los métodos utilizados para la resolución de este tipo de problemas es el algoritmo de Branch and Bound (Ramificación y Acotación (RA)), que consiste en ir agregando Restricciones al programa lineal asociado hasta encontrar una solución entera óptima.

Para eso se utilizan dos pasos, ramificación (branch) y acotamiento (bound) que se repiten las cantidad de veces necesarias [37]. La ramificación consiste en agregar Restricciones al Modelo que haga que una de las Variables sea entera. Para esto se utiliza el redondeo por defecto o el redondeo por exceso. El primero impone que una Variable sea inferior o igual a la parte entera del valor de esa Variable, el segundo que sea mayor o igual al entero que le sigue al valor de la Variable. Luego intentamos resolver el problema planteado más la Restricción agregada por redondeo por defecto, y el problema con la Restricción de redondeo por exceso, ambos mediante el Método Simplex. Con esta ramificación, tenemos dos alternativas para encontrar la solución entera. De estas se toma la mayor y se la considera la cota superior. Con esta cota pasamos a la parte de acotación del algoritmo. Además esto nos marca que cuando tengamos una solución con Variables enteras debemos parar de buscar y si alguna no es entera, es una candidata para que se le aplique la ramificación, aunque esta selección no es trivial y depende del problema a resolver. No siempre la última solución encontrada es la óptima, muchas veces es la solución entera con mayor valor en la Función Objetivo de las obtenidas en el proceso [27] [37].

El algoritmo de RA es un algoritmo de tipo enumerativo. Estos algoritmos obtienen la solución en base a enumerar, implícita o explícitamente, todas las soluciones posibles y escoger la mejor de ellas.

El pseudocódigo del algoritmo de RA es el siguiente [57]:

```
funcion RyP {
  P = Hijos(x,k)
  mientras ( no vacio(P) )
    x(k) = extraer(P)
    si esFactible(x,k) y G(x,k) < optimo
      si esSolucion(x)
        Almacenar(x)
    sino
      RyP(x,k+1)
}
```

Donde:

- **G(x)** es la función de estimación del algoritmo.
- **P** es la pila de posibles soluciones.
- **esFactible** es la función que considera si la propuesta es válida.
- **esSolución** es la función que comprueba si se satisface el objetivo.
- **óptimo** es el valor de la función a optimizar evaluado sobre la mejor solución encontrada hasta el momento.

NOTA: Usamos un menor que (<) para los problemas de minimización y un mayor que (>) para problemas de maximización.

El método RA es el más utilizado debido a sus buenas propiedades computacionales [27], pero existen otras técnicas, como por ejemplo la técnica de los cortes de Gomory. También existen técnicas híbridas de ramificación y corte que son más eficaces que RA [27].

El método de los cortes de Gomory consiste en resolver el problema original relajado en los que se incluyen Restricciones adicionales que reducen la Región Factible sin excluir soluciones [27]. En cada iteración se añade una Restricción (corte de Gomory) la cual genera una envoltura convexa de la Región Factible entera-mixta obteniendo soluciones que cumplen las condiciones de integridad [27].

Algunos ejemplos de PLE y PLEM son: El problema de la mochila [27], el cual contiene Variables binarias, el problema de Identificación de síntomas relevantes [27], el problema de la Academia de ingeniería [27] y el Modelo de localización de plantas productivas [27].

2.4.3 Programación No Lineal

La Programación No Lineal (PNL) es el proceso de resolución de un sistema de igualdades y desigualdades sujetas a un conjunto de Restricciones sobre un conjunto de Variables reales desconocidas, con una Función Objetivo a maximizar, cuando algunas de las Restricciones o la Función Objetivo no son lineales [41].

La resolución de estos problemas depende de varias alternativas: si la Función Objetivo es lineal y el espacio de Restricciones es un polítopo, se resuelve mediante los métodos conocidos para la PL. Si la Función Objetivo es cóncava, o convexa y el espacio de restricciones es convexo, en lo general se utiliza el método de Optimización convexa [41]. Cuando no es convexo hay una gran variedad de métodos, entre los cuales se encuentran métodos en los cuales se utilizan formulaciones especiales de PL, métodos que usan técnicas de RA, cuando el problema se divide en subdivisiones a resolver mediante aproximaciones que forman un límite inferior del coste total en cada subdivisión. Mediante subdivisiones sucesivas, se obtendrá una solución cuyo coste es igual o inferior que el mejor límite inferior obtenido por alguna de las soluciones aproximadas. Esta solución es óptima, aunque posiblemente no sea única. El algoritmo puede ser parado antes, con la garantía que la mejor solución será mejor que la solución encontrada en un porcentaje acotado. Las condiciones de Karush-Kuhn-Tucker proporcionan las condiciones necesarias para que una solución sea óptima [41].

Uno de los conjuntos de métodos de búsqueda de solución para un problema de PNL, son los Métodos de Punto Interior. Con los Métodos de Punto Interior se encuentra una Solución Óptima mientras nos movemos en el interior del sistema factible, en contrapunto con la restricción de la búsqueda en los límites o contornos. Para evitar que el algoritmo alcance el límite o contorno se introduce una función barrera a la función coste, de esta forma, la función aumenta al infinito cuando alguna de las variables se aproxima al propio contorno [58].

2.4.4 Programación Estocástica

Comúnmente los problemas consideran la presencia de diferentes parámetros bajo condiciones de incertidumbre. Esto es debido a que en algunos casos son conocidos los parámetros a la hora de resolver el problema, pero hay situaciones en que no siempre es así.

La Programación Estocástica concentra el estudio, formulación y resolución de Modelos de optimización que incorporan explícitamente parámetros aleatorios, ya sea a través de diferentes escenarios o de Variables aleatorias con distribuciones de probabilidad discreta o continua [28].

La Programación Estocástica analiza la resolución de problemas de programación matemática en los que algunos parámetros son desconocidos pero se conoce la distribución de probabilidad asociada a ellos y, por tanto, las situaciones que se analizan mediante la misma son situaciones de riesgo [29].

En Programación Estocástica se relaja, por lo tanto, la hipótesis que todos los parámetros del problema son deterministas, permitiendo tratar como Variables aleatorias a parámetros sujetos a incertidumbre o a posibles errores en su medición o estimación y de los que se conoce su distribución de probabilidad [29].

El hecho que algunos parámetros sean aleatorios da lugar a que las Funciones Objetivo sean también Variables aleatorias por lo que el problema matemático no está bien definido [29]. Esto puede determinar que la solución adoptada sea no factible una vez resuelta la incertidumbre o que siendo factible no sea óptima.

La solución a un problema estocástico ha sido definida de varias maneras. La más utilizada es la que transforma el problema estocástico en uno determinista teniendo en cuenta características de la Función Objetivo y sus Restricciones. Para esta transformación se utilizan dos Modelos. El Modelo que penaliza la violación de Restricciones y la programación con Restricciones probabilísticas.

2.4.5 Programación Dinámica

Utilizada para resolver problemas de Optimización, la Programación Dinámica (PD) resuelve los problemas combinando soluciones de sub problemas ya resueltos [42]. Para utilizar PD es necesario que se den dos factores: una sub estructura Óptima, es decir, la solución Óptima se puede componer a partir de soluciones Óptimas de sus sub problemas y superposición de problemas, que implica resolver muchas veces un mismo sub problema.

La PD es utilizada en casos donde resolver recursivamente un problema tiene un costo muy grande, por lo que puede mejorarse sustancialmente al usar PD. Frecuentemente para resolver un problema complejo se tiende a dividir este en sub problemas, más pequeños, resolver estos últimos (recurriendo posiblemente a nuevas subdivisiones) y combinar las soluciones obtenidas para calcular la solución del problema inicial. Puede ocurrir que la división natural del problema conduzca a un gran número de sub ejemplares idénticos. Si se resuelve cada uno de ellos sin tener en cuenta las posibles repeticiones (por ejemplo con recursión en algunos casos), resulta un algoritmo ineficiente; en cambio si se resuelve cada ejemplar distinto una sola vez y se conserva el resultado, el algoritmo obtenido es mucho mejor. Esta es la idea de la programación dinámica: no calcular dos veces lo mismo y utilizar normalmente una tabla de resultados que se va rellenando a medida que se resuelven los sub ejemplares [42].

Un ejemplo típico de PD es el cálculo de la sucesión de Fibonacci [59]. Dicha sucesión podemos expresarla recursivamente en términos matemáticos de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} Fib(n) &= 1 \text{ si } n = 0,1 \\ Fib(n) &= Fib(n-1) + Fib(n-2) \text{ si } n > 1 \end{aligned}$$

Por tanto, la forma más natural de calcular los términos de esa sucesión es mediante un programa recursivo:

```
PROCEDURE FibRec(n:CARDINAL):CARDINAL;
BEGIN
IF n<=1 THEN
    RETURN 1
ELSE
    RETURN FibRec(n-1) + FibRec(n-2)
END
END FibRec;
```

El inconveniente es que el algoritmo resultante es poco eficiente debido a que se producen llamadas recursivas repetidas para calcular valores de la sucesión, que habiéndose calculado previamente, no se conserva el resultado y por tanto es necesario volver a calcular cada vez.

Para este problema es posible diseñar un algoritmo que en tiempo lineal lo resuelva mediante la construcción de una tabla que permita ir almacenando los cálculos realizados hasta el momento para poder reutilizarlos:

```
TYPE TABLA = ARRAY [0..n] OF CARDINAL
PROCEDURE FibIter(VAR T:TABLA;n:CARDINAL):CARDINAL;
VAR i:CARDINAL;
BEGIN
IF n<=1 THEN
    RETURN 1
ELSE
    T[0]:=1;
    T[1]:=1;
    FOR i:=2 TO n DO
        T[i]:=T[i-1]+T[i-2]
    END;
RETURN T[n]
END
END FibIter;
```

Existe aún otra mejora a este algoritmo, ya que únicamente son necesarios los dos últimos valores calculados para determinar cada término, lo que permite eliminar la tabla entera y dejar solamente dos variables para almacenar los dos últimos términos:

```
PROCEDURE FibIter2(n: CARDINAL):CARDINAL;
VAR i,suma,x,y:CARDINAL; (* x e y son los 2 últimos términos *)
BEGIN
IF n<=1 THEN
    RETURN 1
ELSE
    x:=1; y:=1;
    FOR i:=2 TO n DO
        suma:=x+y; y:=x; x:=suma;
    END;
RETURN suma
END
END FibIter2;
```

Con este ejemplo se muestra cómo es posible mejorar ciertos algoritmos con la utilización de la PD [59].

2.4.6 Métodos Heurísticos

Como se mostró en las secciones anteriores, para los problemas de Optimización Lineal existen una variedad de métodos de resolución “exactos”, como por ejemplo el Método Simplex donde existe un procedimiento conciso y preestablecido e independiente en gran medida del problema abordado. Sin embargo, una gran cantidad de problemas de optimización son difíciles de resolver (NP-hard) [63].

El término científico NP-hard (Nondeterministic Polynomial-time hard) es utilizado en el contexto de la complejidad algorítmica para determinar una clase de complejidad donde no se puede garantizar que es posible encontrar la mejor solución posible en un tiempo razonable.

Una definición formal de los problemas NP-hard: “Son el conjunto de los problemas de decisión que contiene los problemas H tales que todo problema L en NP puede ser transformado polinomialmente en H . Si es posible encontrar un algoritmo A que resuelve uno de los problemas H de NP-hard en tiempo polinómico, entonces es posible construir un algoritmo que trabaje en tiempo polinómico para cualquier problema de NP ejecutando primero la reducción de este problema en H y luego ejecutando el algoritmo A ” [64].

El desarrollo de estos procedimientos eficientes para encontrar buenas soluciones pero no necesariamente óptimas fue impulsado por la gran variedad de problemas prácticos que necesitan ser resueltos [63].

Por lo tanto, la principal diferencia entre los métodos de Optimización “exactos” como pueden ser el Método Simplex o Branch and Bound que garantizan encontrar una Solución Óptima (si tal solución existe) y los Métodos Heurísticos radica en que estos últimos buscan “buenas” soluciones pero no ofrecen ninguna garantía con respecto a la performance o que encuentren la solución óptima [24].

Se define Algoritmo Heurístico como: “Un procedimiento para resolver un problema de optimización bien definido mediante una aproximación intuitiva, en la que la estructura del problema se utiliza de forma inteligente para obtener una buena solución”[63].

Los Métodos Heurísticos proveen medios de analizar cuál de varias alternativas es la mejor, es decir, son métodos o criterios que permiten decidir entre varias alternativas cual promete ser la más efectiva para optimizar la Función Objetivo [24]. Con los métodos heurísticos las técnicas e ideas aplicadas a la resolución de un problema son específicas de éste y aunque, en general, pueden ser trasladadas a otros problemas, han de particularizarse en cada caso [63].

Algunos casos en los que es conveniente utilizar métodos heurísticos [63]:

- El problema es de una naturaleza tal que no se conoce ningún método exacto para su resolución.
- Aunque existe un método exacto para resolver el problema, su uso es computacionalmente muy costoso.
- El método heurístico es más flexible que un método exacto, permitiendo, por ejemplo, la incorporación de condiciones de difícil modelización.
- El método heurístico se utiliza como parte de un procedimiento global que garantiza el óptimo de un problema. Existen dos posibilidades:
 - El método heurístico proporciona una buena solución inicial de partida.
 - El método heurístico participa en un paso intermedio del procedimiento, como por ejemplo las reglas de selección de la variable a entrar en la base en el método Simplex.

Para ilustrar mejor el concepto de método o algoritmo heurístico, tómese en cuenta el problema de acomodar el equipaje en el baúl de un automóvil, a priori no hay forma de encontrar la solución sin probar todas las diferentes posibilidades. Un algoritmo heurístico probaría poner las valijas más grandes primero y las más chicas después como se muestra en la Figura 2.4.6.1.

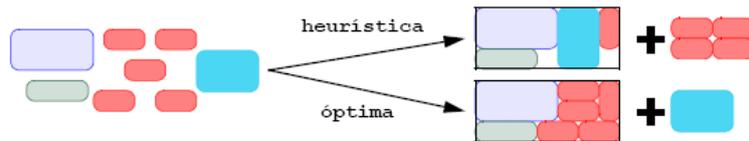


FIGURA 2.4.6.1: SOLUCIÓN HEURÍSTICA Y SOLUCIÓN ÓPTIMA AL PROBLEMA DEL EQUIPAJE. FUENTE [65].

En este caso, la solución encontrada por el método heurístico es bastante cercana a la óptima pero pueden ocurrir casos donde la solución sea muy mala o eventualmente que no se encuentre solución. Un ejemplo de esto se muestra en la Figura 2.4.6.2.

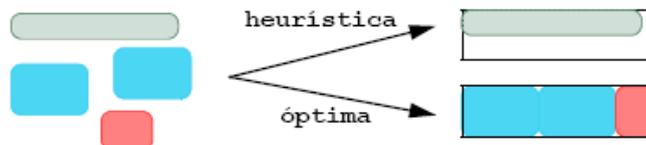


FIGURA 2.4.6.2: LA SOLUCIÓN HEURÍSTICA ES MUY MALA EN COMPARACIÓN CON LA SOLUCIÓN ÓPTIMA. FUENTE [65].

Existe una gran variedad de métodos heurísticos y su clasificación es compleja. A continuación se presenta una posible clasificación [63]:

Métodos de Descomposición: El problema original se descompone en sub problemas más sencillos de resolver, teniendo en cuenta, aunque sea de manera general, que ambos pertenecen al mismo problema.

Métodos Inductivos: Generalizar de versiones pequeñas o más sencillas al caso completo identificando propiedades o técnicas en los casos más fáciles de analizar pueden ser aplicadas al problema completo.

Métodos de Reducción: Consiste en identificar propiedades que se cumplen mayoritariamente por las buenas soluciones e introducirlas como restricciones del problema con el objetivo de restringir el espacio de soluciones, simplificando así el problema.

Métodos Constructivos: Consisten en construir literalmente paso a paso una solución del problema. Usualmente son métodos deterministas y suelen estar basados en la mejor elección en cada iteración. Los algoritmos “greedy” son un ejemplo de esto, tratan de construir una solución seleccionando iterativamente elementos componentes y evaluando en cada paso la solución de acuerdo a algún criterio.

Métodos de Búsqueda Local: A diferencia de los métodos anteriores, los procedimientos de búsqueda o mejora local comienzan con una solución del problema y la mejoran progresivamente. El procedimiento realiza en cada paso un movimiento de una solución a otra con mejor valor. El método finaliza cuando, para una solución, no existe ninguna solución accesible que la mejore.

Método Heurístico para Coloración de Grafos

Como ejemplo de un algoritmo heurístico presentamos el problema de Coloración de Grafos. El problema de Coloración de Grafos se define como: “tratar de colorear los nodos de un grafo de forma que no haya dos nodos adyacentes del mismo color utilizando el mínimo número de colores posible”. Este es un problema no existe ningún algoritmo de tiempo polinómico que le resuelva de forma óptima (problema NP) [65].

En [65] se presenta un algoritmo heurístico voraz sencillo:

```
coloreaGrafoVoraz(Grafo g)
Lista nodosNoColoreados=g.listaDeNodos()
mientras nodosNoColoreados no está vacía
hacer
n=nodosNoColoreados.extraePrimero()
c=un color no usado aún
n.colorea(c)
para cada nodo nnc en nodosNoColoreados hacer
si nnc no tiene ningún vecino de color c
entonces
nodosNoColoreados.extrae(nnc)
nnc.colorea(c)
    fsi
fhacer
fhacer // mientras nodosNoColoreados no está vacía
fmétodo
```

ALGORITMO HEURÍSTICO PARA COLORACIÓN DE GRAFOS. FUENTE [65].

El algoritmo toma un color no usado y un nodo no coloreado aún, recorre todos los nodos que quedan sin colorear, pintando del color actual todos los que sea posible (aquellos que no tengan ningún vecino del color actual). Estos pasos se repiten los pasos hasta que se hayan coloreado todos los nodos.

2.4.7 Métodos Meta Heurísticos

Los Métodos Meta Heurísticos son un tipo especial de Método Heurístico para resolver una rama mas general de problemas combinando varios métodos o procedimientos y utilizan búsquedas aleatorias para resolverlo. Generalmente se utilizan para resolver problemas en los cuales no existen ningún procedimiento específico o heurística como por ejemplo problemas de Optimización combinatoria o ecuaciones de Algebra de Boole. A menudo se basan en fenómenos naturales conocidos como se describe en la siguiente sección.

Los Métodos Meta Heurísticos proveen un marco de trabajo para la Optimización que se basa en componentes que son específicos del problema que se está resolviendo [24]. Esto permite abarcar una gama más grande de problemas incluyendo los no lineales.

Varias aplicaciones en ramas de Ingeniería requieren técnicas que manejen variables continuas o combinaciones de variables continuas y discretas por lo que requieren de estos métodos [1].

Los algoritmos que se mueven iterativamente de una solución v a una solución v' son denominado algoritmos de búsqueda local (Local Search Algorithms) [24]. Existen varios Métodos Meta Heurísticos de búsqueda local muy utilizados en la resolución de problemas de optimización. En esta sección presentaremos Simulated Annealing (SA), Tabu Search (TS), Genetic Algorithms (GA), Ant Colony Optimization (ACO) [1].

En la descripción de estos algoritmos se considera que: Una solución v' que puede ser alcanzada desde una solución v es denominada *vecino*. El conjunto de soluciones que puede ser alcanzado desde v con una sola movida se denomina $N(v)$ y es denominado *vecindad*.

Simulated Annealing (SA): es un algoritmo genérico meta heurístico para Optimización que opera buscando una buena aproximación al óptimo global dada una función en un espacio de búsqueda muy grande [23]. El método se basa en la analogía con un trozo de metal que se enfría. La idea es que cuando un metal se enfría las moléculas actúan de una forma que puede modelarse como la búsqueda de la menor configuración de energía [24]. Cada paso del algoritmo reemplaza la solución actual por una solución aleatoria cercana, elegida con una probabilidad que depende de la diferencia de los valores de la función y del parámetro T (temperatura) que decrece gradualmente con el proceso [23].

En cada iteración se elige un movimiento de forma aleatoria y el costo del cambio es ejecutado. Sea $\Delta = f(v') - f(v)$. Si el movimiento es considerado es aceptado con una probabilidad definida de la siguiente forma: $\exp(-\Delta/T)$. Si Δ es positivo el movimiento no mejora. Para valores altos de

temperaturas (T) la probabilidad es similar para casi todas las movidas por lo que el algoritmo procede a realizar una movida al azar. Por otro lado, para valores bajos de T , solo los movimientos que disminuyen la función de costos tienden a ser aceptados. A continuación se presenta un pseudocódigo del algoritmo.

```

Begin with a randomly selected solution  $v$ 
 $T \leftarrow \text{InitializeTemp}(\text{InitProb})$ 
REPEAT
    REPEAT SizeFactor  $x \leftarrow |N(v)|$  times
        Randomly select  $v' \in N(v)$ 
         $\Delta \leftarrow f(v') - f(v)$ 
        IF ( $\Delta \leq 0$ ) OR ( $\exp(-\Delta/T) < \text{URan}(0,1)$ )
             $v' \leftarrow v$ 
    BestCheck( $v$ )
     $T \leftarrow \text{TempFactor} \times T$ 
UNTIL Frozen (MinPercent)

```

ALGORITMO DE SIMULATED ANNEALING. FUENTE [24].

Tabu Search (TS): es un método de Optimización matemática de la clase de búsqueda local pero mejorando la performance utilizando estructuras de memoria. Los algoritmos de TS eligen las siguientes soluciones localmente o en un entorno de una solución v dada. Para explorar soluciones que no serían analizadas en una búsqueda local, en cada iteración, el algoritmo trata de expandir el entorno alejándose de las soluciones seleccionadas en previas iteraciones utilizando una lista denominada *tabu list* [24][25]. La lista es generalmente implementada como una cola FIFO (First In First Out) basándose en los atributos de las últimas k iteraciones. Los vectores de solución que son el resultado de movidas que tienen atributos en la lista no son consideradas a menos que cumplan con un criterio. Este criterio es utilizado para evitar descartar buenas movidas [24]. A continuación se presenta un pseudocódigo del algoritmo.

```

Begin with a randomly selected solution  $v$ 
REPEAT
     $F \leftarrow +\infty$ 
    FOR each  $v' \in N(v)$ 
        IF  $\text{Obj}(v') < F$ 
            IF NOT  $\text{Tabu}(v, v')$ 
                 $F \leftarrow \text{Obj}(v')$ ;  $v'' \leftarrow v'$ 
    UpdateTabuList( $v, v''$ )
     $v'' \leftarrow v$ 
    LTMem( $v$ )
    BestCheck( $v$ )
UNTIL TimeLimit()

```

ALGORITMO DE TABU SEARCH. FUENTE [24].

Genetic Algorithms (GA): es una técnica de programación que imita a la evolución biológica como estrategia para resolver problemas. A diferencia de los otros algoritmos, los algoritmos genéticos examinan más de una solución al mismo tiempo. El conjunto de soluciones es denominado *población*. El

algoritmo comienza con una población de muchos strings de bits (cada uno de largo n) y recursivamente forma poblaciones de reemplazo utilizando operadores de *mutación* [24].

Los GA toman un conjunto de soluciones potenciales y una métrica denominada función de aptitud (fitness) que permite evaluar cuantitativamente a cada solución [38] Un pseudo código de un AG [39]:

1. Inicializar aleatoriamente una población de soluciones a un problema.
2. Evaluar cada una de las soluciones con la función de aptitud o fitness y asignarle una puntuación.
3. Escoger de la población la parte que tenga una puntuación mayor.
4. Cambiar y combinar las diferentes soluciones de esa parte escogida, para reconstruir la población.
5. Repetir un número determinado de veces, o hasta que se haya encontrado la solución deseada.

Ant Colony Optimization (ACO): es una técnica probabilística para solucionar problemas computacionales que puede reducirse a encontrar caminos óptimos en grafos [40]. Está basado en el comportamiento utilizado por las colonias de hormigas en la vida real. Las hormigas, a la hora de buscar alimento vagan aleatoriamente hasta encontrar alimento y en el camino de regreso a la colonia dejan un rastro mediante feromonas. Si otras hormigas encuentran esos caminos es probable que dejen de vagar aleatoriamente fortaleciendo ese camino ya que probablemente sea camino hacia una buena fuente de alimento [40].

El algoritmo que emula el comportamiento de las hormigas está compuesto por m hormigas que se mueve de forma asíncrona a través de un grafo tomando en cuenta la información local disponible en los nodos. Al moverse por el grafo, las hormigas construyen soluciones de forma incremental y si lo desean pueden depositar información en forma de feromona al cruzar un arco. Cuando una hormiga ha generado una solución, esta es evaluada y deposita feromona dependiendo de la calidad de la solución, la cual será utilizada para guiar a las demás hormigas en el futuro [62].

Adicionalmente, se pueden considerar variantes más complejas como la “*evaporación de rastros*” y “*acciones del demonio*” [62]. La evaporación de rastros simula la acción del entorno y permite al sistema que explore nuevas regiones. Las acciones del demonio son características opcionales que no tienen ningún contrapunto natural que permiten implementar el algoritmo desde una perspectiva más global, ejemplo: aplicar un procedimiento de búsqueda local a las soluciones generadas por las hormigas antes de actualizar los rastros de feromona [62]. A continuación presentamos un pseudocódigo del algoritmo.

```
Procedimiento Metaheurística_ACO()
Inicialización_de_parámetros
  mientras (criterio_de_terminación_no_satisfecho)
    Programación_de_actividades
    Generación_de_Hormigas_y_actividad()
    Evaporación_de_Feromona()
    Acciones_del_demonio() {opcional}
  fin Programación_de_actividades
fin mientras

Procedimiento Generación_de_Hormigas_y_actividad()
  repetir en paralelo desde k=1 hasta m (numero_hormigas)
    Nueva_Hormiga(k)
  fin repetir en paralelo

Procedimiento Nueva_Hormiga(id_Hormiga)
  inicializa_hormiga(id_Hormiga)
  L = actualiza_memoria_hormiga()
  mientras (estado_actual ≠ estado_objetivo)
    P = calcular_probabilidades_de_transición(A,L,W)
    siguiente_estado = aplicar_política_decisión(P,W)
    mover_al_siguiente_estado(siguiente_estado)
    si (actualización_feromona_en_linea_paso_a_paso)
      depositar_feromona_en_el_arco_visitado()
    fin si
  L = actualizar_estado_interno()
  fin mientras
  si (actualización_feromona_en_linea_a_posteriori)
    para cada arco_visitado
      depositar_feromona_en_el_arco_visitado()
```

```
fin para
fin si
liberar_recursos_hormiga(id_Hormiga)
```

ALGORITMO DE ANT COLONY OPTIMIZATION. FUENTE [62].

2.5 Software

2.5.1 AMPL (A Mathematical Programming Language)

Lenguaje de programación de alto nivel para describir producción, distribución, planeamiento y otros tipos de problemas de Optimización a larga escala o Programación Matemática. Es un lenguaje de modelado algebraico para Programación Matemática: un lenguaje capaz de expresar en notación algebraica problemas de Optimización tales como los problemas de PL [8] [9].

Permite la comunicación con una gran variedad de solvers, ayuda a formular Modelos y examinar las soluciones [9].

AMPL no es quien resuelve los problemas, sino que mediante la comunicación con otros solvers, que pueden incluso estar corriendo en otras máquinas y que pueden utilizar uno o más algoritmos, obtiene las soluciones a los problemas planteados [8]. AMPL brinda al usuario la posibilidad de fácilmente transcribir Modelos matemáticos, que estos otros lenguajes resuelven empleando adaptaciones de notaciones matemáticas familiares para describir problemas de Optimización, como por ejemplo la maximización o minimización de expresiones algebraicas en decisiones de Variables numéricas. Permite verificar y reportar las Soluciones Óptimas obtenidas, provee un fuerte soporte para validación y numerosas alternativas para representar datos y resultados [9].

AMPL nos permite resolver problemas en secuencia, de Optimización combinatoria y de Programación Estocástica [9]. Cuenta con un preprocesador que permite simplificar el problema ingresado antes que sea pasado al solver correspondiente. Algunas de estas simplificaciones pueden ser eliminar Constantes y sacar Restricciones redundantes [8] [9].

Para problemas de PNL, AMPL utiliza un modulo llamado MProbe, que analiza las funciones no lineales para poder resolverlas de manera más eficiente. Por ejemplo, MProbe investiga cuales son los límites de las regiones de interés del problema, para poder incluir en el modelo, mediante restricciones, esta información.

Se puede encontrar una lista con los solvers que utiliza AMPL, así como los algoritmos por estos usados, en [60].

Para más información, la página Web de este Software es <http://www.ampl.com>.

2.5.2 GAMS (General Algebraic Modeling System)

Diseñado para modelar problemas de optimizaciones lineales, no lineales y enteros mixtos, permite resolver problemas complejos que requieren muchas revisiones para alcanzar un Modelo acorde a la solución [10].

Es un lenguaje de alto nivel similar a los lenguajes de programación comunes [10]. Los Modelos son descritos con sentencias algebraicas así como las Restricciones, para que luego GAMS genere las ecuaciones correspondientes. El usuario también puede hacer excepciones en cuanto a las Restricciones, para poder relajar el problema planteado.

GAMS incorpora las ideas de las bases de datos relacionales y la Programación Matemática para juntarlas y lograr adecuarse a las necesidades del Modelo. A través de la base de datos se logra organizar los datos, mientras que con la Programación Matemática es posible describir un problema y encontrar una variedad de métodos para resolverlo [10].

Uno de los principios de esta aplicación es que todos los métodos algorítmicos disponibles puedan ser utilizados sin necesidad de cambiar la representación del Modelo definida por el usuario. Permite ingresar nuevos métodos, o nuevas implementaciones de los que ya están en el sistema, sin requerir de cambios en los Modelos existentes. Otro principio es que los problemas de Optimización deberían ser expresados de manera independiente de los datos a ser usados. Esto permite poder incrementar el tamaño de un problema sin tener que incrementar la dificultad de su representación [10].

GAMS soporta una gran cantidad de tipos de problemas y una gran cantidad de solvers, por lo tanto gran cantidad de algoritmos, para encontrar la solución a los problemas planteados [61].

GAMS es un software que cuenta con una versión libre limitada en sus funcionalidades. Estas limitaciones son: limitaciones al modelo, entre ellas número máximo de variables y restricciones igual a 300, número de elementos que no sean cero igual a 2000, número de variables discretas igual a 50. Limitaciones al solver global, donde se encuentra que el número de variables y restricciones máximo es 10.

Se puede acceder a más información sobre este Software en <http://www.gams.com>.

2.5.3 GLPK (GNU Linear Programming Kit)

Software que permite resolver problemas de PL a gran escala, PLEM y otros problemas relacionados a través de la descripción de modelos, escritos en el lenguaje GNU MathProg. Este lenguaje consiste en un conjunto de sentencias y bloques de datos construidos por el usuario con los elementos del lenguaje [11].

Estas sentencias y bloques describen lo que se llama objetos de Modelo, que representan conjuntos, parámetros, Variables, Restricciones y objetivos y el conjunto de estas representa el Modelo a resolver. Luego, mediante una traslación realizada por un módulo llamado "Model Translator", el cual primero analiza el modelo descrito, se transforma este a las estructuras de datos internas para que o sean usadas para generar una instancia de un problema de Programación Matemática, o usadas por un programa que llama a un solver para encontrar la solución numérica al problema. GLPK es una biblioteca de rutinas que utilizan algoritmos conocidos para resolver los problemas lineales representados en el Modelo ingresado [11]. Entre los algoritmos utilizados están el Simplex, y sus variaciones Simplex Revisado, Primal y Dual.

Para hacer el modelo lo más flexible posible, GLPK considera la descripción de este en dos partes: la sección de modelo y la sección de datos. La sección de modelo es la parte principal de descripción del modelo, conteniendo las declaraciones de los objetos y siendo común para todos los problemas basados en ese modelo. La sección de datos permite al usuario opcionalmente ingresar diferentes conjuntos de datos los cuales cada uno representa un problema en particular.

La página oficial de GLPK es <http://www.gnu.org/software/glpk/>

2.5.4 LINGO

Es una herramienta diseñada para construir y resolver Modelos de optimizaciones lineales, no lineales y de enteros. En el paquete de Software incluye un lenguaje para expresar Modelos de Optimización, un ambiente para construir y editar problemas de Optimización y un conjunto de solvers [12]. A través del lenguaje de Modelo matemático permite expresar los problemas de una manera muy similar a la notación estándar matemática [12].

Los solver incluidos en esta herramienta están directamente conectados con el ambiente de modelado, lo que permite que LINGO pase el problema al solver más apropiado directamente en memoria y no a través de archivos, mejorando la eficiencia de la búsqueda de una solución y logrando reducir los problemas de compatibilidad entre el componente del lenguaje de modelado y los componentes de los solvers [12]. De acuerdo a los problemas a resolver, LINGO utiliza los siguientes solvers: para problemas lineales, el Método simplex en sus variantes Primal y Dual y el solver de barrido (barrier solver). Para

problemas de enteros, utiliza los mismos que para los otros problemas trabajando en conjunto con un solver de enteros. Los solvers no lineales son el General, el Global y el MultiStart. Todos los solvers utilizan la herramienta de pre procesamiento para simplificar el problema planteado antes de pasárselo a ellos [12].

Para obtener más información sobre LINGO se puede visitar la página <http://www.lindo.com>.

2.5.5 WINQSB

Sistema interactivo de ayuda a la toma de decisiones que contiene herramientas para resolver distintos tipos de problemas en el campo de la Investigación Operativa [13]. Compuesto por varios módulos, cada uno según el tipo de Modelo o problema planteado. Para resolver problemas de PL y PLE se utiliza el Método Simplex, el procedimiento de Ramificación y Acotación o también se puede resolver gráficamente [13]. Resuelve el problema de programación cuadrática (problemas con Función Objetivo cuadrática y Restricciones lineales), utilizando un Método Simplex adaptado. Los Modelos de programación cuadrática entera los resuelve utilizando algoritmos de Ramificación y Acotación. Permite resolver problemas no lineales sin restricciones utilizando métodos de búsqueda lineal, y problemas no lineales con restricciones utilizando el método SUMT (Función Objetivo con penalizaciones sobre el incumplimiento de las Restricciones) [13]. También resuelve problemas de modelado de redes y otros.

En <http://www.wiley.com/college/tech/winqsb.htm> se encuentra información sobre esta aplicación.

2.5.6 RIOT

Proyecto desarrollado para crear una interface entre Internet y un solver de PL para que un usuario pueda presentar su problema y este sea resuelto. De acuerdo al problema a ser resuelto es el solver que se utiliza, ya que alguno puede ser más eficiente y preciso que otro según este. El solver será seleccionado por el usuario, luego que haya ingresado el problema. Permite que el usuario compare varios solvers a la hora de resolver el mismo problema y pueda sacar conclusiones con respecto a la eficiencia de estos [14].

Para más información, <http://riot.ieor.berkeley.edu/riot/>.

2.5.7 Xpress

Software de Optimización de Sistemas, que consiste en una familia de utilidades para el modelado y optimización de problemas, utilizando técnicas de PL y otros algoritmos de búsqueda de soluciones a estos [15].

Se puede acceder a las funcionalidades de este programa de tres maneras: mediante Visual Xpress el cual provee una interfaz grafica al usuario con las funcionalidades básicas. Console Xpress permite ingresar órdenes a través de la línea de comandos del sistema operativo utilizado. Bibliotecas de subrutinas, las cuales pueden ser accedidas por otras aplicaciones para utilizar las funcionalidades de Xpress [15].

Las funcionalidades que ofrece Xpress son distribuidas en diferentes módulos, los cuales son: Creador de Modelos, el cual a través de un archivo introduce al sistema las características de un problema a resolver. Este archivo deber tener una sintaxis específica para describir el problema. Luego el módulo crea el Modelo adecuado para que sea procesado por el módulo de Optimización, quien se encarga de obtener la Solución Óptima a través de diversos algoritmos de Optimización. Los algoritmos utilizados se encuentran en diferentes componentes como son: Optimizador Simplex, para resolver problemas de programación lineal mediante las variantes Dual y Primal de este algoritmo, Optimizador IP resuelve problemas de PL con diferentes algoritmos basados en árboles de búsqueda para encontrar soluciones discretas, Optimizador Newton Barrier para problemas de PL mediante este algoritmo, Optimizador IP paralelo utiliza el mismo algoritmo en diferentes máquinas para obtener una mayor eficiencia [15].

Se puede encontrar información de cómo se utiliza este Software en <http://tomopt.com/tomlab/products/>.

2.5.8 MPL

Sistema de modelado de problemas de Optimización. Contiene un ambiente de desarrollo que permite al usuario formular y resolver Modelos. El sistema contiene un lenguaje algebraico en donde se representan estos Modelos de Optimización. Para su resolución se puede utilizar cualquiera de la mayoría de los optimizadores que existen hoy en día en el mercado [16]. A estos optimizadores se le presentan matrices especialmente diseñadas para cada uno que son obtenidas a través de las ecuaciones algebraicas ingresadas por el usuario para describir el problema. La elección del solver, así como la representación del Modelo se hace a través de la interfaz gráfica que nos brinda la aplicación. La conexión con el solver se hace dinámicamente a través de memoria, mejorando el rendimiento [16].

En <http://www.maximal-usa.com/es/mpltutor/> se encuentra un tutorial e información de MPL.

2.5.9 Análisis del Software

En la Tabla 2.5.9.1 se presenta un comparativo entre las diferentes soluciones de Software descritas con sus características más relevantes.

	Libre	Programación Lineal	Programación No Lineal	Programación Entera-Mixta	Preprocesador
AMPL		<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>
GAMS		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
GLPK	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	
LINGO		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
WINQSB		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
RIOT	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			
Xpress		<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	
MPL		<input checked="" type="checkbox"/>			

TABLA 2.5.9.1. COMPARATIVO DE LOS PRODUCTOS DE SOFTWARE ESTUDIADOS.

2.6 Problemas de Programación Lineal

Existen varios tipos de problemas que tienen modelos bien conocidos los cuales son utilizados como referencia en lugar de realizar todo el proceso de modelado nuevamente. Un ejemplo de esto es el Problema del Transporte que es utilizado para modelar problemas de distribución de mercaderías entre varios productores de mercaderías y varios consumidores. Todos los problemas y modelos que se detallan en esta sección pueden ser todos utilizados para modelar problemas de planificación de la producción en general. Nuestro interés en presentar esta sección radica en que el problema que tenemos que resolver, realizar prescripción para la aplicación de insumos en la producción agrícola, puede ser modelado utilizando ideas de estos modelos ya conocidos.

Esta sección describe algunos problemas conocidos de PL. Se presentan: Problema del Transporte, Problema de Planificación de la Producción y el problema de la Dieta.

2.6.1 Problema del Transporte

Un cierto producto debe enviarse en determinadas cantidades u_1, \dots, u_m desde cada uno de m orígenes (oferta), y recibirse en cantidades v_1, \dots, v_n en cada uno de n destinos (demanda). El problema consiste en determinar las cantidades x_{ij} , que deben enviarse desde el origen i al destino j , para conseguir minimizar el coste del envío [27]. Se suponen conocidos los costos unitarios de transporte c_{ij} .

Por lo tanto, se define el siguiente Modelo para el problema [27] [22].

Datos

m	Cantidad de orígenes.
n	Cantidad de destinos.
u_i	La cantidad que debe enviarse desde el origen i .
v_j	La cantidad que debe ser recibida en el destino j
c_{ij}	El coste de envío de una unidad de producto desde el origen i al destino j .

Variables

x_{ij}	La cantidad que se envía desde el origen i al destino j .
----------	---

Restricciones

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq u_i ; i = 1, \dots, m \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \geq v_j ; j = 1, \dots, n \quad (2)$$

$$x_{ij} \geq 0 ; i = 1, \dots, m ; j = 1, \dots, n \quad (3)$$

Función Objetivo

$$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$$

La Restricción (1) es la Restricción de la oferta, mientras que la Restricción (2) es la de la demanda. Cuando la oferta supera a la demanda, se introduce un punto de demanda artificial (o dummy) que consuma la oferta excedente [22]. En el caso donde se cumple que

$$\sum_{i=1}^m u_i = \sum_{j=1}^n v_j$$

se dice que el problema está balanceado.

De forma más genérica se podría eliminar la Restricción sobre el signo de las Variables x_{ij} para permitir flujos en ambas direcciones.

2.6.2 Problema de la Planificación de la Producción

Un productor fabrica una pieza, cuya demanda varía en el tiempo de forma mensual. El productor debe siempre atender la demanda mensual [27]. Para asegurar que se puede atender la demanda existen dos posibilidades de producción. Primero, producir cada mes la cantidad demandada con la contrapartida de costos más elevados en los meses de alta demanda o la segunda opción es realizar una producción constante guardando stock en los meses de baja demanda de forma de cubrir los meses de alta demanda con la contrapartida de tener costos de almacenamiento. El objetivo es planificar la producción de forma de maximizar los beneficios después de considerar los costes de las variaciones en la producción y los costos de stock [27].

Datos

n	Cantidad de meses que se consideran en el estudio.
s_0	Cantidad de stock almacenada el principio del estudio.
d_t	Demanda del mes t (unidades).
s^{\max}	Capacidad máxima de almacenamiento.
a_t	Precio de venta en el mes t .
b_t	El coste de producción en el mes t .
c_t	El coste de almacenamiento en el mes t .

Variables

x_t	El número de unidades producidas en el mes t .
s_t	El número de unidades almacenada en el mes t .

Restricciones

$$s_{t-1} + x_t - d_t = s_t ; t = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

$$s_t \leq s^{\max} ; t = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$s_t, x_t \geq 0 \quad (3)$$

Función Objetivo

$$Z = \sum_{t=1}^n (a_t d_t - b_t x_t - c_t s_t)$$

La Restricción (1) indica que el stock en el mes t (s_t) debe ser igual al excedente de producción del mes t mas el stock acumulado del período $t-1$ (s_{t-1}). La Restricción (2) indica que la capacidad de almacenamiento no puede excederse.

2.6.3 Problema de la Dieta

El problema de la dieta consiste en determinar las cantidades que deben ingerirse de distintos alimentos que aportan nutrientes para asegurar ciertas condiciones de nutrición y minimizar el coste de compra de los alimentos. El objetivo consiste en determinar la cantidad de cada alimento que debe comprarse de forma que se satisfagan los requerimientos mínimos de nutrientes aconsejados y a su vez minimizar el costo total [27]. Se suponen conocidos los contenidos nutritivos los alimentos así como sus precios y la cantidad mínima diaria de cada nutriente aconsejada.

Datos

m	La cantidad de nutrientes.
n	La cantidad de alimentos.
a_{ij}	La cantidad del nutriente i existente en el alimento j .
b_i	La cantidad mínima del nutriente i aconsejada.
c_j	El precio de una unidad del alimento j .

Variables

x_j	La cantidad de alimento j que debe adquirirse.
-------	--

Restricciones

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \geq b_i ; i = 1, \dots, m \quad (1)$$
$$x_j \geq 0 ; j = 1, \dots, n$$

Función Objetivo

$$Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j$$

La Restricción (1) indica que la cantidad total de un nutriente dado i es la suma de las cantidades de los nutrientes en todos los alimentos consumidos.

2.7 Aplicaciones y Ejemplos

En esta sección se presentan varios ejemplos y aplicaciones de Modelos de Optimización, en particular de PL en la producción agrícola. No se trata de analizar los resultados de los estudios realizados sino presentar varios ejemplos de modelado en Agricultura.

En particular, en la sección 2.7.4 se presenta un Modelo de Programación Lineal para la resolver la fertilización de cultivos. El problema planteado resulta un excelente antecedente en la definición de un modelo para nuestro problema.

2.7.1 Modelos de Optimización para AP, Texas

Se estudiaron dos trabajos similares realizados por universidades en Texas, EE.UU. [17] [18], donde se utilizan Modelos dinámicos de Optimización con el objetivo de estudiar el valor de retorno asociado con prácticas de Agricultura de Precisión en plantaciones de Algodón. En ambos casos el objetivo del estudio es evaluar los resultados de la aplicación de un Modelo que determina los valores óptimos de aplicación de Nitrógeno en el caso de [17] y Fósforo en el caso de [18] introduciendo una función que determina los valores residuales de estos nutrientes en el suelo de cosechas anteriores. Ambos estudios fueron conducidos por las universidades de Texas Tech University y la Texas A&M University.

Los autores destacan la importancia de incorporar en el Modelo la cantidad de nutriente residual en el suelo como una Variable importante a la hora de determinar el rendimiento.

En [18] se define la producción de Algodón como una función de la cantidad de Fósforo aplicado y de la cantidad de Fósforo residual. La cantidad de Fósforo residual es una función de las aplicaciones de Fósforo previas y de los niveles de Fósforo residuales previos.

$$\text{Max } Z = \sum_{t=0}^n P_t Y_t (PT_t) - CP_t PA_t \cdot (1+r)^{-t}$$

SA:

$$PT_t = PA_t + PR_t$$

$$PR_{t+1} = \int_t [PA_t, PR_t]$$

$$PR_0 = PR(0)$$

$$PA_t, PR_t \geq 0 \forall t$$

Donde n es la cantidad años sobre los cuales se está planificando, P_t es el precio del Algodón para el año t expresado en \$/libras, Y_t es la función de producción para el año t expresado en \$/acre, PT_t es el total de Fósforo en el año t expresado libras/acre, CP_t es el precio del Fósforo para el año t expresado en \$/libra, PA_t es el Fósforo aplicado en el año t expresado en libras/acre, PR_t es el Fósforo residual en el año t expresado en libras/acre y r es la tasa de descuento.

La primera Restricción suma el Fósforo aplicado con el Fósforo residual para el año t . La segunda Restricción expresa como se acumula el Fósforo residual y la Restricción (3) expresa el caso base de Fósforo residual para el primer año en el cual se aplica el Modelo.

Se utilizaron datos de mediciones de Fósforo de varios años para estimar la función que determina cuanto Fósforo se mantiene en suelo entre cosechas.

$$PR_{t+1} = 7.44 + 2.33 \cdot 10^{-1} PA_t + 2.23 \cdot 10^{-1} PR_t$$

Por otro lado, la función de producción se determinó ajustando los datos a varias distribuciones (logarítmica, Mistscherlich-Spillman, cuadrática y cúbica) obteniendo el mejor resultando ajustando sobre un polinomio cúbico. Adicionalmente se introdujeron Variables dummy para diferenciar factores que no pueden ser controlados como ser clima, humedad, etc. (D95 y D96).

$$Y_t = 836.03 + 7.37 PT_t - 1.35 \cdot 10^{-1} PT_t^2 + 7.47 \cdot 10^{-4} PT_t^3 + 39.53 D95 + 2.90 \cdot 10^2 D96$$

2.7.2 Modelo de PL para la producción de Guayaba [19]

Otro estudio similar es un Modelo de PL para optimizar la producción de Guayaba [19] en una chacra en Cuba.

El estudio constó de 3 fases comenzando en la fase 1 con recolección de datos existentes sobre el suelo a partir de estudios anteriores. La segunda fase se caracterizó por ampliar los datos relevados en la fase

1 con información de campo como ser mapas cartográficos, entrevista con los funcionarios del terreno, etc. para finalmente en la última fase realizar el modelado y análisis de los datos. Algunos de los datos relevados para el estudio fueron:

Mes	Promedio de las precip. (mm)	Promedio de las Temp. (o C)	Humedad Relativa Prom. (%)
Enero	37.32	19.56	80.04
Febrero	40.04	21.16	80.2
Marzo	47.78	22.38	77.8
Abril	94.26	23.68	76.4
Mayo	153.22	25.28	78.6
Junio	270.88	25.78	84.2
Julio	137.36	26.36	82.8
Agosto	171.54	26.08	84.6
Septiembre	280.64	25.64	87.4
Octubre	167.44	24.74	85
Noviembre	124.28	22.42	82.8
Diciembre	89.36	21.14	82.6

TABLA 2.7.2.1: PROMEDIOS DE VARIABLES CLIMÁTICAS 1999-2004. FUENTE [19].

Adicionalmente se clasificaron los suelos, se midió el pH de los mismos, su profundidad y humedad. El Modelo de optimización planteado es el siguiente:

$$\text{Max } Z = IN \cdot X$$

con :

$$INT = s \cdot f(x)$$

$$t \cdot X \leq x$$

$$X \geq 0$$

Donde:

- IN: Vector de los ingresos netos obtenidos en la finca, de acuerdo con los precios exógenos de venta de productos y compra de insumos para producción, puestos en la finca.
- X: Vector de las áreas destinadas potencialmente a los diferentes renglones productivos de la finca.
- X: Restricciones por costos de producción.
- F(x): Función de áreas destinadas a la producción para IN.
- s: Vector de ingreso neto por cada área de producción.
- t: Vector de costo de producción para cada área destinada potencialmente a los diferentes renglones productivos en la finca.

2.7.3 Análisis del Impacto Económico del Cambio Climático en la Agricultura [20]

Este estudio analiza los cambios en la ocupación del suelo agrícola en la zona de Monearos, España ante condiciones derivadas de un posible cambio climático y de disponibilidad de agua [20].

Los autores destacan que varios estudios de predicción climáticos indican que la zona en estudio se verá seriamente afectada por cambios climáticos derivados del calentamiento global (temperatura, agua, lluvias, etc.).

Por lo tanto plantean como objetivo del trabajo, evaluar las repercusiones económicas de diferentes escenarios que afectan al uso de recursos hídricos (mayormente afectados por los efectos del calentamiento global) utilizando PL para determinar un plan óptimo de asignación de estos recursos.

Las Variables de decisión del Modelo son las superficies de suelo asignadas a cada cultivo como se muestra en la Tabla 2.7.3.1. Adicionalmente consideran tierra destinada a Barbecho y a exigencias de retirada de tierra exigidas por la PAC (Política Agraria de la Comunidad Europea [21]).

Actividades	Tipos de Suelo			
	S1	S2	S3	S4
Barbecho	-	-	-	X ₁
Trigo	X ₄	X ₅	X ₆	X ₂
Cebada	X ₇	X ₈	X ₉	X ₃
Maíz	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	
Girasol	X ₁₃	X ₁₄	X ₁₅	
Alfalfa	X ₁₆	X ₁₇	X ₁₈	
Arroz	X ₁₉	X ₂₀	X ₂₁	
PAC	X ₂₂	X ₂₃	X ₂₄	
Otros Cultivos	X ₂₆	X ₂₇	X ₂₈	X ₂₉

TABLA 2.7.3.1: VARIABLES DE DECISIÓN DEL MODELO. ASIGNACIÓN DE CULTIVOS A TIPOS DE SUELO. FUENTE [20].

La Función Objetivo definida para el Modelo es:

$$\text{Max } F = c' \cdot x$$

Donde c' representa el vector de coeficientes de la Función Objetivo, y x el vector de actividades de producción [20].

Al Modelo se le agregaron varias restricciones que aportan información sobre la ocupación de la superficie, de sucesión de cultivos, Restricciones políticas sobre el uso de la tierra y disponibilidad de recursos. En particular se agregaron una serie de Restricciones relacionadas con el consumo de agua que para el caso en estudio es considerado un recurso escaso.

$$\sum C_j \cdot X_j - A_k \leq b_i$$

Donde C_j representa la matriz de necesidades de riego mensual del cultivo j , A_k la cantidad de agua adicional en los meses en que el perfil individual del municipio es mayor del perfil medio de la comarca y b_i es la cantidad del recurso disponible según el perfil medio.

2.7.4 Modelos de Programación Lineal Difusa para la Fertilización Óptima de Tierras de Cultivo [74]

En este artículo los autores crean un Modelo de fertilización (selección de abonos) como un Modelo de "Problema de la Dieta". El Modelo se define mediante Programación Lineal Difusa de forma de salvar las diferencias de requerimientos nutricionales entre diversos cultivos.

El Modelo definido por los autores, toma en cuenta un conjunto de fertilizantes y un conjunto de nutrientes que se encuentran en diferentes cantidades en cada uno de los fertilizantes. Su objetivo es minimizar el costo total de los fertilizantes utilizados tomando cumpliendo al mismo tiempo los requerimientos mínimos y máximos para el cultivo.

Dado que estos valores mínimos y máximos varían dentro de la diferente bibliografía técnica consultada para un mismo cultivo, los autores proponen no fijar estos valores y en su lugar utilizar números

triangulares difusos para representar el incremento de la producción en función de la aplicación del fertilizante.

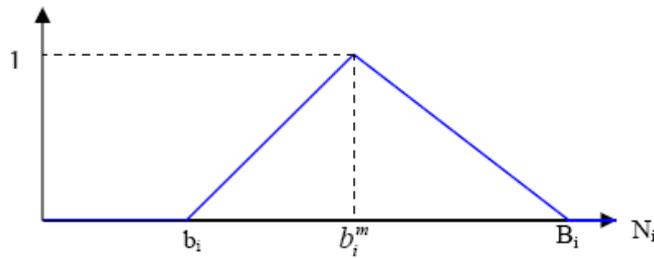


FIGURA 2.7.4.1: CRECIMIENTO DE LA PRODUCCIÓN EN FUNCIÓN DE LA CANTIDAD DE FERTILIZANTE APLICADA. FUENTE [74].

La Figura 2.7.4.1 muestra el incremento en el rendimiento a partir del valor mínimo. Se puede ver que la producción aumenta hasta cierto punto después del cual comienza a decrecer. La existencia de este punto b_i^m es conocida tanto por la teoría como por la práctica [74]. Se definen así los números difusos

triangulares: $b_i = (b_i, b_i^m, B_i)$

El Modelo definido es [74]:

$$\begin{aligned} \min \quad & \sum_{j=1}^n c_j x_j \\ \text{sa} \quad & \\ & \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j =_f b_i, \quad i = 1, \dots, m \\ & x_j \geq 0 \quad j = 1, \dots, n \end{aligned}$$

El significado de las Restricciones $=_f$ es que el lado izquierdo de la ecuación debe ser cercano a b_i^m pero superar los límites superior e inferior, B_i y b_i respectivamente. Se define adicionalmente un nivel de aceptación de la solución [74].

$$\mu(N_i) = \left\{ \begin{array}{ll} 0 & ; \text{ si } N_i \leq b_i \text{ y } N_i \geq B_i \\ 1 + \frac{[N_i - b_i^m]}{b_i^m - b_i} & ; \text{ si } b_i \leq N_i \leq b_i^m \\ 1 + \frac{[N_i - b_i^m]}{b_i^m - B_i} & ; \text{ si } b_i^m \leq N_i \leq B_i \end{array} \right\}$$

Como se puede ver, el nivel de aceptación disminuye a medida que se aleja de b_i^m . Esto representa una variación al problema de PL clásico ya que aquí se permiten soluciones que incumplen las restricciones dentro de un rango aceptado.

Posteriormente los autores plantean el nivel de aceptación de acuerdo a varios métodos: Verdegay, Zimmerman, Werners y analizan los resultados para los diversos métodos. Los experimentos se condujeron en un área de 1 hectárea.

2.7.5 Modelo de PL de la Producción, Integrado en un Sistema Computarizado de Producción, Inventario y Ventas Industrial [75]

Este Modelo de PL de la Producción [75] integra el Sistema de Inventarios desarrollado para la Planta de Medicamentos de PROULA (Figura 2.7.5.1). Tiene el fin de proporcionar información sobre cuanto producir, cuanto demorar y cuanto almacenar en cada período de un horizonte de planeación dado.



FIGURA 2.7.5.1: EL SISTEMA DE INVENTARIOS. FUENTE [75].

Este Modelo univariante, por medio de un tratamiento determinístico, captura datos históricos de la base de datos del sistema y estima la demanda futura. Esta demanda se construye para un horizonte de planeación dividido en períodos. Para cada combinación del horizonte y número de períodos considera las Variables: número de unidades a producir en un período, número de unidades a mantener en inventario de un período al siguiente y número de unidades a demorar de un período al siguiente. Toma en cuenta para la Función Objetivo los costos unitarios asociados con la producción, el almacenaje y la escasez en ambiente inflacionario y, se opera con restricciones de producción.

Parte de las siguientes suposiciones [75]:

- La Función Objetivo y las Restricciones son funciones lineales de las Variables.
- Se trata de un Modelo de múltiples períodos o dinámico.
- La demanda en cada período es conocida al inicio del mismo y, en general no es constante.
- Los costos del producto relacionados con mantenimiento del inventario y de escasez, son conocidos para el primer período, y en caso que varíen de un período a otro, lo hacen según un porcentaje de inflación constante, conocida para el horizonte de planeación.

Las Variables utilizadas en el Modelo son las presentadas en la Tabla 2.7.5.1.

Variable	Descripción
k	Número de períodos: cantidad de períodos en que se divide el horizonte de planeación para el cual se ejecuta el modelo. Entero determinado según sea la combinación de horizonte y lapso de la demanda, en esta versión $k = 2, 3, 4, 6, 8, 12, 24$.
x_i	Número de unidades a producir en el i -ésimo Período, $i = 1, \dots, k$.
y_i	Número de unidades en inventario al final del i -ésimo período, $i = 1, \dots, k$.
z_i	Número de unidades no satisfechas en el i -ésimo período, $i = 1, \dots, k$.
d_i	Número de unidades demandadas del producto en el i -ésimo período, $i = 1, \dots, k$.
y_0	Nivel del inventario inicial del producto (al inicio del período 1).
L	Límite de la capacidad productiva. Número máximo de unidades del producto que pueden ser producidas en un período cualquiera.
c_1	Costo unitario del producto.
c_2	Costo unitario de mantener: costo que representa el mantener en inventario una unidad del producto de un período al siguiente.
c_3	Costo unitario de escasez: costo que representa tener que demorar la entrega de una unidad del producto, de un período al siguiente.
F	Porcentaje anual de inflación.
E	Factor de exceso (>0) o defecto (<0) estimado para la demanda. 1 si no se estima exceso ni defecto.

TABLA 2.7.5.1: TABLA RELACIÓN DE VARIABLES. FUENTE [75].

Función Objetivo [75]:

$$C = \sum_{i=1}^k c_{1,i}x_i + \sum_{i=1}^k c_{2,i}y_i + \sum_{i=1}^k c_{3,i}z_i$$

C: Costo total del sistema.

$c_{1,i}$: Costo unitario del producto en el i -ésimo período.

$c_{2,i}$: Costo unitario de mantener en el i -ésimo período.

$c_{3,i}$: Costo unitario de escasez en el i -ésimo período.

Restricciones [75]:

1 - Para el final de cualquier período, el nivel del inventario es lo que quedó en el período inmediatamente anterior, más la producción en el período actual, menos lo vendido.

$$y_i + \sum_{j=1}^i x_j - z_i = y_0 - \sum_{j=1}^i d_j \quad , i = 1, \dots, k$$

2 - Restricciones de no negatividad para las variables.

$$x_i, y_i, z_i \geq 0 \quad , i = 1, \dots, k$$

3 - Para garantizar que en el horizonte de planeación no queden faltantes por surtir y dado que hay un límite máximo en la capacidad productiva de cada período.

$$z_k = 0 \quad x_i \leq L \quad , i = 1, \dots, k$$

No incluye Restricciones a la capacidad de almacenamiento y a los faltantes, ya que éstas se suponen controladas por el óptimo, porque su costo para la industria es elevado. El porcentaje de exceso o defecto (E) no está incluido porque se supone aplicado previamente.

Entonces, el Problema de Programación de Producción planteado es [75]:

$$\min_{x_i, y_i, z_i} C = \sum_{i=1}^k c_{1,i} x_i + \sum_{i=1}^k c_{2,i} y_i + \sum_{i=1}^k c_{3,i} z_i \quad i = 1, \dots, k$$

Sujeto a:

$$y_i + \sum_{j=1}^i x_j - z_i = y_0 - \sum_{j=1}^i d_j \quad , i = 1, \dots, k$$

$$z_k = 0 \quad x_i \leq L \quad , i = 1, \dots, k$$

$$x_i, y_i, z_i \geq 0 \quad , i = 1, \dots, k$$

2.8 Conclusiones

La Optimización es una rama de la Investigación Operativa que está muy desarrollada y estudiada; y tiene múltiples aplicaciones en ciencias naturales, física, biología, economía, ingeniería, negocios, agricultura, medicina, entre otras.

En este documento tratamos de profundizar en Programación Lineal que es el método más relevante para el problema que debemos resolver.

En cuanto al Software, existen varias herramientas desarrolladas tanto libres como pagas que sirven para resolver gran cantidad de problemas de Optimización.

Se han relevado varios estudios que desarrollan modelos de Optimización para problemas de agricultura donde se optimizan aspectos de la producción agrícola, tomando en cuenta solamente algunos de los nutrientes relevantes como ser Nitrógeno, Potasio y Fósforo. No encontramos ningún estudio de complejidad similar al que se nos propone realizar que incluya todas las variables en estudio.

2.9 Referencias Bibliográficas

- [1] *Deterministic Modeling: Linear Optimization with Applications* University of Baltimore, <http://home.ubalt.edu/ntsbarsh/opre640a/partVIII.htm>, accedida el 12 de Mayo de 2007.
- [2] *Mathematical Model*, http://en.wikipedia.org/wiki/Mathematical_model, accedida el 15 de Mayo de 2007.
- [3] Pedro Linares, Andrés Ramos, Pedro Sánchez, Ángel Sarabia, Begoña Vitoriano, *Modelos Matemáticos de Optimización*, Universidad Pontificia, ICAI, ICADE, Comillas, Madrid, Octubre 2001.
- [4] M. En C. Eduardo Bustos Farías, *Optimización Lineal*, ESCOM.
- [5] Enrique Eduardo Tarifa, *Optimización y Simulación de Procesos*, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy.
- [6] *Curso Introducción a la Investigación de Operaciones*, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Uruguay. <http://www.fing.edu.uy/inco/cursos/io/>, accedida el 12 de Mayo de 2007.
- [7] Ing. Juan Carlos Figueroa Figueroa, *Análisis de Sensibilidad*, <http://www.elprisma.com/apuntes/matematicas/analisisdesensibilidad/>, accedida el 21 de Mayo de 2007.
- [8] Robert Fourer, David M. Gay, Brian W. Kernighan, *Design Principles and New Developments in the AMPL Modeling Language*, NorthWestern University, Evanston, IL, EE.UU., Junio 2003. <http://www.ampl.com/REFS/abstracts.html#amplmod>, accedida el 15 de Mayo de 2007.
- [9] Robert Fourer, *AMPL Frequented Asqued Questions*, <http://www.ampl.com/FAQ/index.html>, accedida el 14 de Mayo de 2007.
- [10] *The GAMS System*, <http://www.gams.com/docs/intro.htm>, accedida el 18 de Mayo de 2007.
- [11] *The GNU Linear Programming Kit, Part 1: Introduction to linear optimization*, <http://www-128.ibm.com/developerworks/linux/library/l-qlpk1>, accedida el 22 de Mayo de 2007.
- [12] LINDO SYSTEMS INC., <http://www.lindo.com/products/lingo/lingom.html>, accedida el 26 de Mayo de 2007.
- [13] *Introducción al Programa WinQSB*, www.uv.es/martinek/material/WinQSB2.0.pdf, accedida el 21 de Mayo de 2007.
- [14] *RIOT: Interactive Linear Programming*, <http://ford.ieor.berkeley.edu/riot/Tools/InteractLP>, accedida el 23 de Mayo de 2007.
- [15] *Daedalus, Xpress-KP*, <http://www.daedalus.es/ProdXpress-E.php>, accedida el 24 de Mayo de 2007.
- [16] *MPL Modeling System*, <http://www.maximal-usa.com/mpl>, accedida el 24 de Mayo de 2007.
- [17] Susan E. Watson, Eduardo Segarra, Man Yu, Hong Li, Robersto Lescano, Kevin Bronson, *Assesment of the Profitability of Precision Farming in Irrigate Cotton Production*, Beltwide Cotton Conferences, Atlanta GA., Enero 2002.
- [18] Man Yu, Eduardo Segarra, Douglas Nesmith, *Spatial Utilization of Phosphorus: Implications for Precision Agricultura Practices*,
- [19] Ramón Nonato Brunet Leyva, Mercedes Albelo, *Utilización de un Modelo de programación lineal para optimizar la producción de Guayaba (Psidium Guajava) en CCS de la Habana*, Ilustrados.com ISPN: EEVFkFFAZknZeBspew, Julio 2006.
- [20] Fernando Mestre Sanchís, José M^a Moreno-Jiménez, M^a Luisa Feijóo Bello, *CAMBIO CLIMÁTICO Y AGUA: ANALISIS DE IMPACTO ECONOMICO EN LA AGRICULTURA*, III Congreso Ibérico sobre Gestión y Planificación del Agua, 2002.
- [21] Comisión Europea, Agricultura y desarrollo Rural, http://ec.europa.eu/agriculture/index_es.htm, accedida el 3 de Junio de 2007.
- [22] Dr. Ing. Franco Bellini M, *Fundamentos de Investigación de Operaciones. El Problema de Transporte*, Universidad Santa María, Caracas, Venezuela, 2004.
- [23] *Simulated Annealing*, http://en.wikipedia.org/wiki/Simulated_annealing, accedida el 3 de Junio de 2007.
- [24] Stefan Voß, David L.Woodruff, *Introduction to Computacional Optimization Models for Production Planning in a Supply Chain*, ISBN-10 3-540-29878-9 2nd ed. Springer Berlin Heidelberg New Cork, Octubre 2005.
- [25] *Tabu Search*, http://en.wikipedia.org/wiki/Tabu_search, accedida el 3 de Junio de 2007.
- [26] Antonio Caro Merchante, *Programación Lineal*, Descartes, Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, 2000.

- http://w3.cnice.mec.es/Descartes/Bach_HCS_1/Programacion_lineal/PI_indice.htm,
accedida el 15 de Mayo de 2007.
- [27] Enrique Castillo, Antonio J. Conejo, Pablo Pedregal, Ricardo García, Natalia Alguacil, *Formulación y Resolución de Modelos de Programación Matemática en Ingeniería y Ciencia*, Universidad de Castilla, Febrero 2002.
<http://departamentos.unican.es/macc/personal/profesores/castillo/descargas.htm> accedida el 15 de Mayo de 2007.
- [28] X Elavio, *Escuela Latinoamericana de Verano de Investigación Operativa*, Montevideo, Uruguay, Febrero 2004. <http://www.fing.edu.uy/inco/eventos/elavio/resumenes.htm>,
accedida el 28 de Mayo de 2007.
- [29] Rafael Caballero, Emilio Cerdá, María del Mar Muñoz, Lourdes Rey, *Programación Estocástica Multiobjetivo*, V Jornadas Asepuma, España.
- [30] Curso 2007 Optimización Bajo Incertidumbre, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Uruguay.
- [31] Marcel Goic F., *Dualidad y Análisis de Sensibilidad*, Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.
<http://www.andrew.cmu.edu/user/mgoic/files/documents/optimization/dualidad.pdf>, accedida el 21 de Mayo de 2007.
- [32] Dr. Ing. Franco Bellini M., *Programación Lineal*, Investigación de Operaciones, Curso de la Escuela de Administración y Contaduría, Universidad Santa María, Caracas, Venezuela, Julio 2004. <http://www.investigacion-operaciones.com/contenido.htm>, accedida el 15 de Mayo de 2007.
- [33] *Manual de Investigación Operativa*, <http://www.investigacion-operaciones.com/material%20didactico/MANUAL%20INV%20OPER.pdf>, accedida el 21 de Mayo de 2007.
- [34] *Gestión de Investigación de Operaciones*, http://www.investigacion-operaciones.com/Presentaciones/Investigacion_Operaciones.ppt, accedida el 21 de Mayo de 2007.
- [35] *Modelos Deterministas, Optimización lineal*, <http://home.ubalt.edu/ntsbarsh/opre640S/SpanishD.htm#rlp>, accedida el 3 de Junio de 2007.
- [36] *Universidad del Valle, Cali, Colombia, Departamento de Matemáticas*, <http://matematicas.univalle.edu.co/index.php?page=hv/nombre&nm=HectorJ>, accedida el 3 de Junio de 2007.
- [37] *Programación Lineal Entera y Mixta*, <http://www.edicionsupc.es/ftppublic/pdfmostra/OE03203M.pdf>, accedida el 28 de Mayo de 2007.
- [38] Adam Marczyk, *Genetic Algorithms and Evolutionary Computation*, <http://www.talkorigins.org/faqs/genalg/genalg.html>, Abril 2004.
- [39] *Algoritmo genético*, http://es.wikipedia.org/wiki/Algoritmo_gen%C3%A9tico, Accedida el 6 de Junio de 2007.
- [40] *Ant colony optimization*, http://en.wikipedia.org/wiki/Ant_colony_optimization, Accedida el 6 de Junio de 2007.
- [41] *Programación no lineal*, http://es.wikipedia.org/wiki/Programaci%C3%B3n_no_lineal
accedida el 6 de Junio de 2007.
- [42] *Clase de Programación Dinámica dictada el 30/05/06 por Andrea Torres*, <http://www.fceia.unr.edu.ar/lcc/t312/archivos.php> accedida el 29 de Mayo de 2007.
- [43] *Método Simplex*, <http://www.ime.usp.br/~mqz/mac315-2003/cap3.pdf>, accedida el 6 de Junio de 2007.
- [44] Héctor Manuel Mora Escobar, *¿Qué es el método de Karmarcar?* Departamento de Matemáticas y Estadística, Universidad Nacional de Colombia, Santafé de Bogotá.
www.matematicas.unal.edu.co/~hmora/kar_m_c.ps, accedida el 6 de Junio de 2007.
- [45] *Curso Modelado y Optimización*, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Uruguay. <http://www.fing.edu.uy/inco/cursos/modopt/>, accedida el 1 de Julio de 2007.
- [46] Alejandro Garces Ruiz, Eliana Mirdedy Toro O., Juan Carlos Galvis M., *Método de puntos interiores aplicado al problema de transportes*, Grupo de Planeamiento en Sistemas eléctricos, Área de Investigación de Operaciones, Scientia et Technica Año XI, No 27, Abril 2005. UTP. ISSN 0122-1701.
http://www.utp.edu.co/~planeamiento/prod_aca/articulos/1445749-54.pdf, accedida el 2 de Julio de 2007.

- [47] Edgar M. Carreño F., Eliana M. Toro Ocampo, Antonio Escobar Z., *Optimización de sistemas lineales usando métodos de punto interior*, Grupo de Planeamiento Eléctrico, Área de Investigación Operativa, Scientia et Technica Año X, No 24, Mayo 2004. UTP. ISSN 0122-1701. <http://www.utp.edu.co/php/revistas/ScientiaEtTechnica/docsFTP/1535743-48.pdf>, accedida el 2 de Julio de 2007.
- [48] Alibeit Kakes, *Optimización Lineal Método Simplex y Métodos Primal – Dual de Punto Interior*, Boletín de la Sociedad Cubana de Matemática y Computación, Vol. 2, No. 1, Septiembre 2004, 2004, SCMC ISSN 1728-6042 RNPS 2017. http://www.matcom.uh.cu/bolscmc/BSCMCVol2No12005/Articulo6V2N1P43_52.pdf, accedida el 2 de Julio de 2007.
- [49] Jordi Castro, *Una Introducción al Método del Escalado Afín Para Programación Lineal*, Departamento de Estadística e Investigación Operativa, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, 2000. <ftp://ftp-eio.upc.es/pub/onl/reports/dr2000-02.pdf>, accedida el 2 de Julio de 2007.
- [50] Alberto Coto, *Calculista Record Guinness*, <http://www.albertocoto.com/secciones/grandesmat/Dantzing.htm>, accedida el 3 de Julio de 2007.
- [51] *La Investigación Operativa*, <http://www.eio.uva.es/~ricardo/io/introio.pdf>, accedida el 3 de Julio de 2007.
- [52] *Fundamentos Ideológicos y Geométricos del Algoritmo Elipsoidal, Capítulo 2*, <http://yalma.fime.uanl.mx/~pisis/ftp/pubs/thesis/msc/2002-ycp/yez-p041-cap2.pdf>, accedida el 3 de Julio de 2007.
- [53] *El Problema de la Programación No Lineal*, <http://departamentos.unican.es/macc/personal/profesores/castillo/Transparencias/Curso4.pdf>, accedida el 4 de Julio de 2007.
- [54] *El Método Dual Simplex*, <http://docencia.udea.edu.co/ingenieria/plineal/dualidad10.htm>, accedida el 4 de Julio de 2007.
- [55] B. Arias Pérez, D. González Aguilera, J. Gómez Lahoz, N. Sánchez Martín, *Rectificación de Planos en Imágenes Oblicuas*, VIII Congreso Nacional de Topografía y Cartografía, Madrid, 2004. <http://www.cartesia.org/geodoc/topcart2004/conferencias/08.pdf>, accedida el 4 de Julio de 2007.
- [56] *Método de Newton*, http://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9todo_de_Newton, accedida el 4 de Julio de 2007.
- [57] *Wikipedia*, http://es.wikipedia.org/wiki/Ramificaci%C3%B3n_y_poda accedida el 4 de Julio de 2007.
- [58] Raul Gutiérrez García, *Evaluación de Cotas Estrictas para el Análisis en Estado Límite de Geomateriales mediante Programación Cónica de Segundo Orden*, Universitat Politècnica de Catalunya. Departament de Matemàtica Aplicada III, Julio 2005.
- [59] Rosa Guerequeta y Antonio Vallecillo, *Técnicas de Diseño de Algoritmos*, Universidad de Málaga. 1998, ISBN: 84-7496-666-3
- [60] *Solvers that Works with AMPL*, <http://www.ampl.com/solvers.html> accedida el 2 de Julio de 2007.
- [61] *GAMS Model Types*, <http://www.gams.com/modtype/index.htm>, accedida el 3 de Julio de 2007.
- [62] Sergio Alonso, Oscar Cordón, Iñaki Fernández de Viana, Francisco Herrera, *La Metaheurística de Optimización Basada en Colonias de Hormigas*, Departamento de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial, E.T.S. Ingeniería Informática, Granada (España), [http://sci2s.ugr.es/publications/ficheros/OCH%20Modelos%20y%20Nuevos%20Enfoques%20\(Chapter\).pdf](http://sci2s.ugr.es/publications/ficheros/OCH%20Modelos%20y%20Nuevos%20Enfoques%20(Chapter).pdf) .
- [63] Rafael Martí Cuáquero, *Algoritmos Heurísticos en Optimización Combinatoria*, Departament d'Estadística i Investigació Operativa, Universitat de València, <http://www.uv.es/~rmarti/docencia/doctorado/Intro.pdf> accedida del 15 de Julio de 2007.
- [64] NP-hard, <http://es.wikipedia.org/wiki/NP-hard>, accedida el 16 de Julio de 2007.
- [65] Mario Aldea Rivas, *Algoritmos heurísticos y aproximados*, http://www.ctr.unican.es/asignaturas/programacion2/11_heuristicos_2en1.pdf, accedida el 24 de Julio de 2007.
- [66] *Antecedentes Históricos del Método Elipsoidal y Problemas sobre Conjuntos Convexos, Capítulo 1*, <http://yalma.fime.uanl.mx/~pisis/ftp/pubs/thesis/msc/2002-ycp/yez-p027-cap1a.pdf>, accedida el 25 de Julio de 2007.

- [67] *Capítulo 3: Métodos de Solución, Gráficos, Analíticos. Algoritmo de Khachian. Universidad Nacional de Colombia.*
http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4060014/docs_curso/Capitulo%20III/akhachian.htm, accedida el 25 de Julio de 2007.
- [68] Enrique Rivera Castillo, *Implementación Computacional de un Método Primal –Dual de Punto Interior párale caso de matrices tridiagonales por bloques. Tesis Profesional.* Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ciencias de la Computación, 2003. <http://andromeda.cs.buap.mx/tesis/TES677.pdf>, accedida el 25 de Julio de 2007.
- [69] González Martín C., Sánchez García M., *El Método de Karmarkar: Un Estudio de sus Variantes*, Dpto. de Estadística e IO, Universidad de La Laguna, 1991. http://dmle.cindoc.csic.es/pdf/TRABAJOSDEINVESTIGACIONOPERATIVA_1991_06_01_01.pdf, accedida el 25 de Julio de 2007.
- [70] *Capítulo 3: Métodos de Solución, Gráficos, Analíticos. Método del Escalado Afín. Universidad Nacional de Colombia.*
http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4060014/docs_curso/Capitulo%20III/variantes.htm, accedida el 25 de Julio de 2007.
- [71] Capítulo III. Metodología.
http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lat/jimenez_a_mt/capitulo3.pdf, accedida el 26 de Julio de 2007.
- [72] Transformaciones Proyectivas,
<http://ie.fing.edu.uy/investigacion/grupos/gti/cursos/egvc/material/tema-1.pdf>, accedida el 26 de Julio de 2007.
- [73] AT&T Inc., <http://es.wikipedia.org/wiki/AT&T>, accedida el 27 de Julio de 2007.
- [74] Esmelin Niquín Alayo, Edmundo Rúben Vergara Moreno, José Luis Verdegay, *MODELOS DE PROGRAMACIÓN LINEAL DIFUSA PARA LA FERTILIZACIÓN ÓPTIMA DE TIERRAS DE CULTIVO*, Universidad Nacional “Santiago Antúnez de Mayolo” - Perú, Universidad Nacional de Trujillo – Perú, Universidad de Granada,
<http://www.institucional.us.es/sisting/forum/download.php?id=15&sid=eddd5daaad0dc168620750ba89c7339>, accedida el 10 de Septiembre de 2007.
- [75] Ernesto Ponsot Balaguer, Víctor Márquez, *Modelo de Programación Lineal de la Producción, Integrado en un Sistema Computarizado de Producción, Inventario y Ventas Industrial*, Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Económicas y Sociales, Departamento de Estadística, Instituto de Estadística Aplicada y Computación, publicado en Revista Economía N° 16, año 2000.
http://ies.faces.ula.ve/Revista/Articulos/Revista_16/Pdf/Rev16Ponsot.pdf, accedida el 19 de Septiembre de 2007.
- [76] Análisis de Regresión, <http://entomologia.rediris.es/pribes/Lobo/Regresion.html>, accedida el 30 de Marzo de 2008.

3 Anexo 3 – Modelos Teóricos de los Cultivos

3.1 Modelo de Trigo

3.1.1 Consideraciones

- Realizamos un modelo para cada etapa a considerar del cultivo (Para este caso: Siembra, Z_{22} , Z_{30}).
- Trataremos de manejar todas las unidades en Kg.
- Tratamiento sin AP: tomar 1 zona de manejo (toda la chacra) y utilizar como costo de producción el costo de manejo de 1 zona.
- Tratamiento con AP: tomar l zonas de manejo tomando el costo de manejo de l zonas.
- Consideramos los niveles de N en suelo en cada estado vegetativo (Siembra, Z_{22}) y el % de N en planta para Z_{30} .

3.1.2 Etapa Siembra

3.1.2.1 Datos

Dato	Descripción	Observaciones
Manejo	Indicador de si se desea utilizar AP o no.	Variable entera: 0 (sin AP) o 1 (con AP).
Laboreo	Indicador de si se utiliza Laboreo Convencional (LC) o Siembra Directa (SD)	Variable entera 0 (SD) o 1 (LC).
m	Cantidad de insumos.	Los insumos son por ejemplo urea, etc., es decir son todos los fertilizantes que aplico, los cuales elige el usuario.
l	Cantidad de Zonas de Manejo.	
L_j	Determina si el insumo j es liquido o solido, $j=1..m$.	Liquido=1, Solido=0.
aN_j	Cantidad de N en una unidad de insumo j , $j=1..m$.	Kg. de N por Kg. de insumo j .
aP_j	Cantidad de P en una unidad de insumo j . $j=1..m$	Kg. de P por Kg. de insumo j .
$Precio_Insumo_j$	Precio de una unidad de insumo, $j=1..m$.	\$/Kg.
RN_z	Cantidad de N residual en el suelo por hectárea por zona de manejo z , $z=1..l$.	Kg./Ha.
RP_z	Cantidad de P residual en el suelo por hectárea por zona de manejo z , $z=1..l$.	Kg./Ha.
G	Presupuesto disponible.	\$. Es de esperar que el usuario ingrese el presupuesto disponible para la etapa solamente.
$Precio$	Precio del cultivo cosechado por unidad.	\$/Kg. Ejemplo para trigo sería el precio que cobro por kilo de trigo. El usuario puede ingresar tanto el internacional como el local y ese es el que se utilizará.
H	Cantidad total de hectáreas de la chacra.	Ha. Es la suma de todas las H_z cultivables.
H_z	Cantidad de hectáreas de cada zona de manejo z , $z=1..l$.	Ha cultivables.

Costo_Muestra_AP	Costo de tomar la muestra de suelo considerando AP.	\$/ha.
Costo_Muestra_SAP	Costo de tomar la muestra de suelo sin considerar AP.	\$/ha.
Costo_Fert_Liq_AP	Costo de fertilización con líquidos con AP.	\$/ha.
Costo_Fert_Liq_SAP	Costo de fertilización con líquidos sin AP.	\$/ha.
Costo_Fert_Sol_AP	Costo de fertilización con sólidos con AP.	\$/ha.
Costo_Fert_Sol_SAP	Costo de fertilización con sólidos sin AP.	\$/ha.

3.1.2.2 Constantes

PpmToKgHa20 = 2.66

P205toP = 0.44

3.1.2.3 Variables

Variable	Descripción	Observaciones
X_z	Cantidad de N aplicado por zona de manejo $z, z=1..l$.	Kg.
Y_z	Cantidad de P aplicado por zona de manejo $z, z=1..l$.	Kg.
W_{zj}	Cantidad del insumo j aplicado para cada zona de manejo $z, z=1..l$.	Kg.
Rend	Rendimiento del cultivo.	Kg./Ha. Sumatoria de todos los rendimientos de las zonas.
Rend_z	Rendimiento del cultivo por zona de manejo $z, z=1..l$.	Kg./Ha.
RendN_z	Rendimiento del cultivo según N por zona de manejo $z, z=1..l$.	Kg./Ha.
CTotal	Costo total de producción.	\$.
C	Costo de producción.	\$/ha. Se va a tomar un valor único de todo lo que es fijo. Por defecto se considera solo el costo de tomar la muestra.
Costos_Insumos_z	Costo total de los insumos que estoy aplicando en una zona de manejo $z, z=1..l$.	\$.
Ganancia	Ganancias totales obtenidas de la producción.	\$.

3.1.2.4 Restricciones

1. El costo total de producción es menor o igual al presupuesto disponible.

$$CTotal \leq G$$

2. El costo total de producción es igual a la suma de todos los costos.

$Total_z = 0$
if (*Manejo*)
 if ($X_z > 0 \parallel Y_z > 0$)
 if (*Liquido*)
 $Total_z = Total_z + Costo_Fert_Liq_AP$
 else
 $Total_z = Total_z + Costo_Fert_Sol_AP$
 else
 if ($X_z > 0 \parallel Y_z > 0$)
 if (*Liquido*)
 $Total_z = Total_z + Costo_Fert_Liq_SAP$
 else
 $Total_z = Total_z + Costo_Fert_Sol_SAP$

$$Costos_Insumos_z = \sum_{j=1}^m (W_{zj} * Precio_Insumo_j)$$

$$C = (Manejo) * Costo_Muestra_AP + (1 - Manejo) * Costo_Muestra_SAP$$

$$CTotal = C * H + \sum_{z=1}^l ((Total_z * H_z) + Costos_Insumos_z) \quad z = 1..l$$

3. El N total aplicado para una zona es igual a la suma de lo aplicado por cada uno de los insumos para esa zona.

$$X_z = \left(\sum_{j=1}^m W_{zj} \cdot aN_j \right) \quad z = 1..l$$

4. El P total aplicado para una zona es igual a la suma de lo aplicado por cada uno de los insumos para esa zona.

$$Y_z = \left(\sum_{j=1}^m W_{zj} \cdot aP_j \right) \quad z = 1..l$$

5. Para cada zona, la cantidad de N aplicado debe ser menor a 60 Kg. N/Ha. en siembra [3], pero se deja variable para que el usuario ingrese el tope.

$$0 \leq \frac{X_z}{H_z} \leq 60 \quad z = 1..l$$

6. Se determinó que para asegurar una adecuada disponibilidad de N durante las primeras etapas de crecimiento de un cultivo se requiere agregar 10 Kg. de N/Ha. a la siembra por cada 2.5 ppm por debajo de 22.5 ppm de nitrato en el suelo (0-20 cm) [3].

if ($RN_z > 22.5 * PpmToKgHa20$)

$$X_z = 0$$

else

$$X_z = 10 * \left(\frac{22.5 * PpmToKgHa20 - RN_z}{2.5 * PpmToKgHa20} \right) * H_z \quad z = 1..J$$

RN_z : es el Nitrógeno residual en el suelo para la zona z. Unidad: Kg. N /Ha.

X_z : es la cantidad de N aplicada para la zona z. Unidad: Kg. N.

7. El rendimiento total por hectárea de la chacra es igual a la suma de los rendimientos de todas las zonas dividido la cantidad de hectáreas de la chacra.

$$Rend = \left(\sum_{z=1}^J (Rend_z * H_z) \right) / H$$

8. El rendimiento de una zona es una función del rendimiento de las diferentes variables a optimizar.

$$Rend_z = RendN_z$$

9. Rendimiento del N a la siembra: $y = -0,4544x^2 + 38,3641x + 179,95$, donde x es el N (Kg./Ha.) aplicado e y el rendimiento (Kg./Ha.) [1].

Se transformo la función de rendimiento en 5 funciones lineales.

$$RendN_z = 29.2761 \frac{X_z}{H_z} + 179.95 \quad 0 \leq \frac{X_z}{H_z} \leq 20$$

$$RendN_z = 11.1001 \frac{X_z}{H_z} + 543.47 \quad 20 < \frac{X_z}{H_z} \leq 40$$

$$RendN_z = -7.0759 \frac{X_z}{H_z} + 1270.51 \quad 40 < \frac{X_z}{H_z} \leq 60$$

$$RendN_z = -25.252 \frac{X_z}{H_z} + 2361.07 \quad 60 < \frac{X_z}{H_z} \leq 80$$

$$RendN_z = -43.428 \frac{X_z}{H_z} + 3815.15 \quad 80 < \frac{X_z}{H_z} \leq 100$$

10. Fósforo a aplicar según nivel de P en el suelo [2].

Cuadro 2. Cuadro ajuste de dosis de P según nivel en los primeros 20 cm de suelo (Bray N°1).

ppm P Bray N°1	Kg P2O5/Ha
< 3	80
3 - 5	80 - 60
5 - 7	60 - 40
7 - 9	40 - 25
9 - 11	25 - 10
11 - 13	10 - 0
> 13	0

Adaptado de Capurro et. al. 1982

$$\begin{aligned}
 Y_z &= 80 & 0 \leq RP_z / PpmToKgHa20 < 3 \\
 Y_z &= -10 \cdot RP_z / PpmToKgHa20 + 110 \cdot H_z \cdot P2O5toP & 3 \leq RP_z / PpmToKgHa20 \leq 7 \\
 Y_z &= -7,5 \cdot RP_z / PpmToKgHa20 + 92,5 \cdot H_z \cdot P2O5toP & 7 < RP_z / PpmToKgHa20 < 11
 \end{aligned}$$

if Laboreo

$$Y_z = -5 \cdot RP_z / PpmToKgHa20 + 65 \cdot H_z \cdot P2O5toP, 11 \leq RP_z / PpmToKgHa20 \leq 13$$

$$Y_z = 0, RP_z / PpmToKgHa20 > 13$$

else

$$Y_z = -1,67 \cdot RP_z / PpmToKgHa20 + 28,4 \cdot H_z \cdot P2O5toP, 11 \leq RP_z / PpmToKgHa20 \leq 17$$

$$Y_z = 0, RP_z / PpmToKgHa20 > 17$$

11. La ganancia total es el total cosechado por el precio del grano por Kg.

$$Ganancia = Rend \cdot H \cdot Precio$$

3.1.2.5 Función Objetivo

Maximizar el beneficio económico.

$$\max Ganancia - C_{Total}$$

3.1.3 Etapa Z₂₂

3.1.3.1 Datos

Dato	Descripción	Observaciones
Manejo	Indicador de si se desea utilizar AP o no.	Variable entera: 0 (sin AP) o 1 (con AP).
Laboreo	Indicador de si se utiliza Laboreo Convencional (LC) o Siembra Directa (SD)	Variable entera 0 (SD) o 1 (LC).
<i>m</i>	Cantidad de insumos.	Los insumos son por ejemplo urea, etc., es decir son todos los fertilizantes que aplico, los cuales elige el usuario.
<i>l</i>	Cantidad de Zonas de Manejo.	
<i>L_j</i>	Determina si el insumo <i>j</i> es líquido o sólido, <i>j=1..m</i> .	Líquido=1, Sólido=0.
<i>aN_j</i>	Cantidad de N en una unidad de insumo <i>j</i> , <i>j=1..m</i> .	Kg. de N por Kg. de insumo <i>j</i> .
<i>Precio_Insumo_j</i>	Precio de una unidad de insumo, <i>j=1..m</i> .	\$/Kg.
<i>RN_z</i>	Cantidad de N residual en el suelo por hectárea por zona de manejo <i>z</i> , <i>z=1..l</i> .	Kg./Ha.
<i>G</i>	Presupuesto disponible.	\$. Es de esperar que el usuario ingrese el presupuesto disponible para la etapa solamente.
<i>Precio</i>	Precio del cultivo cosechado por unidad.	\$/Kg. Ejemplo para trigo sería el precio que cobro por kilo de trigo. El usuario puede ingresar tanto el internacional como el local y ese es el que se utilizará.
<i>H</i>	Cantidad total de hectáreas de la chacra.	Ha. Es la suma de todas las <i>H_z</i> cultivables.
<i>H_z</i>	Cantidad de hectáreas de cada zona de manejo <i>z</i> , <i>z=1..l</i> .	Ha. cultivables.
<i>Costo_Muestra_AP</i>	Costo de tomar la muestra de suelo considerando AP.	\$/Ha.
<i>Costo_Muestra_SAP</i>	Costo de tomar la muestra de suelo sin considerar AP.	\$/Ha.
<i>Costo_Fert_Liq_AP</i>	Costo de fertilización con líquidos con AP.	\$/Ha.
<i>Costo_Fert_Liq_SAP</i>	Costo de fertilización con líquidos sin AP.	\$/Ha.
<i>Costo_Fert_Sol_AP</i>	Costo de fertilización con sólidos con AP.	\$/Ha.
<i>Costo_Fert_Sol_SAP</i>	Costo de fertilización con sólidos sin AP.	\$/Ha.

3.1.3.2 Constantes

PpmToKgHa20 = 2.66

3.1.3.3 Variables

Variable	Descripción	Observaciones
X_z	Cantidad de N aplicado por zona de manejo $z, z=1..l$.	Kg.
Y_z	Cantidad de P aplicado por zona de manejo $z, z=1..l$.	Kg.
W_{zj}	Cantidad del insumo j aplicado para cada zona de manejo $z, z=1..l$.	Kg.
Rend	Rendimiento del cultivo.	Kg./Ha. Sumatoria de todos los rendimientos de las zonas.
Rend_z	Rendimiento del cultivo por zona de manejo $z, z=1..l$.	Kg./Ha.
RendN_z	Rendimiento del cultivo según N por zona de manejo $z, z=1..l$.	Kg./Ha.
CTotal	Costo total de producción.	\$.
C	Costo de producción.	\$/Ha. Se va a tomar un valor único de todo lo que es fijo. Por defecto se considera solo el costo de tomar la muestra.
Costos_Insumos_z	Costo total de los insumos que estoy aplicando en una zona de manejo $z, z=1..l$.	\$.
Ganancia	Ganancias totales obtenidas de la producción.	\$.

3.1.3.4 Restricciones

1. El costo total de producción es menor o igual al presupuesto disponible.

$$CTotal \leq G$$

2. El costo total de producción es igual a la suma de todos los costos.

$Total_z = 0$
if (*Manejo*)
 if ($X_z > 0 \parallel Y_z > 0$)
 if (*Liquido*)
 $Total_z = Total_z + Costo_Fert_Liq_AP$
 else
 $Total_z = Total_z + Costo_Fert_Sol_AP$
 else
 if ($X_z > 0 \parallel Y_z > 0$)
 if (*Liquido*)
 $Total_z = Total_z + Costo_Fert_Liq_SAP$
 else
 $Total_z = Total_z + Costo_Fert_Sol_SAP$

$$Costos_Insumos_z = \sum_{j=1}^m (W_{zj} * Precio_Insumo_j)$$

$$C = (Manejo) * Costo_Muestra_AP + (1 - Manejo) * Costo_Muestra_SAP$$

$$CTotal = C * H + \sum_{z=1}^l ((Total_z * H_z) + Costos_Insumos_z) \quad z = 1..l$$

3. El N total aplicado para una zona es igual a la suma de lo aplicado por cada uno de los insumos para esa zona.

$$X_z = \left(\sum_{j=1}^m W_{zj} \cdot aN_j \right) \quad z = 1..l$$

4. El P total aplicado para una zona es igual a la suma de lo aplicado por cada uno de los insumos para esa zona.

$$Y_z = \left(\sum_{j=1}^m W_{zj} \cdot aP_j \right) \quad z = 1..l$$

5. No se aplica P [2].

$$Y_z = 0$$

6. Lo aplicado de N no es negativo.

$$0 \leq \frac{X_z}{H_z} \quad z = 1..l$$

7. Se determinó que para asegurar una adecuada disponibilidad de N durante las primeras etapas de crecimiento de un cultivo se requiere agregar 10 Kg. de N/Ha. a la siembra por cada 2.5 ppm por debajo de 22.5 ppm de nitrato en el suelo (0-20 cm). Al inicio del macollaje: la determinación de nitrato en el suelo a este estado puede usarse también para calcular la cantidad de N a aplicar usando el mismo criterio que a la siembra, pero en este caso se debe partir de 15 – 17.5 ppm en lo 0-20 cm de

profundidad [3].

$$\begin{aligned} & \text{if}(RN_z > 17.5 * PpmToKgHa20) \\ & \quad X_z = 0 \\ & \text{else} \\ & \quad X_z = 10 * \left(\frac{17.5 * PpmToKgHa20 - RN_z}{2.5 * PpmToKgHa20} \right) * H_z \quad z = 1..l \end{aligned}$$

RN_z: es el Nitrógeno residual en el suelo para la zona z. Unidad: Kg. N/Ha.

X_z: es la cantidad de N aplicada para la zona z. Unidad: Kg. N.

8. El rendimiento total por hectárea de la chacra es igual a la suma de los rendimientos de todas las zonas dividido la cantidad de hectáreas de la chacra.

$$Rend = \left(\sum_{z=1}^l (Rend_z * H_z) \right) / H$$

9. El rendimiento de una zona es una función del rendimiento de las diferentes variables a optimizar.

$$Rend_z = RendN_z$$

10. Rendimiento según dosis de N aplicado [3].

Laboreo Convencional

$$y = 3350 + 16x$$

x = Kg. N/Ha., y=rendimiento Kg./Ha.

Siembra Directa

$$y = 2400 + 40x - 0,1703x^2$$

x = Kg. N/Ha., y=rendimiento Kg./Ha.

Se transformo la función de rendimiento de Siembra Directa en 4 funciones lineales.

$$FuncionLineal = 34,891 \frac{X_z}{H_z} + 2400 \quad 0 \leq \frac{X_z}{H_z} \leq 30$$

$$FuncionLineal = 24,673 \frac{X_z}{H_z} + 2706,54 \quad 30 < \frac{X_z}{H_z} \leq 60$$

$$FuncionLineal = 14,455 \frac{X_z}{H_z} + 3319,62 \quad 60 < \frac{X_z}{H_z} \leq 90$$

$$FuncionLineal = 4,237 \frac{X_z}{H_z} + 4239,24 \quad 90 < \frac{X_z}{H_z} \leq 120$$

$$\text{RendN}_z = 3350 + 16 X_z / H_z \cdot \text{Laboreo} + 1 - \text{Laboreo} \cdot \text{FuncionLineal}$$

11. La ganancia total es el total cosechado por el precio del grano por Kg.

$$\text{Ganancia} = \text{Rend} \cdot H \cdot \text{Precio}$$

3.1.3.5 Función Objetivo

Maximizar el beneficio económico.

$$\max \text{Ganancia} - \text{CTotal}$$

3.1.4 Etapa Z₃₀

3.1.4.1 Datos

Dato	Descripción	Observaciones
Manejo	Indicador de si se desea utilizar AP o no.	Variable entera: 0 (sin AP) o 1 (con AP).
Laboreo	Indicador de si se utiliza Laboreo Convencional (LC) o Siembra Directa (SD)	Variable entera 0 (SD) o 1 (LC).
m	Cantidad de insumos.	Los insumos son por ejemplo urea, etc., es decir son todos los fertilizantes que aplico, los cuales elige el usuario.
l	Cantidad de Zonas de Manejo.	
L_j	Determina si el insumo j es liquido o solido, j=1..m.	Liquido=1 Sólido=0.
aN_j	Cantidad de N en una unidad de insumo j, j=1..m.	Kg. de N por Kg. de insumo j.
Precio_Insumo_j	Precio de una unidad de insumo, j=1..m.	\$/Kg.
PLN_z	Valor de N medido en la planta promedio por zona de manejo z, z=1..l.	g N por Kg. MS.
G	Presupuesto disponible.	\$. Es de esperar que el usuario ingrese el presupuesto disponible para la etapa solamente.
Precio	Precio del cultivo cosechado por unidad.	\$/Kg. Ejemplo para trigo sería el precio que cobro por kilo de trigo. El usuario puede ingresar tanto el internacional como el local y ese es el que se utilizará.
H	Cantidad total de hectáreas de la chacra.	Ha. Es la suma de todas las H _z cultivables.
H_z	Cantidad de hectáreas de cada zona de manejo z, z=1..l.	Ha cultivables.
RPot	Rendimiento potencial del cultivo.	Kg./Ha.
CODRpot	Código del rendimiento potencial del cultivo.	1 -> 1500 – 2500 2 -> 2500 – 3500 3 -> 3500 – 4500 4 -> 4500 – 5500 5 -> >5500

Costo_Foliar_AP	Costo de tomar la muestra considerando AP.	\$/Ha.
Costo_Foliar_SAP	Costo de tomar la muestra sin considerar AP.	\$/Ha.
Costo_Fert_Liq_AP	Costo de fertilización con líquidos con AP.	\$/Ha.
Costo_Fert_Liq_SAP	Costo de fertilización con líquidos sin AP.	\$/Ha.
Costo_Fert_Sol_AP	Costo de fertilización con sólidos con AP.	\$/Ha.
Costo_Fert_Sol_SAP	Costo de fertilización con sólidos sin AP.	\$/Ha.

3.1.4.2 Constantes

PpmToKgHa20 = 2.66

3.1.4.1 Variables

Variable	Descripción	Observaciones
X_z	Cantidad de N aplicado por zona de manejo $z, z=1..l$.	Kg.
W_{zj}	Cantidad del insumo j aplicado para cada zona de manejo $z, z=1..l$.	Kg.
Rend	Rendimiento del cultivo.	Kg./Ha. Sumatoria de todos los rendimientos de las zonas.
Rend_z	Rendimiento del cultivo por zona de manejo $z, z=1..l$.	Kg./Ha.
RendN_z	Rendimiento del cultivo según N por zona de manejo $z, z=1..l$.	Kg./Ha.
<u>CTotal</u>	Costo total de producción.	\$
C	Costo de producción.	\$/Ha. Se va a tomar un valor único de todo lo que es fijo. Por defecto se considera solo el costo de tomar la muestra.
Costos_Insumos_z	Costo total de los insumos que estoy aplicando en una zona de manejo $z, z=1..l$.	\$
Ganancia	Ganancias totales obtenidas de la producción.	\$.

3.1.4.2 Restricciones

1. El costo total de producción es menor o igual al presupuesto disponible.

$$CTotal \leq G$$

2. El costo total de producción es igual a la suma de todos los costos.

$$Total_z = 0$$

if (Manejo)

if ($X_z > 0 \parallel Y_z > 0$)

if (Liquido)

$$Total_z = Total_z + Costo_Fert_Liq_AP$$

else

$$Total_z = Total_z + Costo_Fert_Sol_AP$$

else

if ($X_z > 0 \parallel Y_z > 0$)

if (Liquido)

$$Total_z = Total_z + Costo_Fert_Liq_SAP$$

else

$$Total_z = Total_z + Costo_Fert_Sol_SAP$$

$$Costos_Insumos_z = \sum_{j=1}^m (W_{zj} * Precio_Insumo_j)$$

$$C = (Manejo) * Costo_Foliar_AP + (1 - Manejo) * Costo_Foliar_SAP$$

$$CTotal = C * H + \sum_{z=1}^l ((Total_z * H_z) + Costos_Insumos_z) \quad z = 1..l$$

3. El N total aplicado para una zona es igual a la suma de lo aplicado por cada uno de los insumos para esa zona.

$$X_z = \left(\sum_{j=1}^m W_{zj} \cdot aN_j \right) \quad z = 1..l$$

4. El P total aplicado para una zona es igual a la suma de lo aplicado por cada uno de los insumos para esa zona.

$$Y_z = \left(\sum_{j=1}^m W_{zj} \cdot aP_j \right) \quad z = 1..l$$

5. No se aplica P [2].

$$Y_z = 0$$

6. Nitrógeno a aplicar en Z_{30} según la dosis óptima económicamente [3].

Laboreo Convencional

$$DOE N \text{ kg/ha} = 141,35 + -6,041 \cdot N_{tot} + 20,98 \cdot R_{pot}$$

N_{tot} = Nitrógeno Total en Planta (N Total a Z_{30} (g. N/Kg. MS)

R_{pot} = Rendimiento Potencial (Kg./Ha.)

1 -> 1500 – 2500

2 -> 2500 – 3500

3 -> 3500 – 4500

4 -> 4500 – 5500

5 -> > 5500

Siembra Directa

$$DOE N \text{ kg/ha} = 47,68 + -2,98 \cdot N_{tot} + 24,71 \cdot R_{pot}$$

N_{tot} = Nitrógeno Total en Planta (N Total a Z_{30} (g. N/Kg. MS)

R_{pot} = Rendimiento Potencial (Kg./Ha.)

1 -> 1500 – 2500

2 -> 2500 – 3500

3 -> 3500 – 4500

4 -> 4500 – 5500

5 -> > 5500

if ($1500 \leq R_{Pot} < 2500$)

$CODR_{pot} = 1$

if ($2500 \leq R_{Pot} < 3500$)

$CODR_{pot} = 2$

if ($3500 \leq R_{Pot} < 4500$)

$CODR_{pot} = 3$

if ($4500 \leq R_{Pot} < 5500$)

$CODR_{pot} = 4$

if ($R_{Pot} \geq 5500$)

$CODR_{pot} = 5$

$$X_z = ((\text{Laboreo})(141.35 - 6.041 * \text{PLN}_z + 20.98 * \text{CODRpot}) + (1 - \text{Laboreo})(47.68 - 2.98 * \text{PLN}_z + 24.71 * \text{CODRpot})) * H_z$$

$$\text{if}(X_z \leq 0)$$

$$X_z = 0$$

7. El rendimiento total por hectárea de la chacra es igual a la suma de los rendimientos de todas las zonas dividido entre la cantidad de hectáreas de la chacra.

$$\text{Rend} = \left(\sum_{z=1}^I (\text{Rend}_z * H_z) \right) / H$$

8. El rendimiento de una zona es una función del rendimiento de las diferentes variables a optimizar.

$$\text{Rend}_z = \text{RendN}_z$$

9. Rendimiento según Nitrógeno aplicado [3].

Laboreo Convencional

$$y = 3300 + 29x$$

x = Kg. N/Ha., y = rendimiento Kg./Ha.

Siembra Directa

$$y = 2400 + 40x - 0,1703x^2$$

x = Kg. N/Ha., y = rendimiento Kg./Ha.

Se transformo la función de rendimiento de Siembra Directa en 7 funciones lineales.

$$\text{FuncionLineal} = 34,81 \frac{X_z}{H_z} + 2400 \quad 0 \leq \frac{X_z}{H_z} \leq 30$$

$$\text{FuncionLineal} = 24,673 \frac{X_z}{H_z} + 2706,54 \quad 30 < \frac{X_z}{H_z} \leq 60$$

$$\text{FuncionLineal} = 14,455 \frac{X_z}{H_z} + 3319,62 \quad 60 < \frac{X_z}{H_z} \leq 90$$

$$\text{FuncionLineal} = 4,237 \frac{X_z}{H_z} + 4239,24 \quad 90 < \frac{X_z}{H_z} \leq 120$$

$$\text{FuncionLineal} = -5,981 \frac{X_z}{H_z} + 5465,4 \quad 120 < \frac{X_z}{H_z} \leq 150$$

$$\text{FuncionLineal} = -16,199 \frac{X_z}{H_z} + 6998,1 \quad 150 < \frac{X_z}{H_z} \leq 180$$

$$\text{FuncionLineal} = -26,417 \frac{X_z}{H_z} + 8837,34 \quad 180 < \frac{X_z}{H_z}$$

$$\text{RendN}_z = 3300 + 29 \cdot \frac{X_z}{H_z} \cdot \text{Laboreo} + \text{FuncionLineal} \cdot 1 - \text{Laboreo}$$

10. La ganancia total es el total cosechado por el precio del grano por Kg.

$$Ganancia = Rend \cdot H \cdot Precio$$

3.1.4.3 Función Objetivo

Maximizar el beneficio económico.

$$\max Ganancia - C_{Total}$$

3.1.5 Referencias

- [1] E. Hoffman, C. Perdomo, Criterios para el manejo de la fertilización nitrogenada en cultivos intensivos bajo cero laboreo (No existen mas datos disponibles).
- [2] E. Hoffman, C. Perdomo, C. Pons, E. Borghi, *Fertilización en Cebada Cervecera*, Facultad de Agronomía, Udelar, Mayo 2001.
- [3] A. Garcia Lamorthe, Manejo de la fertilización con nitrógeno en trigo y su interacción con otras practicas agronómicas, INIA, 2004, ISBN 9974-38-197-5.

3.2 Modelo de Cebada

3.2.1 Consideraciones

- Realizamos un modelo para cada etapa a considerar del cultivo (Para este caso: Siembra, Z_{22} , Z_{30}).
- Trataremos de manejar todas las unidades en Kg.
- Tratamiento sin AP: tomar 1 zona de manejo (toda la chacra) y utilizar como costo de producción el costo de manejo de 1 zona.
- Tratamiento con AP: tomar l zonas de manejo tomando el costo de manejo de l zonas.
- Consideramos los niveles de N en suelo en cada estado vegetativo (Siembra, Z_{22}) y el % de N en planta para Z_{30} .

3.2.2 Etapa Siembra

3.2.2.1 Datos

Dato	Descripción	Observaciones
m	Cantidad de insumos.	Los insumos son por ejemplo urea, etc., es decir son todos los fertilizantes que aplico, los cuales elige el usuario.
l	Cantidad de Zonas de Manejo.	
L_j	Determina si el insumo j es líquido o sólido, $j=1..m$.	Líquido=1, Sólido=0.
aN_j	Cantidad de N en una unidad de insumo j , $j=1..m$.	Kg. de N por Kg. de insumo j .
aP_j	Cantidad de P en una unidad de insumo j , $j=1..m$.	Kg. de P por Kg. de insumo j .
$Precio_Insumo_j$	Precio de una unidad de insumo, $j=1..m$.	\$/Kg.
RN_z	Cantidad de N residual en el suelo por hectárea por zona de manejo z , $z=1..l$.	Kg./Ha.
RP_z	Cantidad de P residual en el suelo por hectárea por zona de manejo z , $z=1..l$.	Kg./Ha.
G	Presupuesto disponible.	\$. Es de esperar que el usuario ingrese el presupuesto disponible para la etapa solamente.
$Precio$	Precio del cultivo cosechado por unidad.	\$/Kg. Ejemplo para trigo sería el precio que cobro por kilo de trigo. El usuario puede ingresar tanto el internacional como el local y ese es el que se utilizará.
H	Cantidad total de hectáreas de la chacra.	Ha. Es la suma de todas las H_z cultivables.
H_z	Cantidad de hectáreas de cada zona de manejo z , $z=1..l$.	Ha. cultivables.
$Costo_Muestra_AP$	Costo de tomar la muestra de suelo considerando AP.	\$/Ha.
$Costo_Muestra_SAP$	Costo de tomar la muestra de suelo sin considerar AP.	\$/Ha.
$Costo_Fert_Liq_AP$	Costo de fertilización con líquidos con AP.	\$/Ha.
$Costo_Fert_Liq_SAP$	Costo de fertilización con líquidos sin AP.	\$/Ha.

Costo_Fert_Sol_AP	Costo de fertilización con sólidos con AP.	\$/ha.
Costo_Fert_Sol_SAP	Costo de fertilización con sólidos sin AP.	\$/ha.

3.2.2.2 Constantes

PpmToKgHa20 = 2.66

P205toP = 0.44

3.2.2.3 Variables

Variable	Descripción	Observaciones
Manejo	Indicador de si se desea utilizar AP o no.	Variable entera: 0 (sin AP) o 1 (con AP).
Laboreo	Indicador de si se utiliza Laboreo Convencional (LC) o Siembra Directa (SD).	Variable entera 0 (SD) o 1 (LC).
X_z	Cantidad de N aplicado por zona de manejo $z, z=1..l$.	Kg.
Y_z	Cantidad de P aplicado por zona de manejo $z, z=1..l$.	Kg.
W_{zj}	Cantidad del insumo j aplicado para cada zona de manejo $z, z=1..l$.	Kg.
Rend	Rendimiento del cultivo.	Kg./Ha. Sumatoria de todos los rendimientos de las zonas.
Rend_z	Rendimiento del cultivo por zona de manejo $z, z=1..l$.	Kg./Ha.
CTotal	Costo total de producción.	\$.
C	Costo de producción.	\$/Ha. Se va a tomar un valor único de todo lo que es fijo. Por defecto se considera solo el costo de tomar la muestra.
Costos_Insumos_z	Costo total de los insumos que estoy aplicando en una zona de manejo $z, z=1..l$.	\$.
Ganancia	Ganancias totales obtenidas de la producción.	\$.

3.2.2.4 Restricciones

1. El costo total de producción es menor o igual al presupuesto disponible.

$$CTotal \leq G$$

2. El costo total de producción es igual a la suma de todos los costos.

$$Total_z = 0$$

if (Manejo)

$$if (X_z > 0 || Y_z > 0)$$

if (Liquido)

$$Total_z = Total_z + Costo_Fert_Liq_AP$$

else

$$Total_z = Total_z + Costo_Fert_Sol_AP$$

else

$$if (X_z > 0 || Y_z > 0)$$

if (Liquido)

$$Total_z = Total_z + Costo_Fert_Liq_SAP$$

else

$$Total_z = Total_z + Costo_Fert_Sol_SAP$$

$$Costos_Insumos_z = \sum_{j=1}^m (W_{zj} * Precio_Insumo_j)$$

$$C = (Manejo) * Costo_Muestra_AP + (1 - Manejo) * Costo_Muestra_SAP$$

$$CTotal = C * H + \sum_{z=1}^l ((Total_z * H_z) + Costos_Insumos_z) \quad z = 1..l$$

3. El N total aplicado para una zona es igual a la suma de lo aplicado por cada uno de los insumos para esa zona.

$$X_z = \left(\sum_{j=1}^m W_{zj} \cdot aN_j \right) \quad z = 1..l$$

4. El P total aplicado para una zona es igual a la suma de lo aplicado por cada uno de los insumos para esa zona.

$$Y_z = \left(\sum_{j=1}^m W_{zj} \cdot aP_j \right) \quad z = 1..l$$

5. Se definen para el cultivo de cebada cervecera niveles críticos de 18 y 16 N-NO₃ (ppm) para SD y LC respectivamente en siembra [1].

if (*laboreo*)

$$0 \leq RN_z + \frac{X_z}{H_z} \leq 16 * PpmToKgHa20$$

else

$$0 \leq RN_z + \frac{X_z}{H_z} \leq 18 * PpmToKgHa20$$

z = 1..*l*

6. Nitrógeno a agregar en siembra según NO₃ en el suelo a siembra [1].

Se realizó una aproximación de las gráficas para Siembra.

Grupo Baja Respuesta: Laboreo Convencional.

Grupo Alta Respuesta: Siembra Directa.



Figura 17. Modelo de agregado a la siembra y Z.22
Pastorini-Pons s/p).

if ((*Laboreo* = 1 & $RN_z / PpmToKgHa20 > 16$) || (*Laboreo* = 0 & $RN_z / PpmToKgHa20 > 18$))

$$X_z = 0$$

else

$$X_z = ((\text{Laboreo})(-2,875 * (RN_z / PpmToKgHa20) + 46) + (1 - \text{Laboreo})(-5 * (RN_z / PpmToKaHa20) + 90)) * H_z$$

RN_z: es el Nitrógeno residual en el suelo para la zona z. Unidad: Kg. N/Ha.

X_z: es la cantidad de N aplicada para la zona z. Unidad: Kg. N.

7. El rendimiento total por hectárea de la chacra es igual a la suma de los rendimientos de todas las zonas dividido la cantidad de hectáreas de la chacra.

$$Rend = \left(\sum_{z=1}^l (Rend_z * H_z) \right) / H$$

8. El rendimiento de una zona es una función del rendimiento de las diferentes variables a optimizar.

$$\text{Rend}_z = \text{RendN}_z$$

9. Rendimiento del N a la siembra: $y = -0,4544x^2 + 38,3641x + 179,95$, donde x es el N (Kg./Ha) aplicado e y el rendimiento (Kg./Ha.) [1].

Se transformo la función de rendimiento en 5 funciones lineales.

$$\begin{aligned} \text{RendN}_z &= 29,2761 \frac{X_z}{H_z} + 179,95 & 0 \leq \frac{X_z}{H_z} \leq 20 \\ \text{RendN}_z &= 11,1001 \frac{X_z}{H_z} + 543,47 & 20 < \frac{X_z}{H_z} \leq 40 \\ \text{RendN}_z &= -7,0759 \frac{X_z}{H_z} + 1270,51 & 40 < \frac{X_z}{H_z} \leq 60 \\ \text{RendN}_z &= -25,252 \frac{X_z}{H_z} + 2361,07 & 60 < \frac{X_z}{H_z} \leq 80 \\ \text{RendN}_z &= -43,428 \frac{X_z}{H_z} + 3815,15 & 80 < \frac{X_z}{H_z} \leq 100 \end{aligned}$$

10. Fósforo a agregar en siembra según nivel de ppm en el suelo [2].

Cuadro 2. Cuadro ajuste de dosis de P según nivel en los primeros 20 cm de suelo (Bray N°1).

ppm P Bray N°1	Kg P2O5/Ha
< 3	80
3 - 5	80 - 60
5 - 7	60 - 40
7 - 9	40 - 25
9 - 11	25 - 10
11 - 13	10 - 0
> 13	0

Adaptado de Capurro et. al. 1982

$$Y_z = 80 \quad 0 \leq RP_z / PpmToKgHa20 < 3$$

$$Y_z = -10 \cdot RP_z / PpmToKgHa20 + 110 \cdot H_z \cdot P2O5toP \quad 3 \leq RP_z / PpmToKgHa20 \leq 7$$

$$Y_z = -7,5 \cdot RP_z / PpmToKgHa20 + 92,5 \cdot H_z \cdot P2O5toP \quad 7 < RP_z / PpmToKgHa20 < 11$$

if Laboreo

$$Y_z = -5 \cdot RP_z / PpmToKgHa20 + 65 \cdot H_z \cdot P2O5toP, 11 \leq RP_z / PpmToKgHa20 \leq 13$$

$$Y_z = 0, RP_z / PpmToKgHa20 > 13$$

else

$$Y_z = -1,67 \cdot RP_z / PpmToKgHa20 + 28,4 \cdot H_z \cdot P2O5toP, 11 \leq RP_z / PpmToKgHa20 \leq 17$$

$$Y_z = 0, RP_z / PpmToKgHa20 > 17$$

11. La ganancia total es el total cosechado por el precio del grano por Kg.

$$Ganancia = Rend \cdot H \cdot Precio$$

3.2.2.5 Función Objetivo

Maximizar el Beneficio Económico.

$$\max Ganancia - CTotal$$

3.2.3 Etapa Z₂₂

3.2.3.1 Datos

Dato	Descripción	Observaciones
m	Cantidad de insumos.	Los insumos son por ejemplo urea, etc., es decir son todos los fertilizantes que aplico, los cuales elige el usuario.
l	Cantidad de Zonas de Manejo.	
L_j	Determina si el insumo j es líquido o sólido, $j=1..m$.	Líquido=1, Sólido=0.
aN_j	Cantidad de N en una unidad de insumo j , $j=1..m$.	Kg. de N por Kg. de insumo j .
$Precio_Insumo_j$	Precio de una unidad de insumo, $j=1..m$.	\$/Kg.
RN_z	Cantidad de N residual en el suelo por hectárea por zona de manejo z , $z=1..l$.	Kg./Ha.
G	Presupuesto disponible.	\$. Es de esperar que el usuario ingrese el presupuesto disponible para la etapa solamente.
$Precio$	Precio del cultivo cosechado por unidad.	\$/Kg. Ejemplo para trigo sería el precio que cobro por kilo de trigo. El usuario puede ingresar tanto el internacional como el local y ese es el que se utilizará.
H	Cantidad total de hectáreas de la chacra.	Ha. Es la suma de todas las H_z cultivables.
H_z	Cantidad de hectáreas de cada zona de manejo z , $z=1..l$.	Ha. cultivables.
$Costo_Muestra_AP$	Costo de tomar la muestra de suelo considerando AP.	\$/Ha.
$Costo_Muestra_SAP$	Costo de tomar la muestra de suelo sin considerar AP.	\$/Ha.
$Costo_Fert_Liq_AP$	Costo de fertilización con líquidos con AP.	\$/Ha.
$Costo_Fert_Liq_SAP$	Costo de fertilización con líquidos sin AP.	\$/Ha.
$Costo_Fert_Sol_AP$	Costo de fertilización con sólidos con AP.	\$/Ha.
$Costo_Fert_Sol_SAP$	Costo de fertilización con sólidos sin AP.	\$/Ha.

3.2.3.2 Constantes

PpmToKgHa20 = 2.66

3.2.3.3 Variables

Variable	Descripción	Observaciones
Manejo	Indicador de si se desea utilizar AP o no.	Variable entera: 0 (sin AP) o 1 (con AP).
Laboreo	Indicador de si se utiliza Laboreo Convencional (LC) o Siembra Directa	Variable entera 0 (SD) o 1 (LC).

	(SD).	
X_z	Cantidad de N aplicado por zona de manejo $z, z=1..l$.	Kg.
Y_z	Cantidad de P aplicado por zona de manejo $z, z=1..l$.	Kg.
W_{zj}	Cantidad del insumo j aplicado para cada zona de manejo $z, z=1..l$.	Kg.
Rend	Rendimiento del cultivo.	Kg./Ha. Sumatoria de todos los rendimientos de las zonas.
Rend_z	Rendimiento del cultivo por zona de manejo $z, z=1..l$.	Kg./Ha.
CTotal	Costo total de producción.	\$.
C	Costo de producción.	\$/Ha. Se va a tomar un valor único de todo lo que es fijo. Por defecto se considera solo el costo de tomar la muestra.
Costos_Insumos_z	Costo total de los insumos que estoy aplicando en una zona de manejo $z, z=1..l$.	\$.
Ganancia	Ganancias totales obtenidas de la producción.	\$.

3.2.3.4 Restricciones

1. El costo total de producción es menor o igual al presupuesto disponible.

$$CTotal \leq G$$

2. El costo total de producción es igual a la suma de todos los costos.

$$Total_z = 0$$

if (Manejo)

$$if (X_z > 0 \parallel Y_z > 0)$$

if (Liquido)

$$Total_z = Total_z + Costo_Fert_Liq_AP$$

else

$$Total_z = Total_z + Costo_Fert_Sol_AP$$

else

$$if (X_z > 0 \parallel Y_z > 0)$$

if (Liquido)

$$Total_z = Total_z + Costo_Fert_Liq_SAP$$

else

$$Total_z = Total_z + Costo_Fert_Sol_SAP$$

$$Costos_Insumos_z = \sum_{j=1}^m (W_{zj} * Precio_Insumo_j)$$

$$C = (\text{Manejo}) * \text{Costo_Muestra_AP} + (1 - \text{Manejo}) * \text{Costo_Muestra_SAP}$$

$$CTotal = C * H + \sum_{z=1}^l ((Total_z * H_z) + Costos_Insumos_z) \quad z = 1..l$$

3. El N total aplicado para una zona es igual a la suma de lo aplicado por cada uno de los insumos para esa zona.

$$X_z = \left(\sum_{j=1}^m W_{zj} \cdot aN_j \right) \quad z = 1..l$$

4. El P total aplicado para una zona es igual a la suma de lo aplicado por cada uno de los insumos para esa zona.

$$Y_z = \left(\sum_{j=1}^m W_{zj} \cdot aP_j \right) \quad z = 1..l$$

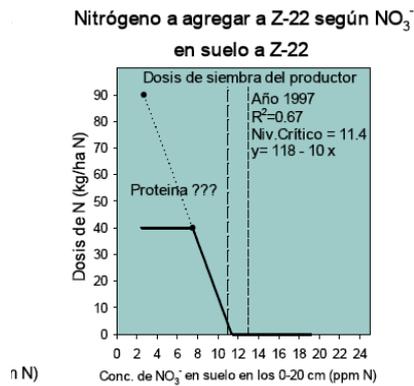
5. No se aplica P [2].

$$Y_z = 0$$

6. Lo aplicado de N no es negativo.

$$0 \leq \frac{X_z}{H_z} \quad z = 1..l$$

7. Nitrógeno a agregar a Z₂₂ según NO₃ en el suelo a Z₂₂ [1].



Z.22 para Cebada cervecera (Perdomo-Hoffman-

if ($RN_z > 11.8 * PpmToKgHa20$)

$$X_z = 0$$

else

$$X_z = (118 - 10 * (RN_z / PpmToKgHa20)) * H_z$$

RN_z : es el Nitrógeno residual en el suelo para la zona z. Unidad: Kg N /ha.

X_z : es la cantidad de N aplicada para la zona z. Unidad: Kg N.

8. El rendimiento total por hectárea de la chacra es igual a la suma de los rendimientos de todas las zonas dividido la cantidad de hectáreas de la chacra.

$$Rend = \left(\sum_{z=1}^l (Rend_z * H_z) \right) / H$$

9. El rendimiento de una zona es una función del rendimiento de las diferentes variables a optimizar.

$$Rend_z = RendN_z$$

10. Aplicamos la función de Rendimiento que se aplica a Trigo en Z₂₂ [3].

Laboreo Convencional

$$y = 3350 + 16x$$

x = Kg. N/Ha., y = rendimiento Kg./Ha.

Siembra Directa

$$y = 2400 + 40x - 0,1703x^2$$

x = Kg. N/Ha., y = rendimiento Kg./Ha.

Se transformo la función de rendimiento de Siembra Directa en 4 funciones lineales.

$$FuncionLineal = 34,891 \frac{X_z}{H_z} + 2400 \quad 0 \leq \frac{X_z}{H_z} \leq 30$$

$$FuncionLineal = 24,673 \frac{X_z}{H_z} + 2706,54 \quad 30 < \frac{X_z}{H_z} \leq 60$$

$$FuncionLineal = 14,455 \frac{X_z}{H_z} + 3319,62 \quad 60 < \frac{X_z}{H_z} \leq 90$$

$$FuncionLineal = 4,237 \frac{X_z}{H_z} + 4239,24 \quad 90 < \frac{X_z}{H_z} \leq 120$$

$$RendN_z = 3350 + 16 \frac{X_z}{H_z} \cdot Laboreo + 1 - Laboreo \cdot FuncionLineal$$

11. La ganancia total es el total cosechado por el precio del grano por Kg.

$$Ganancia = Rend \cdot H \cdot Precio$$

3.2.3.5 Función Objetivo

Maximizar el beneficio económico.

$$\max Ganancia - C_{Total}$$

3.2.4 Etapa Z₃₀

3.2.4.1 Datos

Dato	Descripción	Observaciones
<i>m</i>	Cantidad de insumos.	Los insumos son por ejemplo urea, etc., es decir son todos los fertilizantes que aplico, los cuales elige el usuario.
<i>l</i>	Cantidad de Zonas de Manejo.	
<i>L_j</i>	Determina si el insumo <i>j</i> es liquido o solido, <i>j=1..m</i> .	Liquido=1 Sólido=0.
<i>aN_j</i>	Cantidad de N en una unidad de insumo <i>j</i> , <i>j=1..m</i> .	Kg. de N por Kg. de insumo <i>j</i> .
<i>Precio_Insumo_j</i>	Precio de una unidad de insumo, <i>j=1..m</i> .	\$/Kg.
<i>PLN_z</i>	Valor de N medido en la planta promedio por zona de manejo <i>z</i> , <i>z=1..l</i> .	g. N por Kg. MS.
<i>G</i>	Presupuesto disponible.	\$. Es de esperar que el usuario ingrese el presupuesto disponible para la etapa solamente.
<i>Precio</i>	Precio del cultivo cosechado por unidad.	\$/Kg. Ejemplo para trigo sería el precio que cobro por kilo de trigo. El usuario puede ingresar tanto el internacional como el local y ese es el que se utilizará.
<i>H</i>	Cantidad total de hectáreas de la chacra.	Ha. Es la suma de todas las <i>H_z</i> cultivables.
<i>H_z</i>	Cantidad de hectáreas de cada zona de manejo <i>z</i> , <i>z=1..l</i> .	Ha cultivables.
<i>RPot</i>	Rendimiento potencial del cultivo.	Kg./Ha.
<i>CODRpot</i>	Código del rendimiento potencial del cultivo.	1 -> 1500 – 2500 2 -> 2500 – 3500 3 -> 3500 – 4500 4 -> 4500 – 5500 5 -> >5500
<i>Costo_Foliar_AP</i>	Costo de tomar la muestra considerando AP.	\$/Ha.
<i>Costo_Foliar_SAP</i>	Costo de tomar la muestra sin considerar AP.	\$/Ha.
<i>Costo_Fert_Liq_AP</i>	Costo de fertilización con líquidos con AP.	\$/Ha.
<i>Costo_Fert_Liq_SAP</i>	Costo de fertilización con líquidos sin AP.	\$/Ha.
<i>Costo_Fert_Sol_AP</i>	Costo de fertilización con sólidos con AP.	\$/Ha.
<i>Costo_Fert_Sol_SAP</i>	Costo de fertilización con sólidos sin AP.	\$/Ha.

3.2.4.2 Constantes

$PpmToKgHa20 = 2.66$

3.2.4.3 Variables

Variable	Descripción	Observaciones
Manejo	Indicador de si se desea utilizar AP o no.	Variable entera: 0 (sin AP) o 1 (con AP).
Laboreo	Indicador de si se utiliza Laboreo Convencional (LC) o Siembra Directa (SD)	Variable entera 0 (SD) o 1 (LC).
X_z	Cantidad de N aplicado por zona de manejo $z, z=1..l$.	Kg.
Y_z	Cantidad de P aplicado por zona de manejo $z, z=1..l$.	Kg.
W_{zj}	Cantidad del insumo j aplicado para cada zona de manejo $z, z=1..l$.	Kg.
Rend	Rendimiento del cultivo.	Kg./Ha. Sumatoria de todos los rendimientos de las zonas.
Rend_z	Rendimiento del cultivo por zona de manejo $z, z=1..l$.	Kg./Ha.
CTotal	Costo total de producción.	\$
C	Costo de producción.	\$/Ha. Se va a tomar un valor único de todo lo que es fijo. Por defecto se considera solo el costo de tomar la muestra.
Costos_Insumos_z	Costo total de los insumos que estoy aplicando en una zona de manejo $z, z=1..l$.	\$
Ganancia	Ganancias totales obtenidas de la producción.	\$.

3.2.4.4 Restricciones

1. El costo total de producción es menor o igual al presupuesto disponible.

$$CTotal \leq G$$

2. El costo total de producción es igual a la suma de todos los costos.

$$\begin{aligned}
& Total_z = 0 \\
& \text{if} (Manejo) \\
& \quad \text{if} (X_z > 0 \parallel Y_z > 0) \\
& \quad \quad \text{if} (Liquido) \\
& \quad \quad \quad Total_z = Total_z + Costo_Fert_Liq_AP \\
& \quad \quad \text{else} \\
& \quad \quad \quad Total_z = Total_z + Costo_Fert_Sol_AP \\
& \quad \text{else} \\
& \quad \quad \text{if} (X_z > 0 \parallel Y_z > 0) \\
& \quad \quad \quad \text{if} (Liquido) \\
& \quad \quad \quad \quad Total_z = Total_z + Costo_Fert_Liq_SAP \\
& \quad \quad \quad \text{else} \\
& \quad \quad \quad \quad Total_z = Total_z + Costo_Fert_Sol_SAP \\
& Costos_Insumos_z = \sum_{j=1}^m (W_{zj} * Precio_Insumo_j)
\end{aligned}$$

$$C = (Manejo) * Costo_Foliar_AP + (1 - Manejo) * Costo_Foliar_SAP$$

$$CTotal = C * H + \sum_{z=1}^l ((Total_z * H_z) + Costos_Insumos_z) \quad z = 1..l$$

3. El N total aplicado para una zona es igual a la suma de lo aplicado por cada uno de los insumos para esa zona.

$$X_z = \left(\sum_{j=1}^m W_{zj} \cdot aN_j \right) \quad z = 1..l$$

4. El P total aplicado para una zona es igual a la suma de lo aplicado por cada uno de los insumos para esa zona.

$$Y_z = \left(\sum_{j=1}^m W_{zj} \cdot aP_j \right) \quad z = 1..l$$

5. No se aplica P [2].

$$Y_z = 0$$

6. Nitrógeno a aplicar en Z_{30} según la dosis optima económicamente [3].

Laboreo Convencional

$$DOE N \text{ kg / ha} = 141,35 + -6,041 \cdot Ntot + 20,98 \cdot Rpot$$

Ntot = Nitrógeno Total en Planta (N Total a Z_{30} (g. N/Kg. MS)

Rpot = Rendimiento Potencial (Kg./Ha.)

1 -> 1500 – 2500

2 -> 2500 – 3500

3 -> 3500 – 4500

4 -> 4500 – 5500

5 -> > 5500

Siembra Directa

$$DOE N \text{ kg/ha} = 47,68 + -2,98 \cdot N_{tot} + 24,71 \cdot R_{pot}$$

N_{tot} = Nitrógeno Total en Planta (N Total a Z₃₀ (g N/Kg. MS)

R_{pot} = Rendimiento Potencial (Kg./Ha.)

1 -> 1500 – 2500

2 -> 2500 – 3500

3 -> 3500 – 4500

4 -> 4500 – 5500

5 -> > 5500

if (1500 ≤ R_{Pot} < 2500)

$$CODR_{pot} = 1$$

if (2500 ≤ R_{Pot} < 3500)

$$CODR_{pot} = 2$$

if (3500 ≤ R_{Pot} < 4500)

$$CODR_{pot} = 3$$

if (4500 ≤ R_{Pot} < 5500)

$$CODR_{pot} = 4$$

if (R_{Pot} ≥ 5500)

$$CODR_{pot} = 5$$

$$X_z = ((\text{Laboreo})(141.35 - 6.041 \cdot \text{PLN}_z + 20.98 \cdot \text{CODR}_{pot}) + (1 - \text{Laboreo})(47.68 - 2.98 \cdot \text{PLN}_z + 24.71 \cdot \text{CODR}_{pot})) \cdot H_z$$

if (X_z ≤ 0)

$$X_z = 0$$

7. El rendimiento total por hectárea de la chacra es igual a la suma de los rendimientos de todas las zonas dividido la cantidad de hectáreas de la chacra.

$$Rend = \left(\sum_{z=1}^l (Rend_z * H_z) \right) / H$$

8. El rendimiento de una zona es una función del rendimiento de las diferentes variables a optimizar.

$$Rend_z = RendN_z$$

9. Rendimiento según Nitrógeno aplicado, es el mismo que para Trigo [3].

Laboreo Convencional

$$y = 3300 + 29x$$

x = Kg. N/Ha., y = rendimiento Kg./Ha.

Siembra Directa

$$y = 2400 + 40x - 0,1703x^2$$

x = Kg. N/Ha., y = rendimiento Kg./Ha.

Se transformó la función de rendimiento de Siembra Directa en 7 funciones lineales.

$$FuncionLineal = 34,81 \frac{X_z}{H_z} + 2400 \quad 0 \leq \frac{X_z}{H_z} \leq 30$$

$$FuncionLineal = 24,673 \frac{X_z}{H_z} + 2706,54 \quad 30 < \frac{X_z}{H_z} \leq 60$$

$$FuncionLineal = 14,455 \frac{X_z}{H_z} + 3319,62 \quad 60 < \frac{X_z}{H_z} \leq 90$$

$$FuncionLineal = 4,237 \frac{X_z}{H_z} + 4239,24 \quad 90 < \frac{X_z}{H_z} \leq 120$$

$$FuncionLineal = -5,981 \frac{X_z}{H_z} + 5465,4 \quad 120 < \frac{X_z}{H_z} \leq 150$$

$$FuncionLineal = -16,199 \frac{X_z}{H_z} + 6998,1 \quad 150 < \frac{X_z}{H_z} \leq 180$$

$$FuncionLineal = -26,417 \frac{X_z}{H_z} + 8837,34 \quad 180 < \frac{X_z}{H_z}$$

$$RendN_z = 3300 + 29 \cdot \frac{X_z}{H_z} \cdot Laboreo + FuncionLineal \cdot 1 - Laboreo$$

10. La ganancia total es el total cosechado por el precio del grano por Kg.

$$Ganancia = Rend \cdot H \cdot Precio$$

3.2.4.5 Función Objetivo

Maximizar el beneficio económico.

$$\max \text{Ganancia} - C_{Total}$$

3.2.5 Referencias

- [1] E. Hoffman, C. Perdomo, *Criterios para el manejo de la fertilización nitrogenada en cultivos intensivos bajo cero laboreo (No existen mas datos disponibles)*.
- [2] E. Hoffman, C. Perdomo, C. Pons, E. Borghi, *Fertilización en Cebada Cervecera*, Facultad de Agronomía, UdelaR, Mayo 2001.
- [3] A. Garcia Lamorthe, *Manejo de la fertilización con nitrógeno en trigo y su interacción con otras practicas agronómicas*, INIA, 2004, ISBN 9974-38-197-5.

3.3 Modelo de Soja

3.3.1 Consideraciones

- Realizamos un modelo para cada etapa a considerar del cultivo (Para este caso: Siembra).
- Trataremos de manejar todas las unidades en Kg.
- Tratamiento sin AP: tomar 1 zona de manejo (toda la chacra) y utilizar como costo de producción el costo de manejo de 1 zona.
- Tratamiento con AP: tomar l zonas de manejo tomando el costo de manejo de l zonas.

3.3.2 Etapa Siembra

3.3.2.1 Datos

Dato	Descripción	Observaciones
m	Cantidad de insumos.	Los insumos son por ejemplo urea, etc., es decir son todos los fertilizantes que aplico.
l	Cantidad de Zonas de Manejo.	
Líquido	Determina si los insumos son líquidos o sólidos.	0, 1. (1: líquido, 0: sólido)
aP_j	Cantidad de P en una unidad de insumo j . $j=1..m$	Kg. de P /Kg. de insumo j .
Precio_Insumo_j	Precio de una unidad de insumo j . $j=1..m$	\$/Kg.
RP_z	Cantidad de P residual en el suelo por hectárea por zona de manejo z .	Kg./Ha.
G	Presupuesto disponible.	\$. Es de esperar que el usuario ingrese el presupuesto disponible para la etapa solamente.
Precio	Precio del cultivo cosechado por unidad.	\$/Kg. Ejemplo para trigo sería el precio que cobro por kilo de trigo. El usuario puede ingresar tanto el internacional como el local y ese es el que se utilizará.
H	Cantidad total de hectáreas de la chacra.	Ha. Es la suma de todas las H_z cultivables.
H_z	Cantidad de hectáreas de cada zona.	Ha. cultivables.
Costo_Muestra_AP	Costo de tomar la muestra considerando AP.	\$/Ha.
Costo_Muestra_SAP	Costo de tomar la muestra sin considerar AP.	\$/Ha.
Costo_Fert_Liq_AP	Costo de fertilización con líquidos con AP.	\$/Ha.
Costo_Fert_Liq_SAP	Costo de fertilización con líquidos sin AP.	\$/Ha.
Costo_Fert_Sol_AP	Costo de fertilización con sólidos con AP.	\$/Ha.
Costo_Fert_Sol_SAP	Costo de fertilización con sólidos sin AP.	\$/Ha.
Suelo_z	Tipo de suelo por zona de manejo z .	0,1,2 (0:arenoso, 1:pesado, 2: mezcla)
Manejo	Indicador de si se desea utilizar AP o no.	0, 1 (1: con AP, 0: sin AP)

3.3.2.2 Constantes

$PpmToKgHa20 = 2.66$

$P2O5toP = 0.44$

3.3.2.3 Variables

Variable	Descripción	Observaciones
Y_z	Cantidad de P aplicado por zona.	Kg.
W_{zj}	Cantidad del insumo j aplicado para cada zona de manejo z ($z=1..I$).	Kg.
Rend	Rendimiento del cultivo	Kg./Ha. Sumatoria de todos los rendimientos de las zonas.
Rend_z	Rendimiento del cultivo por zona	Kg./Ha. Quedaría de la forma $c_1X_z + c_2$.
CTotal	Costo total de producción	\$.
C	Costo de producción.	\$/Ha. Se va a tomar un valor único de todo lo que es fijo. Por defecto se considera solo el costo de tomar la muestra.
Costos_Insumos_z	Costo total de los insumos que estoy aplicando en una zona.	\$.
Ganancia	Ganancias totales obtenidas de la producción.	\$.
RendP_z	Rendimiento en función de lo que aplico de P en una zona.	Kg./Ha.

3.3.2.4 Restricciones

1. El costo total de producción es menor o igual al presupuesto disponible.

$$CTotal \leq G$$

2. El costo total de producción es igual a la suma de todos los costos.

$$Total_z = 0$$

if (Manejo)

if ($Y_z > 0$)

if (Liquido)

$$Total_z = Total_z + Costo_Fert_Liq_AP$$

else

$$Total_z = Total_z + Costo_Fert_Sol_AP$$

else

if ($Y_z > 0$)

if (Liquido)

$$Total_z = Total_z + Costo_Fert_Liq_SAP$$

else

$$Total_z = Total_z + Costo_Fert_Sol_SAP$$

$$Costos_Insumos_z = \sum_{j=1}^m (W_{zj} * Precio_Insumo_j)$$

$$C = (Manejo) * Costo_Muestra_AP + (1 - Manejo) * Costo_Muestra_SAP$$

$$CTotal = C * H + \sum_{z=1}^l ((Total_z * H_z) + Costos_Insumos_z)$$

3. El P total aplicado para una zona es igual a la suma de lo aplicado por cada uno de los insumos para esa zona.

$$Y_z = \left(\sum_{j=1}^m W_{zj} \cdot aP_j \right) \quad z = 1..l$$

4. Dosis de P a aplicar en función de la medición [1].

if Suelo_z = Pesado

if RP_z > 12 · PpmToKgHa20

$$Y_z = 0$$

else

$$Y_z = -8,3 \cdot RP_z / PpmToKgHa20 + 100 \cdot P2O5toP \cdot H_z$$

else if Suelo_z = Arenoso

if RP_z > 15 · PpmToKgHa20

$$Y_z = 0$$

else

$$Y_z = -8 \cdot RP_z / PpmToKgHa20 + 120 \cdot P2O5toP \cdot H_z$$

else // mezcla

if RP_z > 9 · PpmToKgHa20

$$Y_z = 0$$

else

$$Y_z = \left(-8,9 \left(\frac{RP_z}{PpmToKgHa20} \right) + 80 \right) \cdot P2O5toP \cdot H_z$$

5. La dosis a aplicar de P es positiva.

$$Y_z \geq 0$$

6. Rendimiento en función de lo que aplico [1].

$$RendP_z = -0,0513 \cdot \left(\frac{Y_z}{P2O5toP} / H_z \right)^2 + 9,7857 \cdot \frac{Y_z}{P2O5toP} / H_z + 2578,5$$

Se transformo la función de rendimiento en 3 funciones lineales.

$$\text{RendP}_z = 7,7337 \cdot Y_z / P2O5toP / H_z + 2575,5 \quad 0 \leq Y_z / P2O5toP / H_z < 40$$

$$\text{RendP}_z = 3,6297 \cdot Y_z / P2O5toP / H_z + 2742,6 \quad 0 \leq Y_z / P2O5toP / H_z < 80$$

$$\text{RendP}_z = -0,4743 \cdot Y_z / P2O5toP / H_z + 3070,98 \quad 0 \leq Y_z / P2O5toP / H_z < 120$$

7. El rendimiento total por hectárea de la chacra es igual a la suma de los rendimientos de todas las zonas dividido la cantidad de hectáreas de la chacra.

$$\text{Rend} = \left(\sum_{z=1}^l (\text{Rend}_z * H_z) \right) / H$$

z: son las zonas de manejo.

8. El rendimiento de una zona es una función del rendimiento de las diferentes variables a optimizar.

$$\text{Rend}_z = \text{RendP}_z$$

9. La ganancia total es el total cosechado por el precio del grano por Kg,

$$\text{Ganancia} = \text{Rend} \cdot H \cdot \text{Precio}$$

3.3.2.5 Función Objetivo

Maximizar el Beneficio Económico

$$\max \text{Ganancia} - C_{\text{Total}}$$

3.3.3 Referencias

- [1] E. Hoffman Berasain, *Fertilización en Cultivos Extensivos, Cultivos de Verano*, Departamento de Producción Vegetal, EEMAC, Facultad de Agronomía, Julio de 2004.

3.4 Modelo de Maíz

3.4.1 Consideraciones

- Realizamos un modelo para cada etapa a considerar del cultivo (Para este caso: Siembra, V5V6).
- Trataremos de manejar todas las unidades en Kg.
- Tratamiento sin AP: tomar 1 zona de manejo (toda la chacra) y utilizar como costo de producción el costo de manejo de 1 zona.
- Tratamiento con AP: tomar l zonas de manejo tomando el costo de manejo de l zonas.

3.4.2 Etapa Siembra

3.4.2.1 Datos

Dato	Descripción	Observaciones
m	Cantidad de insumos.	Los insumos son por ejemplo urea, etc., es decir son todos los fertilizantes que aplico.
l	Cantidad de Zonas de Manejo	
Líquido	Determina si los insumos son líquidos o sólidos.	0, 1. (1: líquido, 0: sólido)
aN_j	Cantidad de N en una unidad de insumo j . $j=1..m$	Kg. de N / Kg. de insumo j .
aP_j	Cantidad de P en una unidad de insumo j . $j=1..m$	Kg. de P /Kg. de insumo j .
Precio_Insumo_j	Precio de una unidad de insumo j . $j=1..m$	\$/Kg.
RN_z	Cantidad de N residual en el suelo por hectárea por zona de manejo z .	Kg/Ha.
RP_z	Cantidad de P residual en el suelo por hectárea por zona de manejo z .	Kg/Ha.
G	Presupuesto disponible.	\$. Es de esperar que el usuario ingrese el presupuesto disponible para la etapa solamente.
Precio	Precio del cultivo cosechado por unidad.	\$/Kg. Ejemplo para trigo sería el precio que cobro por kilo de trigo. El usuario puede ingresar tanto el internacional como el local y ese es el que se utilizará.
H	Cantidad total de hectáreas de la chacra.	Ha. Es la suma de todas las H_z cultivables.
H_z	Cantidad de hectáreas de cada zona.	Ha. cultivables
Costo_Muestra_AP	Costo de tomar la muestra considerando AP.	\$/Ha.
Costo_Muestra_SAP	Costo de tomar la muestra sin considerar AP.	\$/Ha.
Costo_Fert_Liq_AP	Costo de fertilización con líquidos con AP.	\$/Ha.
Costo_Fert_Liq_SAP	Costo de fertilización con líquidos sin AP.	\$/Ha.
Costo_Fert_Sol_AP	Costo de fertilización con sólidos con AP.	\$/Ha.
Costo_Fert_Sol_SAP	Costo de fertilización con sólidos sin AP.	\$/Ha.
Manejo	Indicador de si se desea utilizar AP o no.	0, 1. (1: con AP, 0: sin AP)

RPot	Rendimiento potencial del cultivo.	Kg./Ha.
-------------	------------------------------------	---------

TFert	Concentración de P disponible en el suelo (ppm)						
	Menos 5	5-7	7-9	9-11	11-13	13-16	16-20
Rendimiento	kg P ₂ O ₅ /ha						
5000	59	48	43	39	35	30	-
6000	65	54	50	45	41	37	26
7000	71	60	56	51	47	43	32
8000	77	66	62	57	53	49	38
9000	83	72	68	63	59	55	44
10000	89	78	74	70	65	61	50
11000	95	84	80	76	71	67	56
12000	101	90	86	82	77	73	62
13000	107	97	92	88	83	79	68
14000	114	103	98	94	90	85	74

3.4.2.2 Constantes

PpmToKgHa20 = 2.66

P2O5toP = 0.44

3.4.2.3 Variables

Variable	Descripción	Observaciones
X_z	Cantidad de N aplicado por zona.	Kg.
Y_z	Cantidad de P aplicado por zona.	Kg.
W_{zj}	Cantidad del insumo j aplicado para cada zona de manejo z ($z=1..l$).	Kg.
$CTotal$	Costo total de producción.	\$.
C	Costo de producción.	\$/ha. Se va a tomar un valor único de todo lo que es fijo. Por defecto se considera solo el costo de tomar la muestra.
$Costos_Insumos_z$	Costo total de los insumos que estoy aplicando en una zona.	\$.

3.4.2.4 Restricciones

1. El costo total es menor que el presupuesto disponible.

$$CTotal \leq G$$

2. El costo total de producción es igual a la suma de todos los costos.

$$\begin{aligned}
 &Total_z = 0 \\
 &if(Manejo) \\
 &\quad if(X_z > 0 \parallel Y_z > 0) \\
 &\quad\quad if(Liquido) \\
 &\quad\quad\quad Total_z = Total_z + Costo_Fert_Liq_AP \\
 &\quad\quad else \\
 &\quad\quad\quad Total_z = Total_z + Costo_Fert_Sol_AP \\
 &else \\
 &\quad if(X_z > 0 \parallel Y_z > 0) \\
 &\quad\quad if(Liquido) \\
 &\quad\quad\quad Total_z = Total_z + Costo_Fert_Liq_SAP \\
 &\quad\quad else \\
 &\quad\quad\quad Total_z = Total_z + Costo_Fert_Sol_SAP \\
 &Costos_Insumos_z = \sum_{j=1}^m (W_{zj} * Precio_Insumo_j)
 \end{aligned}$$

$$C = (Manejo) * Costo_Muestra_AP + (1 - Manejo) * Costo_Muestra_SAP$$

$$CTotal = C * H + \sum_{z=1}^l ((Total_z * H_z) + Costos_Insumos_z)$$

3. El P total aplicado para una zona es igual a la suma de lo aplicado por cada uno de los insumos para esa zona.

$$Y_z = \left(\sum_{j=1}^m W_{zj} \cdot aP_j \right) \quad z = 1..l$$

4. El N total aplicado para una zona es igual a la suma de lo aplicado por cada uno de los insumos para esa zona.

$$X_z = \left(\sum_{j=1}^m W_{zj} \cdot aN_j \right) \quad z = 1..l$$

5. Cantidad de P a aplicar en función del Rendimiento Potencial y la cantidad de P en el suelo [1].

$$Y_z = TFert \cdot RPot, RP_z / PpmToKgHa20 \cdot P2O5toP \cdot H_z$$

6. Valor crítico de N.

$$0 \leq X_z \leq 15 \cdot PpmToKgHa20 \cdot H_z$$

7. Equivalentes fertilizantes -N

Podemos tomar una base que surge de la información de respuesta y en base al conocimiento de cultivos de invierno y dinámica de N asociada a la respuesta vegetal.

A siembra: 3 Kg. N/ ppm por debajo del Nc [2].

$$X_z = 3 * \left(\frac{15 * PpmToKgHa20 - RNz}{PpmToKgHa20} \right) \quad z = 1..l$$

3.4.2.5 Función Objetivo

Minimizar el costo

$$\min \quad C_{Total}$$

3.4.3 Etapa V5-V6

3.4.3.1 Datos

Dato	Descripción	Observaciones
<i>m</i>	Cantidad de insumos.	Los insumos son por ejemplo urea, etc., es decir son todos los fertilizantes que aplico.
<i>l</i>	Cantidad de Zonas de Manejo	
<i>Liquido</i>	Determina si los insumos son líquidos o sólidos.	0, 1. (1: líquido, 0: sólido)
<i>aN_j</i>	Cantidad de N en una unidad de insumo <i>j</i> . <i>j=1..m</i>	Kg. de N / Kg. de insumo <i>j</i> .
<i>aP_j</i>	Cantidad de P en una unidad de insumo <i>j</i> . <i>j=1..m</i>	Kg. de P /Kg. de insumo <i>j</i> .
<i>Precio_Insumo_j</i>	Precio de una unidad de insumo <i>j</i> . <i>j=1..m</i>	\$/Kg.
<i>RN_z</i>	Cantidad de N residual en el suelo por hectárea por zona de manejo <i>z</i> .	Kg./Ha.
<i>G</i>	Presupuesto disponible.	\$. Es de esperar que el usuario ingrese el presupuesto disponible para la etapa solamente.
<i>Precio</i>	Precio del cultivo cosechado por unidad.	\$/Kg. Ejemplo para trigo sería el precio que cobro por kilo de trigo. El usuario puede ingresar tanto el internacional como el local y ese es el que se utilizará.
<i>H</i>	Cantidad total de hectáreas de la chacra.	Ha. Es la suma de todas las H _z cultivables.
<i>H_z</i>	Cantidad de hectáreas de cada zona.	Ha. cultivables
<i>Costo_Muestra_AP</i>	Costo de tomar la muestra considerando AP.	\$/Ha.
<i>Costo_Muestra_SAP</i>	Costo de tomar la muestra sin considerar AP.	\$/Ha.
<i>Costo_Fert_Liq_AP</i>	Costo de fertilización con líquidos con AP.	\$/Ha.
<i>Costo_Fert_Liq_SAP</i>	Costo de fertilización con líquidos sin AP.	\$/Ha.
<i>Costo_Fert_Sol_AP</i>	Costo de fertilización con sólidos con AP.	\$/Ha.
<i>Costo_Fert_Sol_SAP</i>	Costo de fertilización con sólidos sin AP.	\$/Ha.
<i>Tope_A_Aplicar_P</i>	Cantidad a aplicar de P.	Kg./Ha.
<i>Manejo</i>	Indicador de si se desea utilizar AP o no.	0, 1. (1: con AP, 0: sin AP)

3.4.3.2 Constantes

PpmToKgHa20 = 2.66

3.4.3.3 Variables

Variable	Descripción	Observaciones
X_z	Cantidad de N aplicado por zona.	Kg.
Y_z	Cantidad de P aplicado por zona.	Kg.
W_{zj}	Cantidad del insumo j aplicado para cada zona de manejo z ($z=1..l$).	Kg.
$CTotal$	Costo total de producción.	\$.
C	Costo de producción.	\$/Ha. Se va a tomar un valor único de todo lo que es fijo. Por defecto se considera solo el costo de tomar la muestra.
$Costos_Insumos_z$	Costo total de los insumos que estoy aplicando en una zona.	\$.

3.4.3.4 Restricciones

1. El costo total es menor que el presupuesto disponible.

$$CTotal \leq G$$

2. El costo total de producción es igual a la suma de todos los costos.

$$Total_z = 0$$

if (Manejo)

$$if (X_z > 0 \parallel Y_z > 0)$$

if (Liquido)

$$Total_z = Total_z + Costo_Fert_Liq_AP$$

else

$$Total_z = Total_z + Costo_Fert_Sol_AP$$

else

$$if (X_z > 0 \parallel Y_z > 0)$$

if (Liquido)

$$Total_z = Total_z + Costo_Fert_Liq_SAP$$

else

$$Total_z = Total_z + Costo_Fert_Sol_SAP$$

$$Costos_Insumos_z = \sum_{j=1}^m (W_{zj} * Precio_Insumo_j)$$

$$C = (Manejo) * Costo_Muestra_AP + (1 - Manejo) * Costo_Muestra_SAP$$

$$CTotal = C * H + \sum_{z=1}^l ((Total_z * H_z) + Costos_Insumos_z)$$

3. El P total aplicado para una zona es igual a la suma de lo aplicado por cada uno de los insumos para esa zona.

$$Y_z = \left(\sum_{j=1}^m W_{zj} \cdot aP_j \right) \quad z = 1..I$$

4. El P aplicado en cada zona tiene un tope.

$$Y_z = \text{Tope} _ A _ \text{Aplicar} _ P \cdot H_z$$

5. El N total aplicado para una zona es igual a la suma de lo aplicado por cada uno de los insumos para esa zona.

$$X_z = \left(\sum_{j=1}^m W_{zj} \cdot aN_j \right) \quad z = 1..I$$

6. Valor crítico de N.

$$0 \leq X_z \leq 21 \cdot \text{PpmToKgHa20} \cdot H_z$$

7. Equivalentes fertilizantes -N

Podemos tomar una base que surge de la información de respuesta y en base al conocimiento de cultivos de invierno y dinámica de N asociada a la respuesta vegetal

A V5-V6: 5 Kg. N/ ppm por debajo del Nc [2].

$$X_z = 5 * \left(\frac{21 * \text{PpmToKgHa20} - RN_z}{\text{PpmToKgHa20}} \right) \quad z = 1..I$$

3.4.3.5 Función Objetivo

Minimizar el costo

$$\min \quad C_{Total}$$

3.4.4 Referencias

- [1] M. S. Zubillaga, *Manejo del Fósforo en Maíz*, Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes. Facultad de Agronomía. UBA, <http://www.fertilizando.com/articulos/Manejo%20del%20Fosforo%20en%20Maiz.asp>.
- [2] E. Hoffman Berasain, *Fertilización en Cultivos Extensivos, Cultivos de Verano*, Departamento de Producción Vegetal, EEMAC, Facultad de Agronomía, Julio de 2004.

4 Anexo 4 – Descripción de la Arquitectura y Diseño

En este Anexo se describe toda la arquitectura y el diseño del sistema. Se presentan las operaciones principales con sus contratos detallando su entrada, salida y excepciones, así como también sus diagramas de colaboración. Estas operaciones utilizan tanto datatypes como archivos, los cuales también se describen en este documento. Además se detalla la arquitectura del sistema, sus capas y sus clases e interfaces.

4.1 Contratos

A continuación se presenta el diseño de las funcionalidades presentes en el sistema descritas en el Documento de Requerimientos.

Operación	DataArchivoConfiguracion CargarConfiguracion(String ruta)
Entrada	La ruta del archivo de configuración (config.conf).
Salida	Un datatype con toda la información obtenida del archivo de configuración.
Descripción	Lee los datos en el archivo de configuración y devuelve la información en el datatype DataArchivoConfiguracion.
Excepciones	NoConfigFile: No existe el archivo de configuración. IncorrectConfigFile: El formato del archivo de configuración no es correcto.

Precondiciones y Postcondiciones	
Pre:	Existe el archivo de configuración y tiene el formato correcto.
Post:	Se crea un datatype con toda la información del archivo de configuración.

Operación	void EscribirArchivoDatos(String ruta, DataArchivoDatos data)
Entrada	Un String con la ruta donde se va a escribir el archivo de datos y el datatype con la información del archivo de datos.
Salida	No tiene.
Descripción	Se escribe en un archivo a partir de la información ingresada en el datatype DataArchivoDatos en un archivo en la ruta especificada por el string ruta. La ruta puede ser absoluta o relativa; en caso de ser relativa (solamente un nombre) el archivo se generará al mismo nivel que la instancia ejecutable que lo esta invocando.
Excepciones	NoDataFile: Cualquier error al crear el archivo. IncorrectData: Cualquier error en los datos.

Precondiciones y Postcondiciones	
Pre:	Los datos ingresados son correctos. La ruta es válida en el sistema.
Post:	Se obtiene la información del datatype pasado como parámetro y se guarda en el archivo indicado.

Operación	DataArchivoDatos CargarArchivoDatos(String ruta)
Entrada	La ruta del archivo de datos.
Salida	Un datatype con la información del archivo de datos.
Descripción	Se lee de un archivo la información para crear el datatype DataArchivoDatos.
Excepciones	NoDataFile: No existe el archivo de datos. IncorrectData: El archivo es corrupto.

Precondiciones y Postcondiciones
<p>Pre: Existe el archivo. Los datos del archivo son correctos.</p> <p>Post: Se crea un datatype con la información del archivo.</p>

Operación	String CrearGAMS(DataArchivoDatos data)
Entrada	Un datatype con la información del archivo de datos.
Salida	La ruta de donde se encuentra el archivo de GAMS.
Descripción	Se crea un archivo de modelo de GAMS a partir del datatype DataArchivoDatos pasado como parámetro y se retorna la ruta al archivo recién creado. Esta ruta deberá ser pasada como parámetro en la función <i>EjecutarGAMS</i> que se describe en el siguiente contrato.
Excepciones	NoDataFile: Error al crear el archivo. IncorrectData: Los datos ingresados son incorrectos.

Precondiciones y Postcondiciones
<p>Pre: Los datos ingresados son correctos.</p> <p>Post: Se crea un archivo de modelo de GAMS con la información del datatype ingresado y se devuelve la ruta donde se creó.</p>

Operación	DataReporte EjecutarGAMS(DataArchivoDatos data, String ruta)
Entrada	Un datatype con la información del archivo de datos y un String con la ruta donde se encuentra el archivo GAMS a ejecutar.
Salida	Un datatype DataReporte con la información generada.
Descripción	Se ejecuta GAMS con el archivo de modelo de GAMS para los datos pasados como parámetro, y se genera un datatype DataReporte con la solución obtenida con GAMS. La ruta debe ser obtenida con el método <i>CrearGams</i> .
Excepciones	NoDataFile: No existe el archivo de modelo de GAMS. IncorrectData: Los datos ingresados son incorrectos. NoSolver: No se puede encontrar o conectar a GAMS. NoSolFile: GAMS no generó un archivo de salida para la ejecución. IncorrectSolFile: El archivo de salida no tiene el formato esperado.

Precondiciones y Postcondiciones
<p>Pre: Los datos ingresados son correctos. Existe el archivo de modelo de GAMS.</p> <p>Post: Se ejecuta GAMS con el archivo de modelo de GAMS para el cultivo y etapa ingresados, y se genera un datatype DataReporte con la solución obtenida con GAMS. El archivo GAMS es eliminado.</p>

Operación	DataReporte LeerReporte(String ruta)
Entrada	Un String con la ruta del archivo de reporte.
Salida	Un datatype DataReporte con la información del archivo.
Descripción	Se obtiene la información del archivo de reporte y se carga en el datatype de salida.
Excepciones	NoReporteFile: No existe el archivo de reporte. IncorrectReporteFile: El archivo es corrupto.

Precondiciones y Postcondiciones

<p>Pre: Existe el archivo de reporte y los datos son correctos.</p> <p>Post: Se obtiene la información del archivo y se guarda en el datatype DataReporte.</p>
--

Operación	void EscribirReporte(DataReporte reporte, String ruta)
Entrada	Un datatype DataReporte con la información a guardar y un String con la ruta del archivo de reporte.
Salida	No tiene.
Descripción	Se obtiene la información del datatype DataReporte y se escribe en el archivo indicado.
Excepciones	NoReporteFile: Cualquier error al crear el archivo. IncorrectReporteFile: El reporte no es válido.

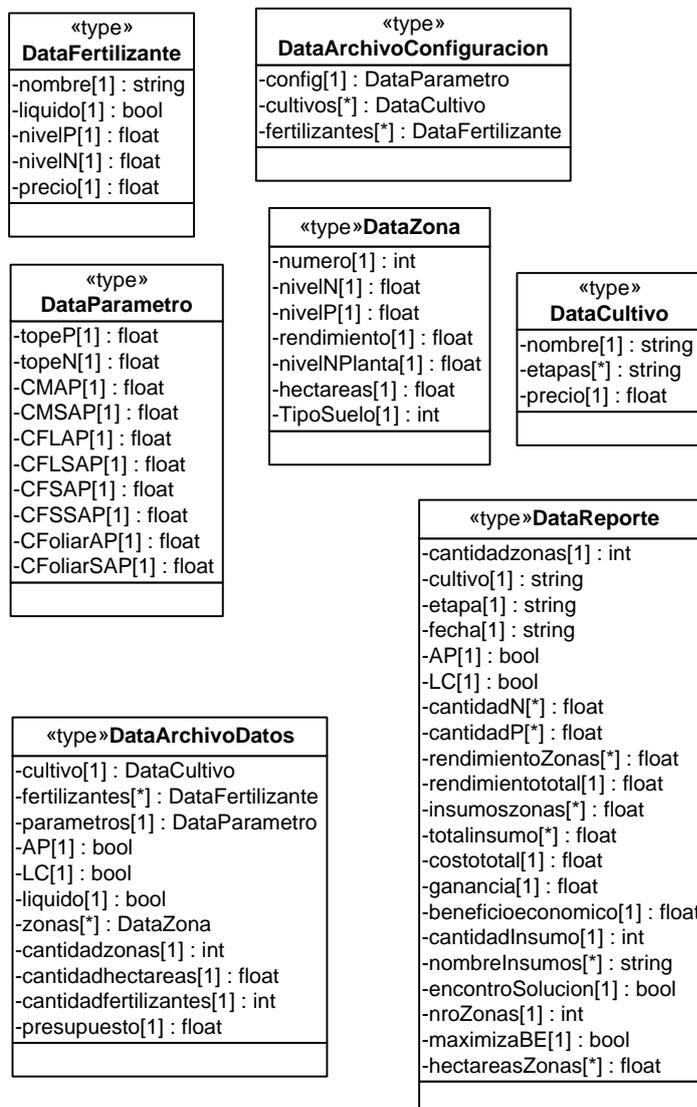
Precondiciones y Postcondiciones

<p>Pre: Los datos ingresados son correctos. La ruta es válida en el sistema.</p> <p>Post: Se obtiene la información del datatype pasado como parámetro y se guarda en el archivo indicado.</p>
--

4.2 Datatypes

El sistema maneja tanto datatypes y archivos para comunicarse con el exterior y entre sus componentes. En esta sección describimos cada uno de los datatypes con sus atributos y su significado.

A continuación se muestra un diagrama de clase de los mismos y después se describe cada uno en detalle.



4.2.1 DataFertilizante

Encapsula la información relevante de un fertilizante como ser su precio y niveles de nutrientes.

Nombre	Tipo de Dato	Significado
Nombre	String	Representa el nombre que identifica al fertilizante.
Liquido	Boolean	Indica si el fertilizante es líquido (<i>true</i>) o sólido (<i>false</i>).
NivelN	Float	Indica el porcentaje de Nitrógeno por cada Kg. de Fertilizante. Por ejemplo, un valor de 0,46 indica que por cada Kg. de Fertilizante, 460 g. son de Nitrógeno.

NivelP	Float	Indica el porcentaje de Fósforo en una unidad de Fertilizante.
Precio	Float	Precio del fertilizante expresado en \$/Kg.

4.2.2 DataParametro

Encapsula parámetros necesarios para realizar una prescripción.

Nombre	Tipo de Dato	Significado
TopeP	Float	Nivel máximo en Kg./Ha. de Fósforo que se permite aplicar en la fertilización.
TopeN	Float	Nivel máximo en Kg./Ha. de Nitrógeno que se permite aplicar en la fertilización.
CMAP	Float	Costo de Muestreo con Agricultura de Precisión. Representa el costo en \$/Ha. de realizar el muestreo del suelo considerando AP.
CMSAP	Float	Costo de Muestreo Sin Agricultura de Precisión. Representa el costo en \$/Ha. de realizar el muestreo del suelo sin considerar AP.
CFLAP	Float	Costo de Fertilización Líquida con AP. Representa el costo en \$/Ha de fertilizar utilizando fertilizantes líquidos considerando AP.
CFLSAP	Float	Costo de Fertilización Líquida sin AP. Representa el costo en \$/Ha. de fertilizar utilizando fertilizantes líquidos sin considerar AP.
CFSAP	Float	Costo de Fertilización Sólida con AP. Representa el costo en \$/Ha. de fertilizar utilizando fertilizantes sólidos considerando AP.
CFSSAP	Float	Costo de Fertilización Sólida sin AP. Representa el costo en \$/Ha de fertilizar utilizando fertilizantes sólidos sin considerar AP.
CFoliarAP	Float	Costo de muestra Foliar con AP. Representa el costo en \$/Ha. de realizar una muestra foliar considerando AP.
CFoliarSAP	Float	Costo de muestra Foliar sin AP. Representa el costo en \$/Ha. de realizar una muestra foliar sin considerar AP.

4.2.3 DataZona

Encapsula información relevante a una zona de manejo como ser sus valores de N, P, Hectáreas, etc.

Nombre	Tipo de Dato	Significado
Numero	Int	Identificador de la zona. Debe ser único.
NivelN	Float	Cantidad de Nitrógeno en el suelo expresado en Kg./Ha.
NivelP	Float	Cantidad de Fósforo en el suelo expresado en Kg./Ha.
Rendimiento	Float	Rendimiento potencial expresado en Kg./Ha.
NivelNPlanta	Float	Cantidad de Nitrógeno medida en el cultivo expresada en g. N / Kg. MS (gramos de Nitrógeno por kilogramo de materia seca). Es utilizado en la última etapa de alguno de los cultivos.
Hectáreas	Float	Cantidad de hectáreas de la zona.
TipoSuelo	Int	Identificador que representa el tipo de suelo. Toma los valores 0, 1 y 2 (0:arenoso, 1:pesado, 2: mezcla)

4.2.4 DataCultivo

Encapsula información relevante al cultivo como ser su nombre, etapas y precio.

Nombre	Tipo de Dato	Significado
Nombre	String	Nombre que identifica al cultivo. Los valores que puede tomar son: "Trigo" "Cebada" "Soja" "Maiz". Se deben utilizar estos identificadores tal como están detallados, sin tildes y sin las comillas.
Etapas	String[]	Nombre que identifica a las diferentes etapas de los cultivos. Los valores que pueden tomar son: "Siembra" "Z22" "Z30" "V5V6" Depende de cada cultivo, cuales etapas son validas. Para Trigo y Cebada son Siembra, Z ₂₂ y Z ₃₀ , para Soja es Siembra y para Maíz son Siembra y V5V6.
Precio	Float	Precio unitario del cultivo expresado en \$/Kg.

4.2.5 DataArchivoConfiguracion

Encapsula la información relevante de la configuración del editor.

Nombre	Tipo de Dato	Significado
Config	DataParametro	Una instancia de DataParametro con los parámetros de costos correspondientes.
Cultivos	DataCultivo[]	Instancias de los cultivos con su información.
Fertilizantes	DataFertilizante[]	Un array de instancias de DataFertilizante, cada una correspondiendo a un fertilizante disponible.

4.2.6 DataArchivoDatos

Encapsula toda la información necesaria para solicitar a la biblioteca que realice una prescripción de fertilización. Incluye atributos de los otros datatypes descritos anteriormente.

Nombre	Tipo de Dato	Significado
Cultivo	DataCultivo	Una instancia del cultivo al que se desea realizar una prescripción de fertilización. La instancia de DataCultivo debe venir solamente con la etapa para la cual se desea realizar la prescripción.
Fertilizantes	DataFertilizante[]	Un array de instancias de DataFertilizante, cada una correspondiendo a un fertilizante disponible. La biblioteca tratará de realizar la prescripción utilizando todos los fertilizantes recibidos.
Parámetros	DataParametro	Una instancia de DataParametro con los parámetros correspondientes.
AP	Boolean	Indica a la biblioteca si se desea realizar la prescripción utilizando Agricultura de Precisión (AP=true, se utiliza Agricultura de Precisión, AP=false, no se utiliza Agricultura de Precisión).
LC	Boolean	Indica a la biblioteca si se desea realizar la prescripción utilizando Laboreo Convencional o

		Siembra Directa. (LC= <i>true</i> se utiliza Laboreo Convencional, LC= <i>false</i> se utiliza Siembra Directa).
Liquido	Boolean	Indica si se utilizarán fertilizantes líquidos o sólidos
Zonas	DataZona[]	Un array de instancias de DataZona, con la información de las Zonas de Manejo del potrero a realizar la prescripción.
Cantidadzonas	Int	Indica la cantidad de Zonas de Manejo a estudiar. Debe ser igual a la cantidad de zonas en el array "Zonas".
CantidadHectareas	Float	Indica la cantidad Total de hectáreas. Debe ser igual a la suma de las hectáreas en todas las zonas de manejo.
CantidadFertilizantes	Int	Indica la cantidad total de fertilizantes a utilizar en la prescripción. Debe ser igual a la cantidad de fertilizantes en el array "Fertilizantes".
Presupuesto	Float	Presupuesto total disponible para la etapa.

4.2.7 DataReporte

Este datatype encapsula el resultado de la prescripción de fertilización. Tiene valores como rendimiento por zona, costos, beneficio económico.

Nombre	Tipo de Dato	Significado
EncuentroSolución	Boolean	Un booleano que indica si se pudo encontrar una solución al problema de fertilización. Si su valor es <i>false</i> los valores en los demás atributos son irrelevantes.
MaximizaBE	Boolean	Indica el tipo de Modelo. Existen 2 tipos: Los que maximizan el beneficio económico (<i>true</i>). Los que minimizan el costo total (<i>false</i>).
Cantidadzonas	Int	Indica la cantidad de Zonas de Manejo.
CantidadInsumos	Int	Cantidad total de insumos.
Cultivo	String	Nombre que identifica al cultivo.
Etapa	String	Etapa del cultivo para la cual se realizó la prescripción.
Fecha	Date	Fecha del Reporte.
AP	Boolean	Indica si el reporte se realizó considerando el uso de Agricultura de Precisión (<i>true</i> : AP, <i>false</i> : No AP)
LC	Boolean	Indica si el reporte se realizó considerando Laboreo Convencional o Siembra Directa (<i>true</i> : LC, <i>false</i> : SD)
NroZonas	Int[]	Indica los números de zonas en el reporte.
CantidadN	Float[]	Indica la cantidad de Nitrógeno que se aplica por zona expresado en Kg. El índice del array se corresponde con el índice del array "NroZonas".
CantidadP	Float[]	Indica la cantidad de Fósforo que se aplica por zona expresado en Kg. El índice del array se corresponde con el índice del array "NroZonas".
RendimientoZonas	Float[]	Indica el rendimiento que se aplica por zona expresado en Kg./Ha. El índice del array se corresponde con el índice del array "NroZonas".
HectareasZonas	Float[]	Indica la cantidad de hectáreas de las zonas. El índice del array se corresponde con el índice del array "NroZonas".
InsumosZonas	Float[][]	Indica cuanto se aplica de cada insumo para cada zona. Esta expresado en Kg. El primer índice corresponde a la zona, mientras que el segundo corresponde al fertilizante. De esta forma InsumosZonas[i][j] corresponde a cuanto aplico del insumo j en la zona i.

NombreInsumos	String[]	Un array que indica los nombres de los fertilizantes utilizados.
TotalInsumo	Float[]	Un array que corresponde al total utilizado de cada uno de los insumos. Su índice se corresponde con el del array "NombreInsumos".
CostoTotal	Float	Costo total de la prescripción expresado en \$.
Ganancia	Float	Ganancia total obtenida por concepto de venta del cultivo expresada en \$.
BeneficioEconómico	Float	Resultado de Ganancia – CostoTotal expresado en \$.
RendimientoTotal	Float	Rendimiento Total del cultivo en toda la chacra.

4.3 Excepciones

En esta sección se explican todas las excepciones del sistema. Estas son utilizadas por el sistema para realizar un seguimiento de los errores y poder manejarlos.

Nombre	Descripción	Operación
IncorrectConfigFile	El formato del archivo de configuración no es correcto.	CargarConfiguracion.
IncorrectData	Cualquier error en los datos.	EscribirArchivoDatos, CargarArchivoDatos, CrearGAMS.
IncorrectReporteFile	El archivo de reporte es corrupto.	LeerReporte, EscribirReporte.
IncorrectSolFile	El archivo de salida no tiene el formato esperado.	EjecutarGAMS.
NoConfigFile	No existe el archivo de configuración.	CargarConfiguracion.
NoDataFile	Cualquier error al crear o leer el archivo de datos o el modelo de GAMS.	EscribirArchivoDatos, CargarArchivoDatos, CrearGAMS, EjecutarGAMS.
NoReporteFile	No existe el archivo de reporte.	LeerReporte, EscribirReporte.
NoSolFile	GAMS no generó un archivo de salida para la ejecución.	EjecutarGAMS.
NoSolver	No se puede encontrar o conectar a GAMS.	EjecutarGAMS.

4.4 Arquitectura

En esta sección se presenta la estructura y diseño de la Arquitectura del Sistema.

La misma cuenta con tres capas, una capa de acceso a datos, otra lógica y una de presentación logrando una buena separación de las clases según sus funcionalidades. De esta forma se consigue un diseño más claro que permite un mantenimiento y extensibilidad más sencillos.

La capa de presentación se corresponde con la interfaz gráfica que fue desarrollada como una aplicación separada y las otras dos capas están incluidas la biblioteca. El diagrama de clases se puede observar en la Figura 4.4.1.

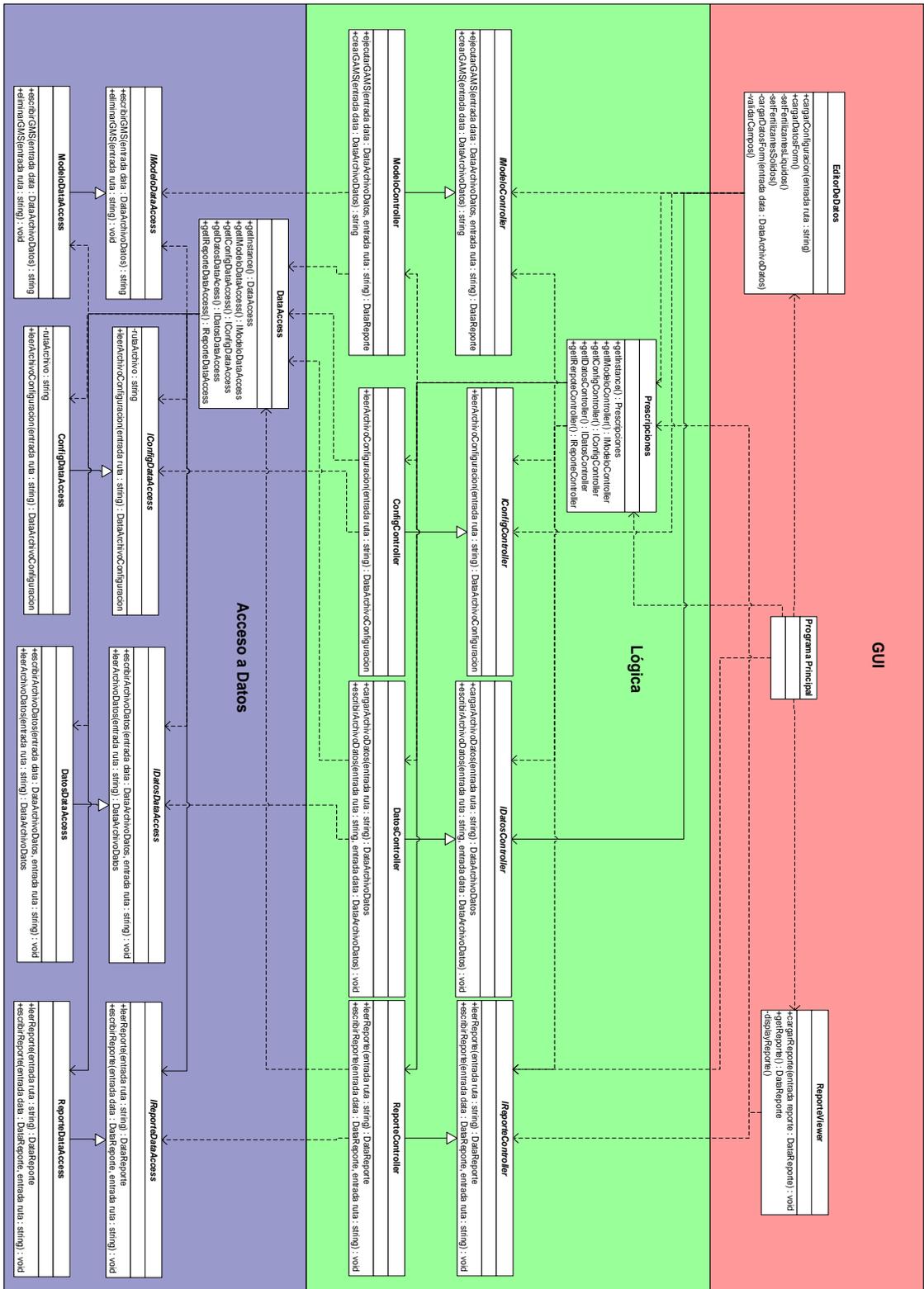


FIGURA 4.4.1: DIAGRAMA DE CLASES.

4.4.1 GUI

Se dispone en esta capa con las clases para implementar la interfaz grafica. Estas se comunican con la capa lógica y presentan la información al usuario. Esta capa es la encargada de desplegar los formularios en pantalla y ejecutar las órdenes correspondientes. Consta de una ventana principal con un menú para acceder a las diferentes funcionales (ProgramaPrincipal), un formulario para editar los datos e invocar a la generación de una prescripción (Editor de Datos) y un formulario para visualizar las prescripciones en forma de reporte (ReporteViewer).

4.4.2 Lógica

Esta capa expone 4 interfaces públicas, cada una con dominio sobre una entidad diferente y métodos que pueden ser invocados desde un sistema externo que importe la biblioteca.

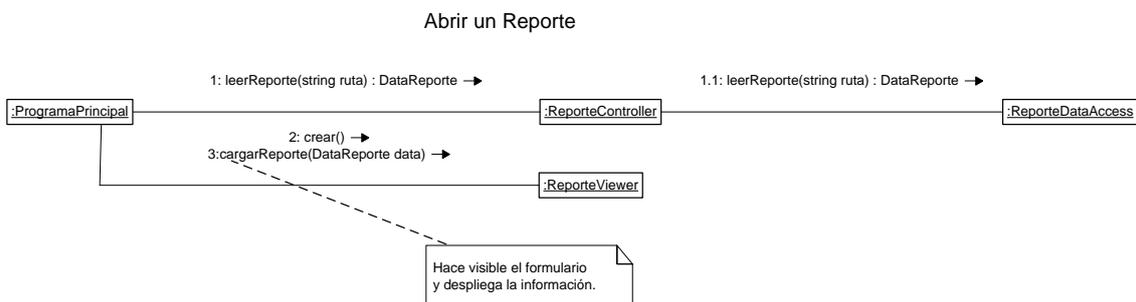
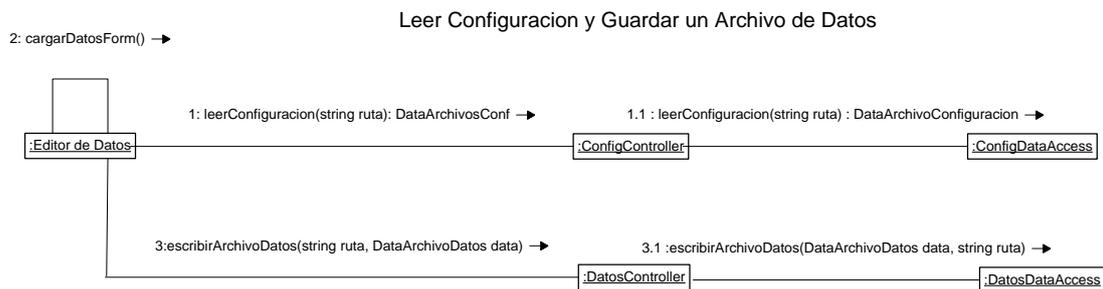
Para acceder a un objeto que implemente una interfaz esta capa posee una Factory denominada *Prescripciones* que retorna instancias de estas interfaces. El objetivo de esta Factory es desacoplar la implementación de la entidad que la invoca. Esta capa es utilizada como conexión entre el componente que la utiliza (en este caso la interfaz grafica) y los datos, pero también cumple otras funcionalidades como son la comunicación con GAMS.

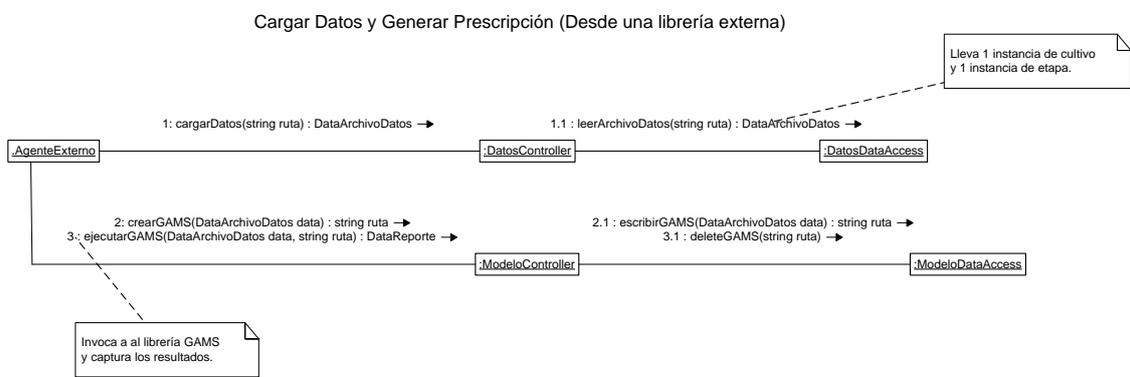
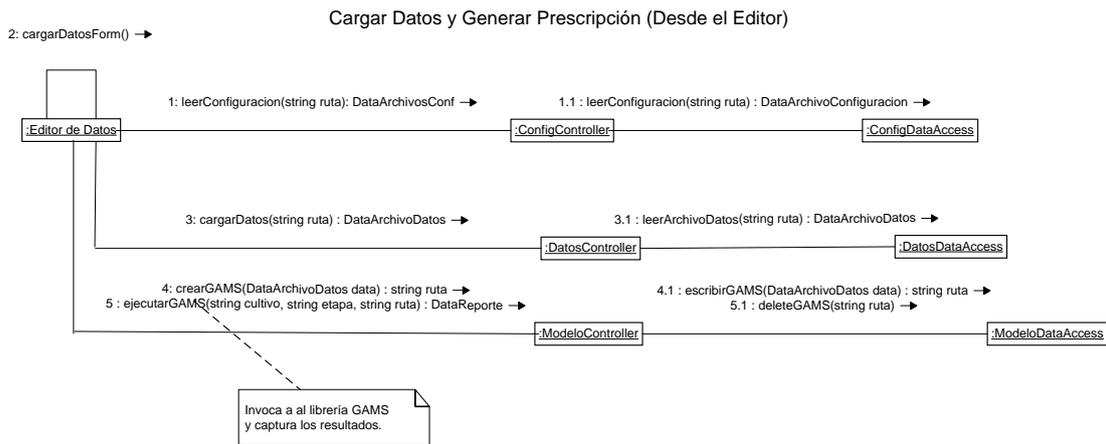
4.4.3 Acceso a Datos

Esta capa brinda 4 interfaces para que sean utilizadas por la capa lógica para acceso a datos. Para acceder a un objeto que implemente una interfaz esta capa posee una Factory denominada *DataAccess* que retorna instancias de estas interfaces. Esta capa es la encargada de todo lo relacionado a leer y escribir archivos.

4.4.4 Diagramas de colaboración

Acá se presentan los diagramas de colaboración de las operaciones.





4.4.5 Formato de los archivos

En esta sección se describen los formatos de los archivos manejados por el sistema. Existen 3 tipos de archivo relevantes en el sistema, el archivo de datos, el archivo de reporte y el archivo de configuración.

Archivo de Datos

Este archivo refleja el contenido del datatype *DataArchivoDatos*. Es un archivo de texto plano donde se tiene un dato por línea con el siguiente formato. Este archivo puede ser utilizado por otros componentes para poder acceder a la biblioteca y generar una prescripción a través de GAMS.

Este archivo tiene el formato de un archivo de texto plano y maneja 1 dato por línea. Algunas líneas son dejadas explícitamente en blanco como delimitadores. A continuación presentamos en una tabla el formato del archivo. La tabla está dividida de la siguiente forma: la primera columna muestra un esquema del archivo indicando las filas que contienen información. A su vez, para cada línea la segunda y tercera columnas muestran el dato de la línea y su tipo respectivamente.

Esquema del Archivo	Dato	Tipo
XXX	Nombre_Cultivo: XXX	String
XXX	Etapas: XXX	String
Y	AP: Y	1:AP, 0: Sin AP
Y	Laboreo : Y	1: SD, 0: LC
Y	Líquido : Y	1:Líquido, 0: Sólido
	Línea en blanco	
Y	CantidadFertilizantes: Y	Integer
YYY	Tope_A_Aplicar_N: YYY	Float (Unidad: Kg./Ha.)
YYY	Tope_A_Aplicar_P: YYY	Float (Unidad: Kg./Ha.)

XXX Y YYY YYY YYY	Línea en blanco						
	Nombre (String)	Líquido? (1:Líquido, 0:Sólido)	CantP (Kg. P /Kg.)	CantN (Kg. N/Kg.)	Precio (\$/Kg.)		
	XXX	Y	YYY	YYY	YYY		
	...						
	Línea en blanco						
Y	CantZonasManejo: Y			Integer			
YYY	CantHectareas: YYY			Float			
	Línea en blanco						
Y YYY YYY YYY YYY YYY Y	Zona (Int)	PSuelo (Kg./Ha.)	NSuelo (Kg./Ha.)	Hectáreas (Ha.)	NPlanta (g. N por Kg. MS)	RPot (Kg./Ha.)	Tipo de Suelo (0:arenoso, 1:pesado, 2:mezcla)
	Y	YYY	YYY	YYY	YYY	YYY	Y
	...						
	Línea en blanco						
YYY	Presupuesto: YYY			Float			
YYY	Precio_Cultivo: YYY			Float			
YYY	Costo_Muestra_AP: YYY			Float (Unidad: \$/Ha.)			
YYY	Costo_Muestra_SAP: YYY			Float (Unidad: \$/Ha.)			
YYY	Costo_Fert_Liq_AP: YYY			Float (Unidad: \$/Ha.)			
YYY	Costo_Fert_Liq_SAP: YYY			Float (Unidad: \$/Ha.)			
YYY	Costo_Fert_Sol_AP: YYY			Float (Unidad: \$/Ha.)			
YYY	Costo_Fert_Sol_SAP: YYY			Float (Unidad: \$/Ha.)			
YYY	Costo_Foliar_AP: YYY			Float (Unidad: \$/Ha.)			
YYY	Costo_Foliar_SAP: YYY			Float (Unidad: \$/Ha.)			

A continuación se muestra un ejemplo de archivo de datos para facilitar su comprensión

Archivo	Dato	Tipo					
Trigo Siembra 0 0 0	Nombre_Cultivo: XXX	String					
	Etapa: XXX	String					
	AP: Y	1:AP, 0: Sin AP					
	Laboreo : Y	1: SD, 0: LC					
	Líquido : Y	1:Líquido, 0: Sólido					
	Línea en blanco						
3	CantidadFertilizantes: Y	Integer					
60	Tope_A_Aplicar_N: YYY	Float (Unidad: Kg./Ha.)					
20	Tope_A_Aplicar_P: YYY	Float (Unidad: Kg./Ha.)					
Binario 0 0,46 0,18 0,65 UREA 0 0 0,46 0,505 P-simple 0 0,23 0 0,29	Nombre (String)	Líquido? (1:Líquido, 0:Sólido)	CantP (Kg. P /Kg.)	CantN (Kg. N/Kg.)	Precio (\$/Kg.)		
	XXX	Y	YYY	YYY	YYY		
	...						
	Línea en blanco						
	1 35,53	CantZonasManejo: Y	Integer				
	CantHectareas: YYY	Float					
1 41,19 36,7 35,53 19,53 3384 2	Zona (Int)	PSuelo (Kg./Ha.)	NSuelo (Kg./Ha.)	Hectáreas (Ha.)	NPlanta (g. N por Kg. MS)	RPot (Kg./Ha.)	Tipo de Suelo (0:arenoso, 1:pesado, 2:mezcla)

	Y	YYY	YYY	YYY	YYY	YYY	Y
	...						
	Línea en blanco						
2290	Presupuesto: YYY					Float	
0,193	Precio_Cultivo: YYY					Float	
7,32	Costo_Muestra_AP: YYY					Float (Unidad: \$/Ha.)	
0,25	Costo_Muestra_SAP: YYY					Float (Unidad: \$/Ha.)	
5,88	Costo_Fert_Liq_AP: YYY					Float (Unidad: \$/Ha.)	
5	Costo_Fert_Liq_SAP: YYY					Float (Unidad: \$/Ha.)	
5,78	Costo_Fert_Sol_AP: YYY					Float (Unidad: \$/Ha.)	
5	Costo_Fert_Sol_SAP: YYY					Float (Unidad: \$/Ha.)	
11,58	Costo_Foliar_AP: YYY					Float (Unidad: \$/Ha.)	
0,36	Costo_Foliar_SAP: YYY					Float (Unidad: \$/Ha.)	

Archivo del Reporte

El archivo del reporte es un archivo XML que describe la información del datatype DataReporte. Puede ser utilizada por otros componentes para poder acceder a la información generada por la biblioteca de optimización luego de ejecutarla para un modelo indicado.

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<reporte>
  <cantidadZ>Y</cantidadZ>
  <nrosZ>
    <nro>Y</nro>
    .....
  </nrosZ>
  <hectareas>
    <canth>YYY</canth>
    .....
  </hectareas>
  <cantidadI>Y</cantidadI>
  <nombresI>
    <nom>XXX</nom>
    .....
  </nombresI>
  <cultivo>XXX</cultivo>
  <etapa>XXX</etapa>
  <fecha>XXX</fecha>
  <ap>XXX</ap>
  <lc>XXX</lc>
  <cantidadn>
    <elemn>YYY</elemn>
    .....
  </cantidadn>
  <cantidadp>
    <elemn>YYY</elemn>
    .....
  </cantidadp>
  <rendimiento>
    <elemr>YYY</elemr>
    .....
  </rendimiento>
  <rendtotal>YYY</rendtotal>
  <zona-insumo>
    <zona>
      <insumo>
        <elemzi>YYY</elemzi>
      </insumo>
      .....
    </zona>
    .....
  </zona-insumo>
  <totalinsumo>
    <elemti>YYY</elemti>
    .....
  </totalinsumo>
</reporte>
```

```

<costototal>YYY</costototal>
<ganancia>YYY</ganancia>
<beneficio>YYY</beneficio>
<solucion>YYY</solucion>
<maxbeneficio>YYY</maxbeneficio>
</reporte>

```

A continuación mostramos un ejemplo del archivo para facilitar su comprensión.

```

<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<reporte>
  <cantidadZ>3</cantidadZ>
  <nrosZ>
    <nro>1</nro>
    <nro>2</nro>
    <nro>3</nro>
  </nrosZ>
  <hectareas>
    <canth>14,24</canth>
    <canth>17,37</canth>
    <canth>3,92</canth>
  </hectareas>
  <cantidadI>3</cantidadI>
  <nombresI>
    <nom>Binario</nom>
    <nom>P-simple</nom>
    <nom>UREA</nom>
  </nombresI>
  <cultivo>Trigo</cultivo>
  <etapa>Z22</etapa>
  <fecha>07/02/2008 12:00:00 a.m.</fecha>
  <ap>True</ap>
  <lc>True</lc>
  <cantidadn>
    <elemn>292,72</elemn>
    <elemn>308,48</elemn>
    <elemn>23,99</elemn>
  </cantidadn>
  <cantidadp>
    <elemn>284,8</elemn>
    <elemn>347,4</elemn>
    <elemn>78,4</elemn>
  </cantidadp>
  <rendimiento>
    <elemr>3678,9</elemr>
    <elemr>3634,15</elemr>
    <elemr>3447,92</elemr>
  </rendimiento>
  <rendtotal>3631,54</rendtotal>
  <zona-insumo>
    <zona>
      <insumo>
        <elemzi>619,13</elemzi>
      </insumo>
      <insumo>
        <elemzi>0</elemzi>
      </insumo>
      <insumo>
        <elemzi>394,09</elemzi>
      </insumo>
    </zona>
    <zona>
      <insumo>
        <elemzi>755,22</elemzi>
      </insumo>
      <insumo>
        <elemzi>0</elemzi>
      </insumo>
      <insumo>
        <elemzi>375,09</elemzi>
      </insumo>
    </zona>
  </zona-insumo>

```

```

    </insumo>
  </zona>
  <zona>
    <insumo>
      <elemzi>133,29</elemzi>
    </insumo>
    <insumo>
      <elemzi>74,3</elemzi>
    </insumo>
    <insumo>
      <elemzi>0</elemzi>
    </insumo>
  </zona>
</zona-insumo>
<totalinsumo>
  <elemti>1507,64</elemti>
  <elemti>74,3</elemti>
  <elemti>769,18</elemti>
</totalinsumo>
<costototal>1855,39</costototal>
<ganancia>24902,53</ganancia>
<beneficio>23047,14</beneficio>
<solucion>True</solucion>
<maxbeneficio>True</maxbeneficio>
</reporte>

```

Archivo de Configuración

Cuando se abre por primera vez el Editor de Datos aparecen datos cargados por defecto. Los mismos son para facilitarle el ingreso al usuario. Estos datos se modifican en el archivo de configuración llamado "config.conf" que se encuentra en la carpeta llamada "conf" de la aplicación.

Este archivo debe mantener el formato del archivo por defecto para el funcionamiento correcto de la aplicación. Es un archivo con formato XML.

A continuación se muestra el archivo de configuración por defecto y con color rojo los valores modificables.

```

<configuracion>
  <cultivo nombre="Trigo">
    <precio>0,00</precio>
    <etapa>Siembra</etapa>
    <etapa>Z22</etapa>
    <etapa>Z30</etapa>
  </cultivo>
  <cultivo nombre="Cebada">
    <precio>0,00</precio>
    <etapa>Siembra</etapa>
    <etapa>Z22</etapa>
    <etapa>Z30</etapa>
  </cultivo>
  <cultivo nombre="Maiz">
    <precio>0,00</precio>
    <etapa>Siembra</etapa>
    <etapa>V5V6</etapa>
  </cultivo>
  <cultivo nombre="Soja">
    <precio>0,00</precio>
    <etapa>Siembra</etapa>
  </cultivo>
  <fertilizante nombre="Binario">
    <liquido>>false</liquido>
    <nivel_P>0,46</nivel_P>
    <nivel_N>0,18</nivel_N>
    <precio>0,650</precio>
  </fertilizante>
  <fertilizante nombre="P-simple">
    <liquido>>false</liquido>

```

```

<nivel_P>0,23</nivel_P>
<nivel_N>0,00</nivel_N>
<precio>0,290</precio>
</fertilizante>
<fertilizante nombre="UREA">
<liquido>>false</liquido>
<nivel_P>0,00</nivel_P>
<nivel_N>0,46</nivel_N>
<precio>0,505</precio>
</fertilizante>
<fertilizante nombre="U-30">
<liquido>>true</liquido>
<nivel_P>0,00</nivel_P>
<nivel_N>0,30</nivel_N>
<precio>0,360</precio>
</fertilizante>
<parametros>
<topeP>0,00</topeP>
<topeN>0,00</topeN>
<Costo_Muestra_AP>7,32</Costo_Muestra_AP>
<Costo_Muestra_SAP>0,25</Costo_Muestra_SAP>
<Costo_Fert_Liq_AP>5,88</Costo_Fert_Liq_AP>
<Costo_Fert_Liq_SAP>5,00</Costo_Fert_Liq_SAP>
<Costo_Fert_Sol_AP>5,78</Costo_Fert_Sol_AP>
<Costo_Fert_Sol_SAP>5,00</Costo_Fert_Sol_SAP>
<Costo_Foliar_AP>11,58</Costo_Foliar_AP>
<Costo_Foliar_SAP>0,36</Costo_Foliar_SAP>
</parametros>
</configuracion>

```

Este archivo posee:

- los nombres de los cultivos, con sus precios y etapas.
- los nombres de los fertilizantes, con su indicador de si es líquido o no, su nivel de Fósforo, su nivel de Nitrógeno y su precio.
- los parámetros, que son los topes de Fósforo y Nitrógeno a considerar y varios costos.

Hay que tener en cuenta que los nombres de los cultivos y de los fertilizantes no deben llevar tilde.

Los nombres de los cultivos, los nombres de los fertilizantes y las etapas son alfanuméricos. El precio de los cultivos, los niveles de Fósforo, Nitrógeno y el precio de los fertilizantes, los topes y todos los costos son numéricos. El indicador de si el fertilizante es líquido o sólido tiene el valor "false" si es sólido y "true" si es líquido.

Este archivo puede ser utilizado para poder contar con un determinado conjunto de fertilizantes al inicio de la aplicación, y no tener que ingresarlos manualmente cada vez que se quiera utilizarlos. También es posible modificar los costos, los precios de los cultivos existentes y los topes de las cantidades a aplicar de cada nutriente que se muestran por defecto, debido a que estos pueden variar con el tiempo, y es deseado mostrarle al usuario estos valores y que este no tenga que ingresarlos cada vez que se ejecuta la interfaz grafica. No es recomendable agregar o modificar los datos de los cultivos que no sean el precio.

5 Anexo 5 – Resultados de las Pruebas de los cultivos

5.1 Trigo

5.1.1 Consideraciones Generales

Para este cultivo la aplicación considera las etapas Siembra, Z_{22} y Z_{30} .

El modelo de la etapa Siembra no utiliza para la resolución del problema los valores ingresados en el Editor de Datos de: *Nivel N en Planta* y *Tipo de Suelo* de cada zona. Los resultados obtenidos en el Reporte son producto de maximizar el beneficio económico.

El modelo de la etapa Z_{22} no utiliza para la resolución del problema los valores ingresados en el Editor de Datos de: *Nivel P* (en el suelo), *Nivel N en Planta*, *Rendimiento* y *Tipo de Suelo* de cada zona. Los resultados obtenidos en el Reporte son producto de maximizar el beneficio económico.

El modelo de la etapa Z_{30} no utiliza para la resolución del problema los valores ingresados en el Editor de Datos de: *Nivel N* (en el suelo), *Nivel P* (en el suelo) y *Tipo de Suelo* de cada zona. Los resultados obtenidos en el Reporte son producto de maximizar el beneficio económico.

5.1.2 Casos Standard

Los casos “Standard” son aquellos que se probaron todas las etapas del cultivo variando el tipo de manejo y tipo de laboreo. Es decir, no se alteraron ni los valores de los parámetros, ni de los fertilizantes y ni los de las zonas.

Para los casos de “no AP” se utilizó toda la chacra como una sola zona de manejo y con los valores que se muestran a continuación.

Zonas Definidas

	Zona	Nivel N (Kg./Ha.)	Nivel P (Kg./Ha.)	Nivel N Planta (g. N/Kg. MS)	Rendimiento (Kg./Ha.)	Hectáreas	Tipo Suelo
AP	1	32,88	43,52	40,6	2800	14,24	2
	2	34,74	43,23	38,9	3500	17,37	2
	3	42,48	36,84	39,1	5000	3,92	2
Sin AP	1	36,7	41,19	19,53	3384	35,53	2

Códigos de los Tipos de Suelo

- 0: Arenoso
- 1: Pesado
- 2: Mezcla

Siembra – Con AP – Laboreo Convencional

Observaciones:
Se utilizan los 3 fertilizantes en las 3 zonas con uso de AP.

Resultados:
La prescripción es de realizar fertilización con N.

Cultivo: Trigo Etapa: Siembra Precio: 0,193 \$/Kg		<input checked="" type="checkbox"/> Agricultura de Precisión <input checked="" type="checkbox"/> Laboreo Convencional																													
General		Cultivo: Trigo Manejo: Agricultura de Precisión Fecha: 11/02/2008																													
Etapas: Siembra Laboreo: Laboreo Convencional																															
Parámetros Tope P: 60 Kg/Ha Costo de Fertilización Líquida con AP: 5,88 \$/Ha Tope N: 60 Kg/Ha Costo de Fertilización Líquida sin AP: 5 \$/Ha Costo de Muestreo con AP: 7,32 \$/Ha Costo de Fertilización Sólida con AP: 5,78 \$/Ha Costo de Muestreo sin AP: 0,25 \$/Ha Costo de Fertilización Sólida sin AP: 5 \$/Ha Costo de Muestra Foliar con AP: 11,58 \$/Ha Presupuesto: 2290 \$ Costo de Muestra Foliar sin AP: 0,36 \$/Ha																															
Fertilizantes <input type="checkbox"/> Utilizar Fertilizantes Líquidos																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Nombre</th> <th>Nivel N (Kg N/Kg)</th> <th>Nivel P (Kg P/Kg)</th> <th>Precio (\$/Kg)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>UREA</td> <td>0,46</td> <td>0</td> <td>0,505</td> </tr> <tr> <td>P-simple</td> <td>0</td> <td>0,23</td> <td>0,29</td> </tr> <tr> <td>Binaio</td> <td>0,18</td> <td>0,46</td> <td>0,65</td> </tr> </tbody> </table>				Nombre	Nivel N (Kg N/Kg)	Nivel P (Kg P/Kg)	Precio (\$/Kg)	UREA	0,46	0	0,505	P-simple	0	0,23	0,29	Binaio	0,18	0,46	0,65												
Nombre	Nivel N (Kg N/Kg)	Nivel P (Kg P/Kg)	Precio (\$/Kg)																												
UREA	0,46	0	0,505																												
P-simple	0	0,23	0,29																												
Binaio	0,18	0,46	0,65																												
Zonas de Manejo <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Nro</th> <th>Nivel N (Kg/Ha)</th> <th>Nivel P (Kg/Ha)</th> <th>Nivel N Planta (g N/Kg MS)</th> <th>Rendimiento (Kg/Ha)</th> <th>Hectareas</th> <th>Tipo de</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>32,88</td> <td>43,52</td> <td>40,6</td> <td>2800</td> <td>14,24</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>34,74</td> <td>43,23</td> <td>38,9</td> <td>3500</td> <td>17,37</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>42,48</td> <td>36,84</td> <td>39,1</td> <td>5000</td> <td>3,92</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table>				Nro	Nivel N (Kg/Ha)	Nivel P (Kg/Ha)	Nivel N Planta (g N/Kg MS)	Rendimiento (Kg/Ha)	Hectareas	Tipo de	1	32,88	43,52	40,6	2800	14,24	2	2	34,74	43,23	38,9	3500	17,37	2	3	42,48	36,84	39,1	5000	3,92	2
Nro	Nivel N (Kg/Ha)	Nivel P (Kg/Ha)	Nivel N Planta (g N/Kg MS)	Rendimiento (Kg/Ha)	Hectareas	Tipo de																									
1	32,88	43,52	40,6	2800	14,24	2																									
2	34,74	43,23	38,9	3500	17,37	2																									
3	42,48	36,84	39,1	5000	3,92	2																									
Zonas <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Zona</th> <th>Nivel N (Kg)</th> <th>Nivel P (Kg)</th> <th>Hectareas</th> <th>Rendimiento (Kg/Ha)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>577,52</td> <td>0</td> <td>14,24</td> <td>3783,54</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>655,88</td> <td>0</td> <td>17,37</td> <td>4462,6</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>102,39</td> <td>0</td> <td>3,92</td> <td>5833,41</td> </tr> </tbody> </table>				Zona	Nivel N (Kg)	Nivel P (Kg)	Hectareas	Rendimiento (Kg/Ha)	1	577,52	0	14,24	3783,54	2	655,88	0	17,37	4462,6	3	102,39	0	3,92	5833,41								
Zona	Nivel N (Kg)	Nivel P (Kg)	Hectareas	Rendimiento (Kg/Ha)																											
1	577,52	0	14,24	3783,54																											
2	655,88	0	17,37	4462,6																											
3	102,39	0	3,92	5833,41																											
Fertilizantes <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Insumo</th> <th>Zona 1 (Kg)</th> <th>Zona 2 (Kg)</th> <th>Zona 3 (Kg)</th> <th>Total (Kg)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>UREA</td> <td>1255,48</td> <td>1425,83</td> <td>222,59</td> <td>2903,90015</td> </tr> <tr> <td>P-simple</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Binaio</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>				Insumo	Zona 1 (Kg)	Zona 2 (Kg)	Zona 3 (Kg)	Total (Kg)	UREA	1255,48	1425,83	222,59	2903,90015	P-simple	0	0	0	0	Binaio	0	0	0	0								
Insumo	Zona 1 (Kg)	Zona 2 (Kg)	Zona 3 (Kg)	Total (Kg)																											
UREA	1255,48	1425,83	222,59	2903,90015																											
P-simple	0	0	0	0																											
Binaio	0	0	0	0																											
Económicos Rendimiento: 4341,68 Kg/Ha Ganancia: 29772,16 \$ Total Hectáreas: 35,53 Costo: 1931,91 \$ Beneficio Económico: 27840,25 \$																															

Siembra – Con AP – Siembra Directa

Observaciones:
Se utilizan los 3 fertilizantes en las 3 zonas con uso de AP.

Resultados:
La prescripción es de realizar fertilización con N y P.

Cultivo: Trigo Etapa: Siembra Precio: 0,193 \$/Kg		<input checked="" type="checkbox"/> Agricultura de Precisión <input type="checkbox"/> Laboreo Convencional																													
General		Cultivo: Trigo Manejo: Agricultura de Precisión Fecha: 18/02/2008																													
Etapas: Siembra Laboreo: Siembra Directa																															
Parámetros Tope P: 60 Kg/Ha Costo de Fertilización Líquida con AP: 5,88 \$/Ha Tope N: 60 Kg/Ha Costo de Fertilización Líquida sin AP: 5 \$/Ha Costo de Muestreo con AP: 7,32 \$/Ha Costo de Fertilización Sólida con AP: 5,78 \$/Ha Costo de Muestreo sin AP: 0,25 \$/Ha Costo de Fertilización Sólida sin AP: 5 \$/Ha Costo de Muestra Foliar con AP: 11,58 \$/Ha Presupuesto: 2290 \$ Costo de Muestra Foliar sin AP: 0,36 \$/Ha																															
Fertilizantes <input type="checkbox"/> Utilizar Fertilizantes Líquidos																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Nombre</th> <th>Nivel N (Kg N/Kg)</th> <th>Nivel P (Kg P/Kg)</th> <th>Precio (\$/Kg)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>UREA</td> <td>0,46</td> <td>0</td> <td>0,505</td> </tr> <tr> <td>P-simple</td> <td>0</td> <td>0,23</td> <td>0,29</td> </tr> <tr> <td>Binaio</td> <td>0,18</td> <td>0,46</td> <td>0,65</td> </tr> </tbody> </table>				Nombre	Nivel N (Kg N/Kg)	Nivel P (Kg P/Kg)	Precio (\$/Kg)	UREA	0,46	0	0,505	P-simple	0	0,23	0,29	Binaio	0,18	0,46	0,65												
Nombre	Nivel N (Kg N/Kg)	Nivel P (Kg P/Kg)	Precio (\$/Kg)																												
UREA	0,46	0	0,505																												
P-simple	0	0,23	0,29																												
Binaio	0,18	0,46	0,65																												
Zonas de Manejo <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Nro</th> <th>Nivel N (Kg/Ha)</th> <th>Nivel P (Kg/Ha)</th> <th>Nivel N Planta (g N/Kg MS)</th> <th>Rendimiento (Kg/Ha)</th> <th>Hectareas</th> <th>Tipo de</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>32,88</td> <td>43,52</td> <td>40,6</td> <td>2800</td> <td>14,24</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>34,74</td> <td>43,23</td> <td>38,9</td> <td>3500</td> <td>17,37</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>42,48</td> <td>36,84</td> <td>39,1</td> <td>5000</td> <td>3,92</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table>				Nro	Nivel N (Kg/Ha)	Nivel P (Kg/Ha)	Nivel N Planta (g N/Kg MS)	Rendimiento (Kg/Ha)	Hectareas	Tipo de	1	32,88	43,52	40,6	2800	14,24	2	2	34,74	43,23	38,9	3500	17,37	2	3	42,48	36,84	39,1	5000	3,92	2
Nro	Nivel N (Kg/Ha)	Nivel P (Kg/Ha)	Nivel N Planta (g N/Kg MS)	Rendimiento (Kg/Ha)	Hectareas	Tipo de																									
1	32,88	43,52	40,6	2800	14,24	2																									
2	34,74	43,23	38,9	3500	17,37	2																									
3	42,48	36,84	39,1	5000	3,92	2																									
Zonas <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Zona</th> <th>Nivel N (Kg)</th> <th>Nivel P (Kg)</th> <th>Hectareas</th> <th>Rendimiento (Kg/Ha)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>577,52</td> <td>6,75</td> <td>14,24</td> <td>3783,54</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>655,88</td> <td>9,63</td> <td>17,37</td> <td>4462,6</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>102,39</td> <td>9,09</td> <td>3,92</td> <td>5833,41</td> </tr> </tbody> </table>				Zona	Nivel N (Kg)	Nivel P (Kg)	Hectareas	Rendimiento (Kg/Ha)	1	577,52	6,75	14,24	3783,54	2	655,88	9,63	17,37	4462,6	3	102,39	9,09	3,92	5833,41								
Zona	Nivel N (Kg)	Nivel P (Kg)	Hectareas	Rendimiento (Kg/Ha)																											
1	577,52	6,75	14,24	3783,54																											
2	655,88	9,63	17,37	4462,6																											
3	102,39	9,09	3,92	5833,41																											
Fertilizantes <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Insumo</th> <th>Zona 1 (Kg)</th> <th>Zona 2 (Kg)</th> <th>Zona 3 (Kg)</th> <th>Total (Kg)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Binaio</td> <td>14,67</td> <td>20,92</td> <td>19,76</td> <td>55,35</td> </tr> <tr> <td>P-simple</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>UREA</td> <td>1249,74</td> <td>1417,64</td> <td>214,86</td> <td>2882,24</td> </tr> </tbody> </table>				Insumo	Zona 1 (Kg)	Zona 2 (Kg)	Zona 3 (Kg)	Total (Kg)	Binaio	14,67	20,92	19,76	55,35	P-simple	0	0	0	0	UREA	1249,74	1417,64	214,86	2882,24								
Insumo	Zona 1 (Kg)	Zona 2 (Kg)	Zona 3 (Kg)	Total (Kg)																											
Binaio	14,67	20,92	19,76	55,35																											
P-simple	0	0	0	0																											
UREA	1249,74	1417,64	214,86	2882,24																											
Económicos Rendimiento: 4341,68 Kg/Ha Ganancia: 29772,17 \$ Total Hectáreas: 35,53 Costo: 1956,96 \$ Beneficio Económico: 27815,21 \$																															

Siembra – Sin AP – Laboreo Convencional

Observaciones:
Se utilizan los 3 fertilizantes en 1 zona sin utilizar AP.

Resultados:
La prescripción es de realizar fertilización con N.

Cultivo: Trigo Etapa: Siembra Precio: 0,193 \$/Kg <input type="checkbox"/> Agricultura de Precisión <input checked="" type="checkbox"/> Laboreo Convencional		General Cultivo: Trigo Manejo: NO utiliza Agricultura de Precisión Fecha: 11/02/2008 Etapa: Siembra Laboreo: Laboreo Convencional																																	
Parámetros Tope P: 20 Kg/Ha Costo de Fertilización Líquida con AP: 5,88 \$/Ha Tope N: 60 Kg/Ha Costo de Fertilización Líquida sin AP: 5 \$/Ha Costo de Muestreo con AP: 7,32 \$/Ha Costo de Fertilización Sólida con AP: 5,78 \$/Ha Costo de Muestreo sin AP: 0,25 \$/Ha Costo de Fertilización Sólida sin AP: 5 \$/Ha Costo de Muestra Foliar con AP: 11,58 \$/Ha Presupuesto: 2290 \$ Costo de Muestra Foliar sin AP: 0,36 \$/Ha		Zonas <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Zona</th> <th>Nivel N (Kg)</th> <th>Nivel P (Kg)</th> <th>Hectareas</th> <th>Rendimiento (Kg/Ha)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>▶ 1</td> <td>1236,87</td> <td>0</td> <td>35,53</td> <td>4313,89</td> </tr> </tbody> </table>		Zona	Nivel N (Kg)	Nivel P (Kg)	Hectareas	Rendimiento (Kg/Ha)	▶ 1	1236,87	0	35,53	4313,89																						
Zona	Nivel N (Kg)	Nivel P (Kg)	Hectareas	Rendimiento (Kg/Ha)																															
▶ 1	1236,87	0	35,53	4313,89																															
Fertilizantes <input type="checkbox"/> Utilizar Fertilizantes Líquidos <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Nombre</th> <th>Nivel N (Kg N/Kg)</th> <th>Nivel P (Kg P/Kg)</th> <th>Precio (\$/Kg)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>UREA</td> <td>0,46</td> <td>0</td> <td>0,505</td> </tr> <tr> <td>P-simple</td> <td>0</td> <td>0,23</td> <td>0,29</td> </tr> <tr> <td>▶ Binario</td> <td>0,18</td> <td>0,46</td> <td>0,65</td> </tr> <tr> <td>*</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Nombre	Nivel N (Kg N/Kg)	Nivel P (Kg P/Kg)	Precio (\$/Kg)	UREA	0,46	0	0,505	P-simple	0	0,23	0,29	▶ Binario	0,18	0,46	0,65	*				Fertilizantes <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Insumo</th> <th>Zona 1 (Kg)</th> <th>Total (Kg)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>▶ UREA</td> <td>2698,85</td> <td>2698,85</td> </tr> <tr> <td>P-simple</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Binario</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>		Insumo	Zona 1 (Kg)	Total (Kg)	▶ UREA	2698,85	2698,85	P-simple	0	0	Binario	0	0
Nombre	Nivel N (Kg N/Kg)	Nivel P (Kg P/Kg)	Precio (\$/Kg)																																
UREA	0,46	0	0,505																																
P-simple	0	0,23	0,29																																
▶ Binario	0,18	0,46	0,65																																
*																																			
Insumo	Zona 1 (Kg)	Total (Kg)																																	
▶ UREA	2698,85	2698,85																																	
P-simple	0	0																																	
Binario	0	0																																	
Zonas de Manejo <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Nro</th> <th>Nivel N (Kg/Ha)</th> <th>Nivel P (Kg/Ha)</th> <th>Nivel N Planta (g N/Kg MS)</th> <th>Rendimiento (Kg/Ha)</th> <th>Hectareas</th> <th>Tipo de</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>▶ 1</td> <td>36,7</td> <td>41,19</td> <td>19,53</td> <td>3384</td> <td>35,53</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table>		Nro	Nivel N (Kg/Ha)	Nivel P (Kg/Ha)	Nivel N Planta (g N/Kg MS)	Rendimiento (Kg/Ha)	Hectareas	Tipo de	▶ 1	36,7	41,19	19,53	3384	35,53	2	Económicos Rendimiento: 4313,89 Kg/Ha Ganancia: 29581,57 \$ Total Hectáreas: 35,53 Costo: 1544,4 \$ Beneficio Económico: 28037,17 \$																			
Nro	Nivel N (Kg/Ha)	Nivel P (Kg/Ha)	Nivel N Planta (g N/Kg MS)	Rendimiento (Kg/Ha)	Hectareas	Tipo de																													
▶ 1	36,7	41,19	19,53	3384	35,53	2																													

Siembra – Sin AP – Siembra Directa

Observaciones:
Se utilizan los 3 fertilizantes en 1 zona sin utilizar AP.

Resultados:
La prescripción es de realizar fertilización con N y P.

Cultivo: Trigo Etapa: Siembra Precio: 0,193 \$/Kg <input type="checkbox"/> Agricultura de Precisión <input type="checkbox"/> Laboreo Convencional		General Cultivo: Trigo Manejo: NO utiliza Agricultura de Precisión Fecha: 18/02/2008 Etapa: Siembra Laboreo: Siembra Directa																																	
Parámetros Tope P: 20 Kg/Ha Costo de Fertilización Líquida con AP: 5,88 \$/Ha Tope N: 60 Kg/Ha Costo de Fertilización Líquida sin AP: 5 \$/Ha Costo de Muestreo con AP: 7,32 \$/Ha Costo de Fertilización Sólida con AP: 5,78 \$/Ha Costo de Muestreo sin AP: 0,25 \$/Ha Costo de Fertilización Sólida sin AP: 5 \$/Ha Costo de Muestra Foliar con AP: 11,58 \$/Ha Presupuesto: 2290 \$ Costo de Muestra Foliar sin AP: 0,36 \$/Ha		Zonas <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Zona</th> <th>Nivel N (Kg)</th> <th>Nivel P (Kg)</th> <th>Hectareas</th> <th>Rendimiento (Kg/Ha)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>▶ 1</td> <td>1236,87</td> <td>39,71</td> <td>35,53</td> <td>4313,89</td> </tr> </tbody> </table>		Zona	Nivel N (Kg)	Nivel P (Kg)	Hectareas	Rendimiento (Kg/Ha)	▶ 1	1236,87	39,71	35,53	4313,89																						
Zona	Nivel N (Kg)	Nivel P (Kg)	Hectareas	Rendimiento (Kg/Ha)																															
▶ 1	1236,87	39,71	35,53	4313,89																															
Fertilizantes <input type="checkbox"/> Utilizar Fertilizantes Líquidos <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Nombre</th> <th>Nivel N (Kg N/Kg)</th> <th>Nivel P (Kg P/Kg)</th> <th>Precio (\$/Kg)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>UREA</td> <td>0,46</td> <td>0</td> <td>0,505</td> </tr> <tr> <td>P-simple</td> <td>0</td> <td>0,23</td> <td>0,29</td> </tr> <tr> <td>▶ Binario</td> <td>0,18</td> <td>0,46</td> <td>0,65</td> </tr> <tr> <td>*</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Nombre	Nivel N (Kg N/Kg)	Nivel P (Kg P/Kg)	Precio (\$/Kg)	UREA	0,46	0	0,505	P-simple	0	0,23	0,29	▶ Binario	0,18	0,46	0,65	*				Fertilizantes <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Insumo</th> <th>Zona 1 (Kg)</th> <th>Total (Kg)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>▶ UREA</td> <td>2655,07</td> <td>2655,07</td> </tr> <tr> <td>P-simple</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Binario</td> <td>86,33</td> <td>86,33</td> </tr> </tbody> </table>		Insumo	Zona 1 (Kg)	Total (Kg)	▶ UREA	2655,07	2655,07	P-simple	0	0	Binario	86,33	86,33
Nombre	Nivel N (Kg N/Kg)	Nivel P (Kg P/Kg)	Precio (\$/Kg)																																
UREA	0,46	0	0,505																																
P-simple	0	0,23	0,29																																
▶ Binario	0,18	0,46	0,65																																
*																																			
Insumo	Zona 1 (Kg)	Total (Kg)																																	
▶ UREA	2655,07	2655,07																																	
P-simple	0	0																																	
Binario	86,33	86,33																																	
Zonas de Manejo <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Nro</th> <th>Nivel N (Kg/Ha)</th> <th>Nivel P (Kg/Ha)</th> <th>Nivel N Planta (g N/Kg MS)</th> <th>Rendimiento (Kg/Ha)</th> <th>Hectareas</th> <th>Tipo de</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>▶ 1</td> <td>36,7</td> <td>41,19</td> <td>19,53</td> <td>3384</td> <td>35,53</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table>		Nro	Nivel N (Kg/Ha)	Nivel P (Kg/Ha)	Nivel N Planta (g N/Kg MS)	Rendimiento (Kg/Ha)	Hectareas	Tipo de	▶ 1	36,7	41,19	19,53	3384	35,53	2	Económicos Rendimiento: 4313,89 Kg/Ha Ganancia: 29581,58 \$ Total Hectáreas: 35,53 Costo: 1583,46 \$ Beneficio Económico: 27998,12 \$																			
Nro	Nivel N (Kg/Ha)	Nivel P (Kg/Ha)	Nivel N Planta (g N/Kg MS)	Rendimiento (Kg/Ha)	Hectareas	Tipo de																													
▶ 1	36,7	41,19	19,53	3384	35,53	2																													

Z₂₂ – Con AP – Laboreo Convencional

Observaciones:
Se utilizan los 3 fertilizantes en las 3 zonas con uso de AP.

Resultados:
La prescripción es de realizar fertilización con N.

EditorDatos

Cultivo: Trigo, Etapa: Z22, Precio: 0,133 \$/Kg, Agricultura de Precisión, Laboreo Convencional

Parámetros

Topo P	0	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida con AP	5,88	\$/Ha
Topo N	60	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestreo con AP	7,32	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida con AP	5,78	\$/Ha
Costo de Muestreo sin AP	0,25	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestra Foliar con AP	11,58	\$/Ha	Presupuesto	2290	\$
Costo de Muestra Foliar sin AP	0,36	\$/Ha			

Fertilizantes

Nombre	Nivel N (Kg N/Kg)	Nivel P (Kg P/Kg)	Precio (\$/Kg)
Binario	0,18	0,46	0,65
P-simple	0	0,23	0,29
UREA	0,46	0	0,505

Zonas de Manejo

Nro	Nivel N (Kg/Ha)	Nivel P (Kg/Ha)	Nivel N Planta (g N/Kg MS)	Rendimiento (Kg/Ha)	Hectareas	Tipo
1	32,88	43,52	40,6	2800	14,24	2
2	34,74	43,23	38,9	3500	17,37	2
3	42,48	36,84	39,1	5000	3,92	2

Reporte

General: Cultivo: Trigo, Manejo: Agricultura de Precisión, Fecha: 08/04/2008
Etapa: Z22, Laboreo: Laboreo Convencional

Zonas

Zona	Nivel N (Kg)	Nivel P (Kg)	Hectareas	Rendimiento (Kg/Ha)
1	292,72	0	14,24	3678,9
2	308,48	0	17,37	3634,15
3	23,99	0	3,92	3447,92

Fertilizantes

Insumo	Zona 1 (Kg)	Zona 2 (Kg)	Zona 3 (Kg)	Total (Kg)
UREA	636,35	670,61	52,16	1359,12
P-simple	0	0	0	0
Binario	0	0	0	0

Económicos

Rendimiento:	3631,54	Kg/Ha	Ganancia:	24902,53	\$
Total Hectáreas:	35,53		Costo:	1151,8	\$
			Beneficio Económico:	23750,73	\$

Z₂₂ – Con AP – Siembra Directa

Observaciones:
Se utilizan los 3 fertilizantes en las 3 zonas con uso de AP.

Resultados:
La prescripción es de realizar fertilización con N.

EditorDatos

Cultivo: Trigo, Etapa: Z22, Precio: 0,133 \$/Kg, Agricultura de Precisión, Laboreo Convencional

Parámetros

Topo P	0	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida con AP	5,88	\$/Ha
Topo N	60	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestreo con AP	7,32	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida con AP	5,78	\$/Ha
Costo de Muestreo sin AP	0,25	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestra Foliar con AP	11,58	\$/Ha	Presupuesto	2290	\$
Costo de Muestra Foliar sin AP	0,36	\$/Ha			

Fertilizantes

Nombre	Nivel N (Kg N/Kg)	Nivel P (Kg P/Kg)	Precio (\$/Kg)
Binario	0,18	0,46	0,65
P-simple	0	0,23	0,29
UREA	0,46	0	0,505

Zonas de Manejo

Nro	Nivel N (Kg/Ha)	Nivel P (Kg/Ha)	Nivel N Planta (g N/Kg MS)	Rendimiento (Kg/Ha)	Hectareas	Tipo
1	32,88	43,52	40,6	2800	14,24	2
2	34,74	43,23	38,9	3500	17,37	2
3	42,48	36,84	39,1	5000	3,92	2

Reporte

General: Cultivo: Trigo, Manejo: Agricultura de Precisión, Fecha: 08/04/2008
Etapa: Z22, Laboreo: Siembra Directa

Zonas

Zona	Nivel N (Kg)	Nivel P (Kg)	Hectareas	Rendimiento (Kg/Ha)
1	292,72	0	14,24	3117,23
2	308,48	0	17,37	3019,64
3	23,99	0	3,92	2613,54

Fertilizantes

Insumo	Zona 1 (Kg)	Zona 2 (Kg)	Zona 3 (Kg)	Total (Kg)
UREA	636,35	670,61	52,16	1359,12
P-simple	0	0	0	0
Binario	0	0	0	0

Económicos

Rendimiento:	3013,95	Kg/Ha	Ganancia:	20867,54	\$
Total Hectáreas:	35,53		Costo:	1151,8	\$
			Beneficio Económico:	19515,74	\$

Z₂₂ – Sin AP – Laboreo Convencional

Observaciones:

Se utilizan los 3 fertilizantes en 1 zona sin utilizar AP.

Resultados:

La prescripción es de realizar fertilización con N.

Z₂₂ – Sin AP – Siembra Directa

Observaciones:

Se utilizan los 3 fertilizantes en 1 zona sin utilizar AP.

Resultados:

La prescripción es de realizar fertilización con N.

Z₃₀ – Con AP – Laboreo Convencional

Observaciones:

Se utilizan los 3 fertilizantes en las 3 zonas con uso de AP.
Se utiliza un tope de fertilización con P de 0 Kg./Ha. porque no se fertiliza con P a Z₃₀.

Resultados:

La prescripción es de no realizar fertilización.

Cultivo: Trigo		Etapa: Z30		Precio: 0,193 \$/Kg		<input checked="" type="checkbox"/> Agricultura de Precisión		Fecha: 11/02/2008	
						<input type="checkbox"/> Laboreo Convencional			

Parámetros		Costo de Fertilización Líquida con AP		5,88 \$/Ha	
Topo P	0 Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida sin AP		5 \$/Ha	
Topo N	100 Kg/Ha	Costo de Fertilización Sólida con AP		5,78 \$/Ha	
Costo de Muestreo con AP	7,32 \$/Ha	Costo de Fertilización Sólida sin AP		5 \$/Ha	
Costo de Muestreo sin AP	0,25 \$/Ha	Presupuesto		2290 \$	
Costo de Muestra Foliar con AP	11,58 \$/Ha				
Costo de Muestra Foliar sin AP	0,36 \$/Ha				

Fertilizantes				
<input type="checkbox"/> Utilizar Fertilizantes Líquidos				
Nombre	Nivel N (Kg N/Kg)	Nivel P (Kg P/Kg)	Precio (\$/Kg)	
UREA	0,46	0	0,505	
P-simple	0	0,23	0,29	
Binario	0,18	0,46	0,65	
*				

Zonas de Manejo						
Nro	Nivel N (Kg/Ha)	Nivel P (Kg/Ha)	Nivel N Planta (g N/Kg MS)	Rendimiento (Kg/Ha)	Hectareas	Tipo de
1	32,88	43,52	40,6	2800	14,24	2
2	34,74	43,23	38,9	3500	17,37	2
3	42,48	36,84	39,1	5000	3,92	2
*						

Zonas				
Zona	Nivel N (Kg)	Nivel P (Kg)	Hectareas	Rendimiento (Kg/Ha)
1	0	0	14,24	3300
2	0	0	17,37	3300
3	0	0	3,92	3300

Fertilizantes				
Insumo	Zona 1 (Kg)	Zona 2 (Kg)	Zona 3 (Kg)	Total (Kg)
Binario	0	0	0	0
P-simple	0	0	0	0
UREA	0	0	0	0

Económicos				
Rendimiento:	3300	Kg/Ha	Ganancia:	22629,06 \$
Total Hectáreas:	35,53		Costo:	260,08 \$
			Beneficio Económico:	22368,98 \$

Z₃₀ – Con AP – Siembra Directa

Observaciones:

Se utilizan los 3 fertilizantes en las 3 zonas con uso de AP.
Se utiliza un tope de fertilización con P de 0 Kg./Ha. porque no se fertiliza con P a Z₃₀.

Resultados:

La prescripción es de realizar fertilización con N solamente en la zona 3.

Cultivo: Trigo		Etapa: Z30		Precio: 0,193 \$/Kg		<input checked="" type="checkbox"/> Agricultura de Precisión		Fecha: 11/02/2008	
						<input type="checkbox"/> Laboreo Convencional			
Parámetros		Costo de Fertilización Líquida con AP		5,88 \$/Ha					
Topo P	0 Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida sin AP		5 \$/Ha					
Topo N	100 Kg/Ha	Costo de Fertilización Sólida con AP		5,78 \$/Ha					
Costo de Muestreo con AP	7,32 \$/Ha	Costo de Fertilización Sólida sin AP		5 \$/Ha					
Costo de Muestreo sin AP	0,25 \$/Ha	Presupuesto		2290 \$					
Costo de Muestra Foliar con AP	11,58 \$/Ha								
Costo de Muestra Foliar sin AP	0,36 \$/Ha								

Fertilizantes				
<input type="checkbox"/> Utilizar Fertilizantes Líquidos				
Nombre	Nivel N (Kg N/Kg)	Nivel P (Kg P/Kg)	Precio (\$/Kg)	
UREA	0,46	0	0,505	
P-simple	0	0,23	0,29	
Binario	0,18	0,46	0,65	
*				

Zonas de Manejo						
Nro	Nivel N (Kg/Ha)	Nivel P (Kg/Ha)	Nivel N Planta (g N/Kg MS)	Rendimiento (Kg/Ha)	Hectareas	Tipo de
1	32,88	43,52	40,6	2800	14,24	2
2	34,74	43,23	38,9	3500	17,37	2
3	42,48	36,84	39,1	5000	3,92	2
*						

Zonas				
Zona	Nivel N (Kg)	Nivel P (Kg)	Hectareas	Rendimiento (Kg/Ha)
1	0	0	14,24	2400
2	0	0	17,37	2400
3	117,61	0	3,92	3446,78

Fertilizantes				
Insumo	Zona 1 (Kg)	Zona 2 (Kg)	Zona 3 (Kg)	Total (Kg)
Binario	0	0	0	0
P-simple	0	0	0	0
UREA	0	0	255,67	255,67

Económicos				
Rendimiento:	2515,49	Kg/Ha	Ganancia:	17249,45 \$
Total Hectáreas:	35,53		Costo:	411,85 \$
			Beneficio Económico:	16837,6 \$

Z₃₀ – Sin AP – Laboreo Convencional

Observaciones:

Se utilizan los 3 fertilizantes en 1 zona sin utilizar AP.
Se utiliza un tope de fertilización con P de 0 Kg./Ha. porque no se fertiliza con P a Z₃₀.

Resultados:

La prescripción es de no realizar fertilización.

Cultivo Cultivo: Trigo		Etapa: Z30		Precio: 0,193 \$/Kg		<input type="checkbox"/> Agricultura de Precisión		<input checked="" type="checkbox"/> Laboreo Convencional	
Parámetros		Tope P: 0 Kg/Ha		Costo de Fertilización Líquida con AP: 5,88 \$/Ha		Tope N: 100 Kg/Ha		Costo de Fertilización Líquida sin AP: 5 \$/Ha	
Costo de Muestreo con AP: 7,32 \$/Ha		Costo de Fertilización Sólida con AP: 5,78 \$/Ha		Costo de Muestreo sin AP: 0,25 \$/Ha		Costo de Fertilización Sólida sin AP: 5 \$/Ha		Presupuesto: 2290 \$	
Costo de Muestra Foliar con AP: 11,58 \$/Ha		Costo de Muestra Foliar sin AP: 0,36 \$/Ha							
Fertilizantes		<input type="checkbox"/> Utilizar Fertilizantes Líquidos							
Nombre		Nivel N (Kg N/Kg)		Nivel P (Kg P/Kg)		Precio (\$/Kg)			
Binario		0,18		0,46		0,65			
P-simple		0		0,23		0,29			
UREA		0,46		0		0,505			
Zonas de Manejo		Nro		Nivel N (Kg/Ha)		Nivel P (Kg/Ha)		Nivel N Planta (g N/Kg MS)	
1		36,7		41,19		39,53		3384	
								Rendimiento (Kg/Ha): 35,53	
								Hectareas: 35,53	
								Tipo de: 2	
General		Cultivo: Trigo		Manejo: NO utiliza Agricultura de Precisión		Fecha: 11/02/2008			
		Etapa: Z30		Laboreo: Laboreo Convencional					
Zonas		Zona		Nivel N (Kg)		Nivel P (Kg)		Hectareas	
1		0		0		35,53		Rendimiento (Kg/Ha): 3300	
Fertilizantes		Insuno		Zona 1 (Kg)		Total (Kg)			
UREA		0		0					
P-simple		0		0					
Binario		0		0					
Económicos		Rendimiento: 3300 Kg/Ha		Ganancia: 22629,05 \$		Costo: 8,88 \$		Beneficio Económico: 22620,17 \$	
		Total Hectáreas: 35,53							

Z₃₀ – Sin AP – Siembra Directa

Observaciones:

Se utilizan los 3 fertilizantes en 1 zona sin utilizar AP.
Se utiliza un tope de fertilización con P de 0 Kg./Ha. porque no se fertiliza con P a Z₃₀.

Resultados:

La prescripción es de no realizar fertilización.

Cultivo Cultivo: Trigo		Etapa: Z30		Precio: 0,193 \$/Kg		<input type="checkbox"/> Agricultura de Precisión		<input checked="" type="checkbox"/> Laboreo Convencional	
Parámetros		Tope P: 0 Kg/Ha		Costo de Fertilización Líquida con AP: 5,88 \$/Ha		Tope N: 100 Kg/Ha		Costo de Fertilización Líquida sin AP: 5 \$/Ha	
Costo de Muestreo con AP: 7,32 \$/Ha		Costo de Fertilización Sólida con AP: 5,78 \$/Ha		Costo de Muestreo sin AP: 0,25 \$/Ha		Costo de Fertilización Sólida sin AP: 5 \$/Ha		Presupuesto: 2290 \$	
Costo de Muestra Foliar con AP: 11,58 \$/Ha		Costo de Muestra Foliar sin AP: 0,36 \$/Ha							
Fertilizantes		<input type="checkbox"/> Utilizar Fertilizantes Líquidos							
Nombre		Nivel N (Kg N/Kg)		Nivel P (Kg P/Kg)		Precio (\$/Kg)			
Binario		0,18		0,46		0,65			
P-simple		0		0,23		0,29			
UREA		0,46		0		0,505			
Zonas de Manejo		Nro		Nivel N (Kg/Ha)		Nivel P (Kg/Ha)		Nivel N Planta (g N/Kg MS)	
1		36,7		41,19		39,53		3384	
								Rendimiento (Kg/Ha): 35,53	
								Hectareas: 35,53	
								Tipo de: 2	
General		Cultivo: Trigo		Manejo: NO utiliza Agricultura de Precisión		Fecha: 11/02/2008			
		Etapa: Z30		Laboreo: Siembra Directa					
Zonas		Zona		Nivel N (Kg)		Nivel P (Kg)		Hectareas	
1		0		0		35,53		Rendimiento (Kg/Ha): 2400	
Fertilizantes		Insuno		Zona 1 (Kg)		Total (Kg)			
UREA		0		0					
P-simple		0		0					
Binario		0		0					
Económicos		Rendimiento: 2400 Kg/Ha		Ganancia: 16457,49 \$		Costo: 8,88 \$		Beneficio Económico: 16448,61 \$	
		Total Hectáreas: 35,53							

5.2 Cebada

5.2.1 Consideraciones Generales

Para este cultivo la aplicación considera las etapas Siembra, Z₂₂ y Z₃₀.

El modelo de la etapa Siembra no utiliza para la resolución del problema los valores ingresados en el Editor de Datos de: *Nivel N en Planta* y *Tipo de Suelo* de cada zona. Los resultados obtenidos en el Reporte son producto de maximizar el beneficio económico.

El modelo de la etapa Z₂₂ no utiliza para la resolución del problema los valores ingresados en el Editor de Datos de: *Nivel P* (en el suelo), *Nivel N en Planta*, *Rendimiento* y *Tipo de Suelo* de cada zona. Los resultados obtenidos en el Reporte son producto de maximizar el beneficio económico.

El modelo de la etapa Z₃₀ no utiliza para la resolución del problema los valores ingresados en el Editor de Datos de: *Nivel N* (en el suelo), *Nivel P* (en el suelo) y *Tipo de Suelo* de cada zona. Los resultados obtenidos en el Reporte son producto de maximizar el beneficio económico.

5.2.2 Casos Standard

Los casos "Standard" son aquellos que se probaron todas las etapas del cultivo variando el tipo de manejo y tipo de laboreo. Es decir, no se alteraron ni los valores de los parámetros, ni de los fertilizantes y ni los de las zonas.

Para los casos de "no AP" se utilizó toda la chacra como una sola zona de manejo y con los valores promedio que se muestran a continuación.

Zonas Definidas

	Zona	Nivel N (Kg./Ha.)	Nivel P (Kg./Ha.)	Nivel N Planta (g. N/Kg. MS)	Rendimiento (Kg./Ha.)	Hectáreas	Tipo Suelo
AP	1	32,88	43,52	40,6	2800	14,1	2
	2	34,74	43,23	38,9	3500	17,1	2
	3	42,48	36,84	39,1	5000	4,2	2
Sin AP	1	36,7	41,1966667	39,5333333	3399,15254	35,4	2

Códigos de los Tipos de Suelo

- 0: Arenoso
- 1: Pesado
- 2: Mezcla

Siembra – Con AP – Laboreo Convencional

Observaciones:

**Se utilizan los 3 fertilizantes en las 3 zonas con uso de AP.
Se utiliza un tope de fertilización con P de 60 Kg./Ha.**

Resultados:

Se realiza fertilización con N en las 3 zonas.

EditorDatos

Cultivo: Cebada | Etapa: Siembra | Precio: 0.133 \$/Kg | Agricultura de Precisión | Laboreo Convencional

Parámetros

Topo P	60	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida con AP	5.88	\$/Ha
Topo N	60	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestreo con AP	7.32	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida con AP	5.78	\$/Ha
Costo de Muestreo sin AP	0.25	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestra Foliar con AP	11.58	\$/Ha	Presupuesto	2290	\$
Costo de Muestra Foliar sin AP	0.36	\$/Ha			

Fertilizantes

Utilizar Fertilizantes Líquidos

Nombre	Nivel N (Kg N/Kg)	Nivel P (Kg P/Kg)	Precio (\$/Kg)
UREA	0.46	0	0.505
P-simple	0	0.23	0.23
Binario	0.18	0.46	0.65

Zonas de Manejo

Nro	Nivel N (Kg/Ha)	Nivel P (Kg/Ha)	Nivel N Planta (g N/Kg MS)	Rendimiento (Kg/Ha)	Hectareas	Tipo de
1	32.88	43.52	40.6	2900	14.1	2
2	34.74	43.23	38.9	3500	17.1	2
3	42.48	36.84	39.1	5000	4.2	2

Cargar Datos | Guardar Datos | Generar Prescripción

Reporte

General: Cultivo: Cebada | Manejo: Agricultura de Precisión | Fecha: 19/02/2008

Etapa: Siembra | Laboreo: Laboreo Convencional

Zonas

Zona	Nivel N (Kg)	Nivel P (Kg)	Hectareas	Rendimiento (Kg/Ha)
1	147.52	0	14.1	3286.25
2	144.53	0	17.1	3927.39
3	0.36	0	4.2	5182.48

Fertilizantes

Insumo	Zona 1 (Kg)	Zona 2 (Kg)	Zona 3 (Kg)	Total (Kg)
UREA	320.7	314.2	0.79	635.69
P-simple	0	0	0	0
Binario	0	0	0	0

Económicos

Rendimiento:	3820.93	Kg/Ha	Ganancia:	26105.37	\$
Total Hectáreas:	35.4		Costo:	784.76	\$
			Beneficio Económico:	25320.61	\$

Guardar

Siembra – Con AP – Siembra Directa

Observaciones:

**Se utilizan los 3 fertilizantes en las 3 zonas con uso de AP.
Se utiliza un tope de fertilización con P de 60 Kg./Ha.**

Resultados:

Se realiza fertilización de N y P en las 3 zonas.

EditorDatos

Cultivo: Cebada | Etapa: Siembra | Precio: 0.133 \$/Kg | Agricultura de Precisión | Laboreo Convencional

Parámetros

Topo P	60	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida con AP	5.88	\$/Ha
Topo N	60	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestreo con AP	7.32	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida con AP	5.78	\$/Ha
Costo de Muestreo sin AP	0.25	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestra Foliar con AP	11.58	\$/Ha	Presupuesto	2290	\$
Costo de Muestra Foliar sin AP	0.36	\$/Ha			

Fertilizantes

Utilizar Fertilizantes Líquidos

Nombre	Nivel N (Kg N/Kg)	Nivel P (Kg P/Kg)	Precio (\$/Kg)
Binario	0.18	0.46	0.65
P-simple	0	0.23	0.23
UREA	0.46	0	0.505

Zonas de Manejo

Nro	Nivel N (Kg/Ha)	Nivel P (Kg/Ha)	Nivel N Planta (g N/Kg MS)	Rendimiento (Kg/Ha)	Hectareas	Tipo de
1	32.88	43.52	40.6	2900	14.1	2
2	34.74	43.23	38.9	3500	17.1	2
3	42.48	36.84	39.1	5000	4.2	2

Cargar Datos | Guardar Datos | Generar Prescripción

Reporte

General: Cultivo: Cebada | Manejo: Agricultura de Precisión | Fecha: 19/02/2008

Etapa: Siembra | Laboreo: Siembra Directa

Zonas

Zona	Nivel N (Kg)	Nivel P (Kg)	Hectareas	Rendimiento (Kg/Ha)
1	397.56	6.68	14.1	3656.44
2	422.36	9.48	17.1	4317.63
3	42.63	9.74	4.2	5477.11

Fertilizantes

Insumo	Zona 1 (Kg)	Zona 2 (Kg)	Zona 3 (Kg)	Total (Kg)
Binario	14.53	20.6	21.18	56.31
P-simple	0	0	0	0
UREA	858.57	910.11	84.39	1853.07

Económicos

Rendimiento:	4191.84	Kg/Ha	Ganancia:	28639.52	\$
Total Hectáreas:	35.4		Costo:	1436.14	\$
			Beneficio Económico:	27203.38	\$

Guardar

Siembra – Sin AP – Siembra Directa

Observaciones:

Se utilizan los 3 fertilizantes en 1 zona que es “promedio” de toda la chacra sin utilizar AP.
Se utiliza un tope de fertilización con P de 60 Kg./Ha.

Resultados:

Se fertiliza con ambos nutrientes.

EditorDatos

Cultivo: Cebada | Etapa: Siembra | Precio: 0.193 \$/Kg | Agricultura de Precisión
 Laboreo Convencional

Parámetros

Topo P	60	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida con AP	5.88	\$/Ha
Topo N	60	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestreo con AP	7.32	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida con AP	5.78	\$/Ha
Costo de Muestreo sin AP	0.25	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestra Foliar con AP	11.58	\$/Ha	Presupuesto	2290	\$
Costo de Muestra Foliar sin AP	0.36	\$/Ha			

Fertilizantes

Utilizar Fertilizantes Líquidos

Nombre	Nivel N (Kg N/Kg)	Nivel P (Kg P/Kg)	Precio (\$/Kg)
UREA	0.46	0	0.505
P-simple	0	0.23	0.23
Binario	0.18	0.46	0.65
*			

Zonas de Manejo

Nro	Nivel N (Kg/Ha)	Nivel P (Kg/Ha)	Nivel N Planta (gN/Kg MS)	Rendimiento (Kg/Ha)	Hectáreas	Tipo de
1	36.7	41.19	39.5	3399	35.4	2
*						

Cargar Datos | Guardar Datos | Generar Prescripción

Reporte

General

Cultivo: Cebada | Manejo: NO utiliza Agricultura de Precisión | Fecha: 19/02/2008
Etapa: Siembra | Laboreo: Siembra Directa

Zonas

Zona	Nivel N (Kg)	Nivel P (Kg)	Hectáreas	Rendimiento (Kg/Ha)
1	743.93	39.56	35.4	4175.74

Fertilizantes

Insu	Zona 1 (Kg)	Total (Kg)
UREA	1583.59	1583.59
P-simple	0	0
Binario	86.01	86.01

Económicos

Rendimiento:	4175.74	Kg/Ha	Ganancia:	28529.49	\$
Total Hectáreas:	35.4		Costo:	1041.47	\$
			Beneficio Económico:	27488.02	\$

Guardar

Siembra – Sin AP – Laboreo Convencional

Observaciones:

Se utilizan los 3 fertilizantes en 1 zona que es “promedio” de toda la chacra sin utilizar AP.
Se utiliza un tope de fertilización con P de 60 Kg./Ha.

Resultados:

Se fertiliza solo con N.

EditorDatos

Cultivo: Cebada | Etapa: Siembra | Precio: 0,133 \$/Kg | Agricultura de Precisión | Laboreo Convencional

Parámetros

Topo P	60	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida con AP	5,88	\$/Ha
Topo N	60	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestreo con AP	7,32	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida con AP	5,78	\$/Ha
Costo de Muestreo sin AP	0,25	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestra Foliar con AP	11,58	\$/Ha	Presupuesto	2290	\$
Costo de Muestra Foliar sin AP	0,36	\$/Ha			

Fertilizantes

Utilizar Fertilizantes Líquidos

Nombre	Nivel N (Kg N/Kg)	Nivel P (Kg P/Kg)	Precio (\$/Kg)
Binario	0,18	0,46	0,65
P-simple	0	0,23	0,29
UREA	0,46	0	0,505

Zonas de Manejo

Nro	Nivel N (Kg/Ha)	Nivel P (Kg/Ha)	Nivel N Planta (g N/Kg MS)	Rendimiento (Kg/Ha)	Hectáreas	Tipo de
1	36,7	41,19	39,5	3399	35,4	2

Cargar Datos | Guardar Datos | Generar Prescripción

Reporte

General
Cultivo: Cebada | Manejo: NO utiliza Agricultura de Precisión | Fecha: 19/02/2008
Etapa: Siembra | Laboreo: Laboreo Convencional

Zonas

Zona	Nivel N (Kg)	Nivel P (Kg)	Hectáreas	Rendimiento (Kg/Ha)
1	224,21	0	35,4	3764,37

Fertilizantes

Insumo	Zona 1 (Kg)	Total (Kg)
UREA	487,42	487,42
P-simple	0	0
Binario	0	0

Económicos

Rendimiento:	3764,37	Kg/Ha	Ganancia:	25718,95	\$
Total Hectáreas:	35,4		Costo:	431,99	\$
			Beneficio Económico:	25286,96	\$

Guardar

Z₂₂ – Con AP – Siembra Directa

Observaciones:

**Se utilizan los 3 fertilizantes en las 3 zonas con uso de AP.
Se utiliza un tope de fertilización con P de 0 Kg./Ha. porque no se fertiliza con P a Z₂₂.**

Resultados:

La prescripción es de no realizar fertilización de ningún nutriente.

EditorDatos

Cultivo: Cebada | Etapa: Z22 | Precio: 0,133 \$/Kg | Agricultura de Precisión | Laboreo Convencional

Parámetros

Topo P	0	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida con AP	5,88	\$/Ha
Topo N	60	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestreo con AP	7,32	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida con AP	5,78	\$/Ha
Costo de Muestreo sin AP	0,25	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestra Foliar con AP	11,58	\$/Ha	Presupuesto	2290	\$
Costo de Muestra Foliar sin AP	0,36	\$/Ha			

Fertilizantes

Utilizar Fertilizantes Líquidos

Nombre	Nivel N (Kg N/Kg)	Nivel P (Kg P/Kg)	Precio (\$/Kg)
UREA	0,46	0	0,505
P-simple	0	0,23	0,29
Binario	0,18	0,46	0,65

Zonas de Manejo

Nro	Nivel N (Kg/Ha)	Nivel P (Kg/Ha)	Nivel N Planta (g N/Kg MS)	Rendimiento (Kg/Ha)	Hectáreas	Tipo de
1	32,88	43,52	40,6	2900	14,1	2
2	34,74	43,23	38,9	3500	17,1	2
3	42,48	36,84	39,1	5000	4,2	2

Cargar Datos | Guardar Datos | Generar Prescripción

Reporte

General
Cultivo: Cebada | Manejo: Agricultura de Precisión | Fecha: 10/02/2008
Etapa: Z22 | Laboreo: Siembra Directa

Zonas

Zona	Nivel N (Kg)	Nivel P (Kg)	Hectáreas	Rendimiento (Kg/Ha)
1	0	0	14,1	2400
2	0	0	17,1	2400
3	0	0	4,2	2400

Fertilizantes

Insumo	Zona 1 (Kg)	Zona 2 (Kg)	Zona 3 (Kg)	Total (Kg)
Binario	0	0	0	0
P-simple	0	0	0	0
UREA	0	0	0	0

Económicos

Rendimiento:	2400	Kg/Ha	Ganancia:	16397,28	\$
Total Hectáreas:	35,4		Costo:	259,13	\$
			Beneficio Económico:	16138,15	\$

Guardar

Z₂₂ – Con AP – Laboreo Convencional

Observaciones:

Se utilizan los 3 fertilizantes en las 3 zonas con uso de AP.
Se utiliza un tope de fertilización con P de 0 Kg./Ha. porque no se fertiliza con P a Z₂₂.

Resultados:

La prescripción fue de no fertilizar ningún nutriente.

EditorDatos

Cultivo: Cebada, Etapa: Z22, Precio: 0,133 \$/Kg, Agricultura de Precisión, Laboreo Convencional

Parámetros

Topo P	0	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida con AP	5,88	\$/Ha
Topo N	60	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestreo con AP	7,32	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida con AP	5,78	\$/Ha
Costo de Muestreo sin AP	0,25	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestra Foliar con AP	11,58	\$/Ha	Presupuesto	2290	\$
Costo de Muestra Foliar sin AP	0,36	\$/Ha			

Fertilizantes

Utilizar Fertilizantes Líquidos

Nombre	Nivel N (Kg N/Kg)	Nivel P (Kg P/Kg)	Precio (\$/Kg)
UREA	0,46	0	0,505
P-simple	0	0,23	0,29
Binario	0,18	0,46	0,65
*			

Zonas de Manejo

Nro	Nivel N (Kg/Ha)	Nivel P (Kg/Ha)	Nivel N Planta (g N/Kg MS)	Rendimiento (Kg/Ha)	Hectareas	Tipo de
1	32,88	43,52	4,06	2800	14,1	2
2	34,74	43,23	3,89	3500	17,1	2
3	42,48	36,84	3,91	5000	4,2	2
*						

Cargar Datos Guardar Datos Generar Prescripción

Reporte

General

Cultivo: Cebada, Manejo: Agricultura de Precisión, Fecha: 12/02/2008

Etapas: Z22, Laboreo: Laboreo Convencional

Zonas

Zona	Nivel N (Kg)	Nivel P (Kg)	Hectareas	Rendimiento (Kg/Ha)
1	0	0	14,1	3350
2	0	0	17,1	3350
3	0	0	4,2	3350

Fertilizantes

Insuno	Zona 1 (Kg)	Zona 2 (Kg)	Zona 3 (Kg)	Total (Kg)
Binario	0	0	0	0
P-simple	0	0	0	0
UREA	0	0	0	0

Económicos

Rendimiento: 3350 Kg/Ha Ganancia: 22887,87 \$

Total Hectáreas: 35,4 Costo: 259,13 \$

Beneficio Económico: 22628,74 \$

Guardar

Z₂₂ – Sin AP – Siembra Directa

Observaciones:

Se utilizan los 3 fertilizantes en las 3 zonas con uso de AP.
Se utiliza un tope de fertilización con P de 0 Kg./Ha. porque no se fertiliza con P a Z₂₂.

Resultados:

La prescripción fue de no fertilizar ningún nutriente.

EditorDatos

Cultivo: Cebada, Etapa: Z22, Precio: 0,133 \$/Kg, Agricultura de Precisión, Laboreo Convencional

Parámetros

Topo P	0	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida con AP	5,88	\$/Ha
Topo N	60	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestreo con AP	7,32	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida con AP	5,78	\$/Ha
Costo de Muestreo sin AP	0,25	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestra Foliar con AP	11,58	\$/Ha	Presupuesto	2290	\$
Costo de Muestra Foliar sin AP	0,36	\$/Ha			

Fertilizantes

Utilizar Fertilizantes Líquidos

Nombre	Nivel N (Kg N/Kg)	Nivel P (Kg P/Kg)	Precio (\$/Kg)
Binario	0,18	0,46	0,65
P-simple	0	0,23	0,29
UREA	0,46	0	0,505
*			

Zonas de Manejo

Nro	Nivel N (Kg/Ha)	Nivel P (Kg/Ha)	Nivel N Planta (g N/Kg MS)	Rendimiento (Kg/Ha)	Hectareas	Tipo de
1	36,7	41,19	39,5	3399	35,4	2
*						

Cargar Datos Guardar Datos Generar Prescripción

Reporte

General

Cultivo: Cebada, Manejo: NO utiliza Agricultura de Precisión, Fecha: 12/02/2008

Etapas: Z22, Laboreo: Siembra Directa

Zonas

Zona	Nivel N (Kg)	Nivel P (Kg)	Hectareas	Rendimiento (Kg/Ha)
1	0	0	35,4	2400

Fertilizantes

Insuno	Zona 1 (Kg)	Total (Kg)
UREA	0	0
P-simple	0	0
Binario	0	0

Económicos

Rendimiento: 2400 Kg/Ha Ganancia: 16397,28 \$

Total Hectáreas: 35,4 Costo: 8,85 \$

Beneficio Económico: 16388,43 \$

Guardar

Z₂₂ – Sin AP – Laboreo Convencional

Observaciones:

Se utilizan los 3 fertilizantes en las 3 zonas con uso de AP.
Se utiliza un tope de fertilización con P de 0 Kg./Ha. porque no se fertiliza con P a Z₂₂.

Resultados:

La prescripción fue de no fertilizar ningún nutriente.

EditorDatos

Cultivo: Cebada, Etapa: Z22, Precio: 0.193 \$/Kg, Agricultura de Precisión, Laboreo Convencional

Parámetros

Topo P	0	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida con AP	5,88	\$/Ha
Topo N	60	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestreo con AP	7,32	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida con AP	5,78	\$/Ha
Costo de Muestreo sin AP	0,25	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestra Foliar con AP	11,58	\$/Ha	Presupuesto	2290	\$
Costo de Muestra Foliar sin AP	0,36	\$/Ha			

Fertilizantes

Utilizar Fertilizantes Líquidos

Nombre	Nivel N (Kg N/Kg)	Nivel P (Kg P/Kg)	Precio (\$/Kg)
UREA	0,46	0	0,505
P-simple	0	0,23	0,29
Binario	0,18	0,46	0,65

Zonas de Manejo

Nro	Nivel N (Kg/Ha)	Nivel P (Kg/Ha)	Nivel N Planta (g N/Kg MS)	Rendimiento (Kg/Ha)	Hectareas	Tipo de
1	36,7	41,19	39,5	3399	35,4	2

Cargar Datos Guardar Datos Generar Prescripción

Reporte

General

Cultivo: Cebada, Manejo: NO utiliza Agricultura de Precisión, Fecha: 12/02/2008

Etapa: Z22, Laboreo: Laboreo Convencional

Zonas

Zona	Nivel N (Kg)	Nivel P (Kg)	Hectareas	Rendimiento (Kg/Ha)
1	0	0	35,4	3350

Fertilizantes

InsUMO	Zona 1 (Kg)	Total (Kg)
UREA	0	0
P-simple	0	0
Binario	0	0

Económicos

Rendimiento: 3350 Kg/Ha, Ganancia: 22887,87 \$
Total Hectáreas: 35,4, Costo: 8,85 \$
Beneficio Económico: 22879,02 \$

Guardar

Z₃₀ – Con AP – Siembra Directa

Observaciones:

Se utilizan los 3 fertilizantes en las 3 zonas con uso de AP.
Se utiliza un tope de fertilización con P de 0 Kg./Ha. porque no se fertiliza con P a Z₃₀

Resultados:

La prescripción indica fertilizar con N en la zona 3.

EditorDatos

Cultivo: Cebada, Etapa: Z30, Precio: 0.193 \$/Kg, Agricultura de Precisión, Laboreo Convencional

Parámetros

Topo P	0	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida con AP	5,88	\$/Ha
Topo N	60	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestreo con AP	7,32	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida con AP	5,78	\$/Ha
Costo de Muestreo sin AP	0,25	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestra Foliar con AP	11,58	\$/Ha	Presupuesto	2290	\$
Costo de Muestra Foliar sin AP	0,36	\$/Ha			

Fertilizantes

Utilizar Fertilizantes Líquidos

Nombre	Nivel N (Kg N/Kg)	Nivel P (Kg P/Kg)	Precio (\$/Kg)
UREA	0,46	0	0,505
P-simple	0	0,23	0,29
Binario	0,18	0,46	0,65

Zonas de Manejo

Nro	Nivel N (Kg/Ha)	Nivel P (Kg/Ha)	Nivel N Planta (g N/Kg MS)	Rendimiento (Kg/Ha)	Hectareas	Tipo de
1	32,88	43,52	40,6	2900	14,1	2
2	34,74	43,23	38,9	3500	17,1	2
3	42,48	36,84	39,1	5000	4,2	2

Cargar Datos Guardar Datos Generar Prescripción

Reporte

General

Cultivo: Cebada, Manejo: Agricultura de Precisión, Fecha: 16/02/2008

Etapa: Z30, Laboreo: Siembra Directa

Zonas

Zona	Nivel N (Kg)	Nivel P (Kg)	Hectareas	Rendimiento (Kg/Ha)
1	0	0	14,1	2400
2	0	0	17,1	2400
3	126,01	0	4,2	3446,78

Fertilizantes

InsUMO	Zona 1 (Kg)	Zona 2 (Kg)	Zona 3 (Kg)	Total (Kg)
UREA	0	0	273,33	273,33
P-simple	0	0	0	0
Binario	0	0	0	0

Económicos

Rendimiento: 2524,19 Kg/Ha, Ganancia: 17245,8 \$
Total Hectáreas: 35,4, Costo: 421,74 \$
Beneficio Económico: 16824,06 \$

Guardar

Z₃₀ – Con AP – Laboreo Convencional

Observaciones:

Se utilizan los 3 fertilizantes en las 3 zonas con uso de AP.
Se utiliza un tope de fertilización con P de 0 Kg./Ha. porque no se fertiliza con P a Z₃₀

Resultados:

No se fertiliza ningún nutriente.

EditorDatos

Cultivo: Cebada, Etapa: Z30, Precio: 0,133 \$/Kg, Agricultura de Precisión: Laboreo Convencional:

Parámetros

Topo P	0	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida con AP	5,88	\$/Ha
Topo N	60	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestreo con AP	7,32	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida con AP	5,78	\$/Ha
Costo de Muestreo sin AP	0,25	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestra Foliar con AP	11,58	\$/Ha	Presupuesto	2290	\$
Costo de Muestra Foliar sin AP	0,36	\$/Ha			

Fertilizantes

Utilizar Fertilizantes Líquidos

Nombre	Nivel N (Kg N/Kg)	Nivel P (Kg P/Kg)	Precio (\$/Kg)
UREA	0,46	0	0,505
P-simple	0	0,23	0,29
Binario	0,18	0,46	0,65

Zonas de Manejo

Nro	Nivel N (Kg/Ha)	Nivel P (Kg/Ha)	Nivel N Planta (g N/Kg MS)	Rendimiento (Kg/Ha)	Hectareas	Tipo de
1	32,88	43,52	40,6	2800	14,1	2
2	34,74	43,23	38,9	3500	17,1	2
3	42,48	36,84	39,1	5000	4,2	2

Cargar Datos | Guardar Datos | Generar Prescripción

Reporte

General: Cultivo: Cebada, Manejo: Agricultura de Precisión, Fecha: 16/02/2008
Etapa: Z30, Laboreo: Laboreo Convencional

Zonas

Zona	Nivel N (Kg)	Nivel P (Kg)	Hectareas	Rendimiento (Kg/Ha)
1	0	0	14,1	3300
2	0	0	17,1	3300
3	0	0	4,2	3300

Fertilizantes

Insuno	Zona 1 (Kg)	Zona 2 (Kg)	Zona 3 (Kg)	Total (Kg)
Binario	0	0	0	0
P-simple	0	0	0	0
UREA	0	0	0	0

Económicos

Rendimiento:	3300	Kg/Ha	Ganancia:	22546,26	\$
Total Hectáreas:	35,4		Costo:	259,13	\$
			Beneficio Económico:	22287,13	\$

Guardar

Z₃₀ – Sin AP – Laboreo Convencional

Observaciones:

Se utilizan los 3 fertilizantes en 1 zona que es "promedio" de toda la chacra sin utilizar AP.
Se utiliza un tope de fertilización con P de 0 Kg./Ha.

Resultados:

No se fertiliza ningún nutriente.

EditorDatos

Cultivo: Cebada, Etapa: Z30, Precio: 0,133 \$/Kg, Agricultura de Precisión: Laboreo Convencional:

Parámetros

Topo P	0	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida con AP	5,88	\$/Ha
Topo N	60	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestreo con AP	7,32	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida con AP	5,78	\$/Ha
Costo de Muestreo sin AP	0,25	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestra Foliar con AP	11,58	\$/Ha	Presupuesto	2290	\$
Costo de Muestra Foliar sin AP	0,36	\$/Ha			

Fertilizantes

Utilizar Fertilizantes Líquidos

Nombre	Nivel N (Kg N/Kg)	Nivel P (Kg P/Kg)	Precio (\$/Kg)
Binario	0,18	0,46	0,65
P-simple	0	0,23	0,29
UREA	0,46	0	0,505

Zonas de Manejo

Nro	Nivel N (Kg/Ha)	Nivel P (Kg/Ha)	Nivel N Planta (g N/Kg MS)	Rendimiento (Kg/Ha)	Hectareas	Tipo de
1	36,7	41,19	39,5	3399	35,4	2

Cargar Datos | Guardar Datos | Generar Prescripción

Reporte

General: Cultivo: Cebada, Manejo: NO utiliza Agricultura de Precisión, Fecha: 16/02/2008
Etapa: Z30, Laboreo: Laboreo Convencional

Zonas

Zona	Nivel N (Kg)	Nivel P (Kg)	Hectareas	Rendimiento (Kg/Ha)
1	0	0	35,4	3300

Fertilizantes

Insuno	Zona 1 (Kg)	Total (Kg)
Binario	0	0
P-simple	0	0
UREA	0	0

Económicos

Rendimiento:	3300	Kg/Ha	Ganancia:	22546,26	\$
Total Hectáreas:	35,4		Costo:	8,85	\$
			Beneficio Económico:	22537,41	\$

Guardar

Z₃₀ – Sin AP – Siembra Directa

Observaciones:

Se utilizan los 3 fertilizantes en 1 zona que es “promedio” de toda la chacra sin utilizar AP.
Se utiliza un tope de fertilización con P de 0 Kg./Ha.

Resultados:

No se fertiliza ningún nutriente.

EditorDatos

Cultivo: Cebada | Etapa: Z30 | Precio: 0.193 \$/Kg | Agricultura de Precisión | Laboreo Convencional

Parámetros

Topo P	0	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida con AP	5.88	\$/Ha
Topo N	60	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestreo con AP	7.32	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida con AP	5.78	\$/Ha
Costo de Muestreo sin AP	0.25	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestra Foliar con AP	11.58	\$/Ha	Presupuesto	2290	\$
Costo de Muestra Foliar sin AP	0.36	\$/Ha			

Fertilizantes

Utilizar Fertilizantes Líquidos

Nombre	Nivel N (Kg N/Kg)	Nivel P (Kg P/Kg)	Precio (\$/Kg)
Binario	0.18	0.46	0.65
P-simple	0	0.23	0.29
UREA	0.46	0	0.505
*			

Zonas de Manejo

Nro	Nivel N (Kg/Ha)	Nivel P (Kg/Ha)	Nivel N Planta (g N/Kg MS)	Rendimiento (Kg/Ha)	Hectáreas	Tipo de
1	36.7	41.19	39.5	3399	35.4	2
*						

Cargar Datos | Guardar Datos | Generar Prescripción

Reporte

General

Cultivo: Cebada | Manejo: NO utiliza Agricultura de Precisión | Fecha: 16/02/2008
Etapa: Z30 | Laboreo: Siembra Directa

Zonas

Zona	Nivel N (Kg)	Nivel P (Kg)	Hectáreas	Rendimiento (Kg/Ha)
1	0	0	35.4	2400

Fertilizantes

Insumo	Zona 1 (Kg)	Total (Kg)
UREA	0	0
P-simple	0	0
Binario	0	0

Económicos

Rendimiento:	2400	Kg/Ha	Ganancia:	16397.28	\$
Total Hectáreas:	35.4		Costo:	8.85	\$
			Beneficio Económico:	16388.43	\$

Guardar

5.2.3 Otras Pruebas interesantes

Estas son algunas pruebas interesantes modificando los valores de las zonas y fertilizantes.

Z₂₂ – Siembra Directa –Comparación entre AP y no AP (2 Zonas)

Observaciones:

Caso 1 – Con AP: Se utilizan los 3 fertilizantes y 2 zonas de manejo en las cuales una tiene déficit de N y la otra no.

Caso 2 – Sin AP: Se utilizan los mismos fertilizantes pero con 1 zona promedio de toda la chacra.

Resultados:

Un mayor beneficio económico sin el uso de AP.

Caso 1 -CON AP

EditorDatos

Cultivo: Cebada | Etapa: Z22 | Precio: 0,193 \$/Kg | Agricultura de Precisión | Laboreo Convencional

Parámetros

Topo P	0	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida con AP	5,88	\$/Ha
Topo N	100	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestreo con AP	7,32	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida con AP	5,78	\$/Ha
Costo de Muestreo sin AP	0,25	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestra Foliar con AP	11,58	\$/Ha	Presupuesto	2290	\$
Costo de Muestra Foliar sin AP	0,36	\$/Ha			

Fertilizantes

Utilizar Fertilizantes Líquidos

Nombre	Nivel N (Kg N/Kg)	Nivel P (Kg P/Kg)	Precio (\$/Kg)
UREA	0,46	0	0,505
P-simple	0	0,23	0,29
Binario	0,18	0,46	0,65

Zonas de Manejo

Nro	Nivel N (Kg/Ha)	Nivel P (Kg/Ha)	Nivel N Planta (g N/Kg MS)	Rendimiento (Kg/Ha)	Hectareas	Tipo de
1	8	43,52	40,6	2800	14,1	2
2	30	43,23	38,9	3500	17,1	2

Cargar Datos | Guardar Datos | Generar Prescripción

Reporte

General
Cultivo: Cebada | Manejo: Agricultura de Precisión | Fecha: 12/02/2008
Etapa: Z22 | Laboreo: Siembra Directa

Zonas

Zona	Nivel N (Kg)	Nivel P (Kg)	Hectareas	Rendimiento (Kg/Ha)
1	1239,74	0	14,1	4590,57
2	89,23	0	17,1	2582,06

Fertilizantes

Insumo	Zona 1 (Kg)	Zona 2 (Kg)	Total (Kg)
Binario	0	0	0
P-simple	0	0	0
UREA	2695,09	193,98	2889,07

Económicos

Rendimiento:	3489,75	Kg/Ha	Ganancia:	21013,91	\$
Total Hectáreas:	31,2		Costo:	1867,7	\$
			Beneficio Económico:	19146,21	\$

Guardar

Caso 2 - SIN AP

EditorDatos

Cultivo: Cebada | Etapa: Z22 | Precio: 0,193 \$/Kg

Agricultura de Precisión
 Laboreo Convencional

Parámetros

Topo P	0	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida con AP	5,88	\$/Ha
Topo N	100	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestreo con AP	7,32	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida con AP	5,78	\$/Ha
Costo de Muestreo sin AP	0,25	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestra Foliar con AP	11,58	\$/Ha	Presupuesto	2290	\$
Costo de Muestra Foliar sin AP	0,36	\$/Ha			

Fertilizantes

Utilizar Fertilizantes Líquidos

Nombre	Nivel N (Kg N/Kg)	Nivel P (Kg P/Kg)	Precio (\$/Kg)
Binario	0,18	0,46	0,65
P-simple	0	0,23	0,29
UREA	0,46	0	0,505

Zonas de Manejo

Nro	Nivel N (Kg/Ha)	Nivel P (Kg/Ha)	Nivel N Planta (g N/Kg MS)	Rendimiento (Kg/Ha)	Hectareas	Tipo de
1	15	22,5	39,5	3183,6	31,2	2

Cargar Datos | Guardar Datos | Generar Prescripción

Reporte

General

Cultivo: Cebada | Manejo: NO utiliza Agricultura de Precisión | Fecha: 12/02/2008

Etapa: Z22 | Laboreo: Siembra Directa

Zonas

Zona	Nivel N (Kg)	Nivel P (Kg)	Hectareas	Rendimiento (Kg/Ha)
1	1922,2	0	31,2	4210,18

Fertilizantes

Insumo	Zona 1 (Kg)	Total (Kg)
UREA	4178,7	4178,7
P-simple	0	0
Binario	0	0

Económicos

Rendimiento: 4210,18 Kg/Ha | Ganancia: 25352,01 \$
 Total Hectáreas: 31,2 | Costo: 2274,04 \$
 Beneficio Económico: 23077,97 \$

Guardar

Siembra – Laboreo Convencional –Comparación entre AP y no AP (3 Zonas)

Observaciones:

Caso 3 – Con AP: Se utilizan los 3 fertilizantes y 3 zonas de manejo en las cuales las zonas 2 y 3 aparentemente tienen déficit de N y de P. La zona 1 aparentemente está bien.

Caso 4 – Sin AP: Se utilizan los mismos fertilizantes pero con 1 zona promedio de toda la chacra.

Resultados:

En ambos casos hay fertilización de ambos nutrientes.

Se obtuvo mayor rendimiento y mayor beneficio económico sin el uso de AP.

Caso 3 -CON AP

EditorDatos

Cultivo: Cebada | Etapa: Siembra | Precio: 0,193 \$/Kg

Agricultura de Precisión
 Laboreo Convencional

Parámetros

Topo P	60	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida con AP	5,88	\$/Ha
Topo N	60	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestreo con AP	7,32	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida con AP	5,78	\$/Ha
Costo de Muestreo sin AP	0,25	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestra Foliar con AP	11,58	\$/Ha	Presupuesto	2290	\$
Costo de Muestra Foliar sin AP	0,36	\$/Ha			

Fertilizantes

Utilizar Fertilizantes Líquidos

Nombre	Nivel N (Kg N/Kg)	Nivel P (Kg P/Kg)	Precio (\$/Kg)
Binario	0,18	0,46	0,65
P-simple	0	0,23	0,29
UREA	0,46	0	0,505

Zonas de Manejo

Nro	Nivel N (Kg/Ha)	Nivel P (Kg/Ha)	Nivel N Planta (g N/Kg MS)	Rendimiento (Kg/Ha)	Hectareas	Tipo de
1	32,88	43	40,6	2900	14,1	2
2	12	13	38,9	3500	17,1	2
3	8	6	39,1	5000	4,2	2

Cargar Datos | Guardar Datos | Generar Prescripción

Reporte

General

Cultivo: Cebada | Manejo: Agricultura de Precisión | Fecha: 19/02/2008

Etapa: Siembra | Laboreo: Laboreo Convencional

Zonas

Zona	Nivel N (Kg)	Nivel P (Kg)	Hectareas	Rendimiento (Kg/Ha)
1	147,52	0	14,1	3286,25
2	564,81	459,93	17,1	4410,11
3	156,88	80	4,2	5958,1

Fertilizantes

Insumo	Zona 1 (Kg)	Zona 2 (Kg)	Zona 3 (Kg)	Total (Kg)
Binario	0	999,84	173,91	1173,75
P-simple	0	0	0	0
UREA	320,7	836,62	273	1430,32007

Económicos

Rendimiento: 4146,13 Kg/Ha | Ganancia: 26327,18 \$
 Total Hectáreas: 35,4 | Costo: 1948,99 \$
 Beneficio Económico: 26378,19 \$

Guardar

Caso 4 - SIN AP

EditorDatos

Cultivo: Cebada | Etapa: Siembra | Precio: 0,193 \$/Kg | Agricultura de Precisión | Laboreo Convencional

Parámetros

Topo P	60	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida con AP	5,88	\$/Ha
Topo N	60	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestreo con AP	7,32	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida con AP	5,78	\$/Ha
Costo de Muestreo sin AP	0,25	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestra Foliar con AP	11,58	\$/Ha	Presupuesto	2290	\$
Costo de Muestra Foliar sin AP	0,36	\$/Ha			

Fertilizantes

Utilizar Fertilizantes Líquidos

Nombre	Nivel N (Kg N/Kg)	Nivel P (Kg P/Kg)	Precio (\$/Kg)
Binario	0,18	0,46	0,65
P-simple	0	0,23	0,29
UREA	0,46	0	0,505

Zonas de Manejo

Nro	Nivel N (Kg/Ha)	Nivel P (Kg/Ha)	Nivel N Planta (g N/Kg MS)	Rendimiento (Kg/Ha)	Hectareas	Tipo de
1	17,62	20,6	39,5	3399	35,4	2

Cargar Datos | Guardar Datos | Generar Prescripción

Reporte

General

Cultivo: Cebada | Manejo: NO utiliza Agricultura de Precisión | Fecha: 19/02/2008

Etapa: Siembra | Laboreo: Laboreo Convencional

Zonas

Zona	Nivel N (Kg)	Nivel P (Kg)	Hectareas	Rendimiento (Kg/Ha)
1	954,24	536,08	35,4	4241,68

Fertilizantes

Insuno	Zona 1 (Kg)	Total (Kg)
Binario	1165,4	1165,4
P-simple	0	0
UREA	1618,4	1618,4

Económicos

Rendimiento:	4241,68	Kg/Ha	Ganancia:	28980,02	\$
Total Hectáreas:	35,4		Costo:	1760,65	\$
			Beneficio Económico:	27219,37	\$

Guardar

Siembra – Laboreo Convencional –Comparación entre AP y no AP (3 Zonas) (Mas diferencias entre las zonas que en los casos 3 y 4)

Observaciones:

Casos 5 y 6 son lo mismo que los casos 3 y 4 pero con menores valores en las zonas 2 y 3.

Resultados:

Sigue siendo más rentable no utilizar AP.

Caso 5 -CON AP

EditorDatos

Cultivo: Cebada | Etapa: Siembra | Precio: 0,193 \$/Kg | Agricultura de Precisión | Laboreo Convencional

Parámetros

Topo P	60	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida con AP	5,88	\$/Ha
Topo N	60	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestreo con AP	7,32	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida con AP	5,78	\$/Ha
Costo de Muestreo sin AP	0,25	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestra Foliar con AP	11,58	\$/Ha	Presupuesto	2290	\$
Costo de Muestra Foliar sin AP	0,36	\$/Ha			

Fertilizantes

Utilizar Fertilizantes Líquidos

Nombre	Nivel N (Kg N/Kg)	Nivel P (Kg P/Kg)	Precio (\$/Kg)
UREA	0,46	0	0,505
P-simple	0	0,23	0,29
Binario	0,18	0,46	0,65

Zonas de Manejo

Nro	Nivel N (Kg/Ha)	Nivel P (Kg/Ha)	Nivel N Planta (g N/Kg MS)	Rendimiento (Kg/Ha)	Hectareas	Tipo de
1	32,88	43	40,6	2800	14,1	2
2	2	2	38,9	3500	17,1	2
3	2	2	39,1	5000	4,2	2

Cargar Datos | Guardar Datos | Generar Prescripción

Reporte

General

Cultivo: Cebada | Manejo: Agricultura de Precisión | Fecha: 19/02/2008

Etapa: Siembra | Laboreo: Laboreo Convencional

Zonas

Zona	Nivel N (Kg)	Nivel P (Kg)	Hectareas	Rendimiento (Kg/Ha)
1	147,52	0	14,1	3286,25
2	749,64	80	17,1	4460,31
3	184,12	80	4,2	5960,31

Fertilizantes

Insuno	Zona 1 (Kg)	Zona 2 (Kg)	Zona 3 (Kg)	Total (Kg)
UREA	320,7	1561,59	332,21	2214,5
P-simple	0	0	0	0
Binario	0	173,91	173,91	347,82

Económicos

Rendimiento:	4170,64	Kg/Ha	Ganancia:	28494,68	\$
Total Hectáreas:	35,4		Costo:	1808,15	\$
			Beneficio Económico:	26686,53	\$

Guardar

Caso 6 - SIN AP

EditorDatos

Cultivo: Cebada | Etapa: Siembra | Precio: 0,193 \$/Kg | Agricultura de Precisión | Laboreo Convencional

Parámetros

Topo P	60	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida con AP	5,88	\$/Ha
Topo N	60	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestreo con AP	7,32	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida con AP	5,78	\$/Ha
Costo de Muestreo sin AP	0,25	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestra Foliar con AP	11,58	\$/Ha	Presupuesto	2290	\$
Costo de Muestra Foliar sin AP	0,36	\$/Ha			

Fertilizantes

Utilizar Fertilizantes Líquidos

Nombre	Nivel N (Kg N/Kg)	Nivel P (Kg P/Kg)	Precio (\$/Kg)
Binario	0,18	0,46	0,65
P-simple	0	0,23	0,29
UREA	0,46	0	0,505

Zonas de Manejo

Nro	Nivel N (Kg/Ha)	Nivel P (Kg/Ha)	Nivel N Planta (g N/Kg MS)	Rendimiento (Kg/Ha)	Hectareas	Tipo de
1	15,2	15,6	38,5	3399	35,4	2

Cargar Datos | Guardar Datos | Generar Prescripción

Reporte

General

Cultivo: Cebada | Manejo: NO utiliza Agricultura de Precisión | Fecha: 19/02/2008

Etapa: Siembra | Laboreo: Laboreo Convencional

Zonas

Zona	Nivel N (Kg)	Nivel P (Kg)	Hectareas	Rendimiento (Kg/Ha)
1	1046,83	799,88	35,4	4270,72

Fertilizantes

Insuno	Zona 1 (Kg)	Total (Kg)
Binario	1738,87	1738,87
P-simple	0	0
UREA	1595,29	1595,29

Económicos

Rendimiento:	4270,72	Kg/Ha	Ganancia:	29178,39	\$
Total Hectáreas:	35,4		Costo:	2121,74	\$
			Beneficio Económico:	27056,65	\$

Guardar

Siembra – No AP (3 Zonas) – Comparación entre LC y SD

Observaciones:

Caso 7: 1 Zona, sin AP y con LC.

Caso 8: 1 Zona, sin AP y con SD.

Resultados:

En el caso de SD el sistema no pudo encontrar una solución de fertilización. Esto puede deberse a varios motivos pero los más comunes son:

- se requiere fertilizar con valores superiores a los topes establecidos o
- el costo de fertilización supera el presupuesto disponible.

Caso 7 –Laboreo Convencional

EditorDatos

Cultivo: Cebada | Etapa: Siembra | Precio: 0,193 \$/Kg | Agricultura de Precisión | Laboreo Convencional

Parámetros

Topo P	60	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida con AP	5,88	\$/Ha
Topo N	60	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestreo con AP	7,32	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida con AP	5,78	\$/Ha
Costo de Muestreo sin AP	0,25	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestra Foliar con AP	11,58	\$/Ha	Presupuesto	2290	\$
Costo de Muestra Foliar sin AP	0,36	\$/Ha			

Fertilizantes

Utilizar Fertilizantes Líquidos

Nombre	Nivel N (Kg N/Kg)	Nivel P (Kg P/Kg)	Precio (\$/Kg)
Binario	0,18	0,46	0,65
P-simple	0	0,23	0,29
UREA	0,46	0	0,505

Zonas de Manejo

Nro	Nivel N (Kg/Ha)	Nivel P (Kg/Ha)	Nivel N Planta (g N/Kg MS)	Rendimiento (Kg/Ha)	Hectareas	Tipo de
1	15,2	15,6	39,5	3399	35,4	2

Cargar Datos | Guardar Datos | Generar Prescripción

Reporte

General

Cultivo: Cebada | Manejo: NO utiliza Agricultura de Precisión | Fecha: 19/02/2008

Etapa: Siembra | Laboreo: Laboreo Convencional

Zonas

Zona	Nivel N (Kg)	Nivel P (Kg)	Hectareas	Rendimiento (Kg/Ha)
1	1046,83	799,68	35,4	4270,72

Fertilizantes

Insumo	Zona 1 (Kg)	Total (Kg)
Binario	1738,87	1738,87
P-simple	0	0
UREA	1595,29	1595,29

Económicos

Rendimiento:	4270,72	Kg/Ha	Ganancia:	29178,39	\$
Total Hectáreas:	35,4		Costo:	2121,74	\$
			Beneficio Económico:	27056,65	\$

Guardar

Caso 8 – Siembra Directa

EditorDatos

Cultivo: Cebada | Etapa: Siembra | Precio: 0,193 \$/Kg | Agricultura de Precisión | Laboreo Convencional

Parámetros

Topo P	60	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida con AP	5,88	\$/Ha
Topo N	60	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestreo con AP	7,32	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida con AP	5,78	\$/Ha
Costo de Muestreo sin AP	0,25	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestra Foliar con AP	11,58	\$/Ha	Presupuesto	2290	\$
Costo de Muestra Foliar sin AP	0,36	\$/Ha			

Fertilizantes

Utilizar Fertilizantes Líquidos

Nombre	Nivel N (Kg N/Kg)	Nivel P (Kg P/Kg)	Precio (\$/Kg)
Binario	0,18	0,46	0,65
P-simple	0	0,23	0,29
UREA	0,46	0	0,505

Zonas de Manejo

Nro	Nivel N (Kg/Ha)	Nivel P (Kg/Ha)	Nivel N Planta (g N/Kg MS)	Rendimiento (Kg/Ha)	Hectareas	Tipo de
1	15,2	15,6	39,5	3399	35,4	2

Cargar Datos | Guardar Datos | Generar Prescripción

Error

No fue posible encontrar una solución.

OK

5.3 Soja

5.3.1 Consideraciones Generales

Para este cultivo la aplicación considera la etapa Siembra.

El modelo de esta etapa no utiliza para la resolución del problema los valores ingresados en el Editor de Datos de: *Laboreo*, *Tope N*, *Nivel N* de cada fertilizante, y, *Nivel N* (en el suelo), *Nivel N en Planta* y *Rendimiento* de cada zona. En este modelo no interviene el N. Los resultados obtenidos en el Reporte son producto de maximizar el beneficio económico.

5.3.2 Casos Standard

Los casos “Standard” son aquellos que se probaron todas las etapas del cultivo variando el tipo de manejo. Es decir, no se alteraron ni los valores de los parámetros, ni de los fertilizantes y ni los de las zonas.

Para los casos de “no AP” se utilizó toda la chacra como una sola zona de manejo y con los valores que se muestran a continuación.

Zonas Definidas

	Zona	Nivel N (Kg./Ha.)	Nivel P (Kg./Ha.)	Nivel N Planta (g. N/Kg. MS)	Rendimiento (Kg./Ha.)	Hectáreas	Tipo Suelo
AP	1	32,88	43,52	40,6	2800	14,24	2
	2	34,74	43,23	38,9	3500	17,37	2
	3	42,48	36,84	39,1	5000	3,92	2
Sin AP	1	32,88	43,52	40,6	3384,94	35,53	2

Códigos de los Tipos de Suelo

- 0: Arenoso
- 1: Pesado
- 2: Mezcla

Siembra – Con AP

Observaciones:

Se utilizan los 3 fertilizantes en las 3 zonas con uso de AP.

Resultados:

La prescripción es de no realizar fertilización.

EditorDatos

Cultivo: Soja, Etapa: Siembra, Precio: 0,279 \$/Kg, Agricultura de Precisión, Laboreo Convencional

Parámetros:

Topo P	60	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida con AP	5,88	\$/Ha
Topo N	60	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestreo con AP	7,32	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida con AP	5,78	\$/Ha
Costo de Muestreo sin AP	0,25	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestra Foliar con AP	11,58	\$/Ha	Presupuesto	2290	\$
Costo de Muestra Foliar sin AP	0,36	\$/Ha			

Fertilizantes:

Utilizar Fertilizantes Líquidos

Nombre	Nivel N (Kg N/Kg)	Nivel P (Kg P/Kg)	Precio (\$/Kg)
UREA	0,46	0	0,505
P-simple	0	0,23	0,29
Binario	0,16	0,46	0,65

Zonas de Manejo:

Nro	Nivel N (Kg/Ha)	Nivel P (Kg/Ha)	Nivel N Planta (g N/Kg MS)	Rendimiento (Kg/Ha)	Hectareas	Tipo
1	32,88	43,52	40,6	2800	14,24	2
2	34,74	43,23	38,9	3500	17,37	2
3	42,48	36,84	39,1	5000	3,92	2

Cargar Datos Guardar Datos Generar Prescripción

Reporte

General: Cultivo: Soja, Manejo: Agricultura de Precisión, Fecha: 10/02/2008
Etapa: Siembra, Laboreo: Siembra Directa

Zonas:

Zona	Nivel N (Kg)	Nivel P (Kg)	Hectareas	Rendimiento (Kg/Ha)
1	0	0	14,24	2575,5
2	0	0	17,37	2575,5
3	0	0	3,92	2575,5

Fertilizantes:

Insuamo	Zona 1 (Kg)	Zona 2 (Kg)	Zona 3 (Kg)	Total (Kg)
Binario	0	0	0	0
P-simple	0	0	0	0
UREA	0	0	0	0

Económicos:

Rendimiento:	2575,5	Kg/Ha	Ganancia:	25530,6	\$
Total Hectáreas:	35,53		Costo:	260,08	\$
			Beneficio Económico:	25270,52	\$

Guardar

Siembra – Sin AP

Observaciones:

Se utilizan los 3 fertilizantes en 1 zona sin utilizar AP.

Resultados:

La prescripción es de no realizar fertilización.

EditorDatos

Cultivo: Soja, Etapa: Siembra, Precio: 0,279 \$/Kg, Agricultura de Precisión, Laboreo Convencional

Parámetros:

Topo P	60	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida con AP	5,88	\$/Ha
Topo N	60	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestreo con AP	7,32	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida con AP	5,78	\$/Ha
Costo de Muestreo sin AP	0,25	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestra Foliar con AP	11,58	\$/Ha	Presupuesto	2290	\$
Costo de Muestra Foliar sin AP	0,36	\$/Ha			

Fertilizantes:

Utilizar Fertilizantes Líquidos

Nombre	Nivel N (Kg N/Kg)	Nivel P (Kg P/Kg)	Precio (\$/Kg)
UREA	0,46	0	0,505
P-simple	0	0,23	0,29
Binario	0,16	0,46	0,65

Zonas de Manejo:

Nro	Nivel N (Kg/Ha)	Nivel P (Kg/Ha)	Nivel N Planta (g N/Kg MS)	Rendimiento (Kg/Ha)	Hectareas	Tipo
1	32,88	43,52	40,6	3384,94	35,53	2

Cargar Datos Guardar Datos Generar Prescripción

Reporte

General: Cultivo: Soja, Manejo: NO utiliza Agricultura de Precisión, Fecha: 10/02/2008
Etapa: Siembra, Laboreo: Siembra Directa

Zonas:

Zona	Nivel N (Kg)	Nivel P (Kg)	Hectareas	Rendimiento (Kg/Ha)
1	0	0	35,53	2575,5

Fertilizantes:

Insuamo	Zona 1 (Kg)	Total (Kg)
UREA	0	0
P-simple	0	0
Binario	0	0

Económicos:

Rendimiento:	2575,5	Kg/Ha	Ganancia:	25530,59	\$
Total Hectáreas:	35,53		Costo:	8,88	\$
			Beneficio Económico:	25521,71	\$

Guardar

5.3.3 Otras Pruebas

Estas son algunas pruebas interesantes variando el tipo de manejo y las concentraciones de N y P en el suelo de las zonas.

Siembra – Con AP – Poco P en el suelo

Observaciones:

Se utilizan los 3 fertilizantes en las 3 zonas con uso de AP.

Resultados:

La prescripción es de realizar fertilización con P.

Siembra – Con AP – Sin P en el suelo

Observaciones:

Se utilizan los 3 fertilizantes en las 3 zonas con uso de AP.

Resultados:

La prescripción es de realizar fertilización con P.

Siembra – Sin AP – Poco P en el suelo

Observaciones:
Se utilizan los 3 fertilizantes en 1 zona sin utilizar AP.

Resultados:
La prescripción es de realizar fertilización con P.

Siembra – Sin AP – Sin P en el suelo

Observaciones:
Se utilizan los 3 fertilizantes en 1 zona sin utilizar AP.

Resultados:
La prescripción es de realizar fertilización con P.

5.4 Maíz

5.4.1 Consideraciones Generales

Para este cultivo la aplicación considera las etapas Siembra y V5V6.

El modelo de la etapa Siembra no utiliza para la resolución del problema los valores ingresados en el Editor de Datos de: *Laboreo*, *y*, *Nivel N en Planta* y *Tipo de Suelo* de cada zona. Los resultados obtenidos en el Reporte son producto de minimizar el costo total.

El modelo de la etapa V5V6 no utiliza para la resolución del problema los valores ingresados en el Editor de Datos de: *Laboreo*, *y*, *Nivel P* (en el suelo), *Nivel N en Planta*, *Rendimiento* y *Tipo de Suelo* de cada zona. Los resultados obtenidos en el Reporte son producto de minimizar el costo total.

5.4.2 Casos Standard

Los casos “Standard” son aquellos que se probaron todas las etapas del cultivo variando el tipo de manejo. Es decir, no se alteraron ni los valores de los parámetros, ni de los fertilizantes y ni los de las zonas.

Para los casos de “no AP” se utilizó toda la chacra como una sola zona de manejo y con los valores que se muestran a continuación.

Zonas Definidas

	Zona	Nivel N (Kg./Ha.)	Nivel P (Kg./Ha.)	Nivel N Planta (g. N/Kg. MS)	Rendimiento (Kg./Ha.)	Hectáreas	Tipo Suelo
AP	1	32,88	43,52	40,6	2800	14,24	2
	2	34,74	43,23	38,9	3500	17,37	2
	3	42,48	36,84	39,1	5000	3,92	2
Sin AP	1	32,88	43,52	40,6	3384,94	35,53	2

Códigos de los Tipos de Suelo

0: Arenoso

1: Pesado

2: Mezcla

Siembra – Con AP

Observaciones:

Se utilizan los 3 fertilizantes en las 3 zonas con uso de AP.

Resultados:

La prescripción es de realizar fertilización con ambos nutrientes.

EditorDatos

Cultivo: Maíz | Etapa: Siembra | Precio: 0,135 \$/Kg | Agricultura de Precisión | Laboreo Convencional

Parámetros

Topo P	60	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida con AP	5,88	\$/Ha
Topo N	60	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestreo con AP	7,32	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida con AP	5,78	\$/Ha
Costo de Muestreo sin AP	0,25	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestra Foliar con AP	11,58	\$/Ha	Presupuesto	2290	\$
Costo de Muestra Foliar sin AP	0,36	\$/Ha			

Fertilizantes

Utilizar Fertilizantes Líquidos

Nombre	Nivel N (Kg N/Kg)	Nivel P (Kg P/Kg)	Precio (\$/Kg)
UREA	0,46	0	0,505
P-simple	0	0,23	0,29
Binario	0,18	0,46	0,65

Zonas de Manejo

Nro	Nivel N (Kg/Ha)	Nivel P (Kg/Ha)	Nivel N Planta (g N/Kg MS)	Rendimiento (Kg/Ha)	Hectareas	Tipo
1	32,88	43,52	40,6	2800	14,24	2
2	34,74	43,23	38,9	3500	17,37	2
3	42,48	36,94	39,1	5000	3,92	2

Cargar Datos | Guardar Datos | Generar Prescripción

Reporte

General

Cultivo: Maíz | Manejo: Agricultura de Precisión | Fecha: 19/02/2008

Etapas: Siembra | Laboreo: Siembra Directa

Zonas

Zona	Nivel N (Kg)	Nivel P (Kg)	Hectareas
1	7,92	0	14,24
2	5,82	0	17,37
3	0	51,74	3,92

Fertilizantes

Insu	Zona 1 (Kg)	Zona 2 (Kg)	Zona 3 (Kg)	Total (Kg)
Binario	0	0	0	0
P-simple	0	0	224,97	224,97
UREA	17,21	12,65	0	29,869987

Económicos

Total Hectáreas: 35,53 | Costo: 545,77 \$

Guardar

Siembra – Sin AP

Observaciones:

Se utilizan los 3 fertilizantes en 1 zona sin utilizar AP.

Resultados:

La prescripción es de realizar fertilización con N.

EditorDatos

Cultivo: Maíz | Etapa: Siembra | Precio: 0,135 \$/Kg | Agricultura de Precisión | Laboreo Convencional

Parámetros

Topo P	60	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida con AP	5,88	\$/Ha
Topo N	60	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestreo con AP	7,32	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida con AP	5,78	\$/Ha
Costo de Muestreo sin AP	0,25	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestra Foliar con AP	11,58	\$/Ha	Presupuesto	2290	\$
Costo de Muestra Foliar sin AP	0,36	\$/Ha			

Fertilizantes

Utilizar Fertilizantes Líquidos

Nombre	Nivel N (Kg N/Kg)	Nivel P (Kg P/Kg)	Precio (\$/Kg)
Binario	0,18	0,46	0,65
P-simple	0	0,23	0,29
UREA	0,46	0	0,505

Zonas de Manejo

Nro	Nivel N (Kg/Ha)	Nivel P (Kg/Ha)	Nivel N Planta (g N/Kg MS)	Rendimiento (Kg/Ha)	Hectareas	Tipo
1	32,88	43,52	40,6	3384,94	35,53	2

Cargar Datos | Guardar Datos | Generar Prescripción

Reporte

General

Cultivo: Maíz | Manejo: NO utiliza Agricultura de Precisión | Fecha: 19/02/2008

Etapas: Siembra | Laboreo: Siembra Directa

Zonas

Zona	Nivel N (Kg)	Nivel P (Kg)	Hectareas
1	7,92	0	35,53

Fertilizantes

Insu	Zona 1 (Kg)	Total (Kg)
UREA	17,21	17,21
P-simple	0	0
Binario	0	0

Económicos

Total Hectáreas: 35,53 | Costo: 195,22 \$

Guardar

V5V6 – Con AP

Observaciones:

Se utilizan los 3 fertilizantes en las 3 zonas con uso de AP.

Resultados:

La prescripción es de realizar fertilización con N.

EditorDatos

Cultivo: Maiz, Etapa: V5V6, Precio: 0.135 \$/Kg, Agricultura de Precisión (seleccionado), Laboreo Convencional (no seleccionado).

Parámetros:

Topo P	0	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida con AP	5,88	\$/Ha
Topo N	60	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestreo con AP	7,32	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida con AP	5,78	\$/Ha
Costo de Muestreo sin AP	0,25	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestra Foliar con AP	11,58	\$/Ha	Presupuesto	4200	\$
Costo de Muestra Foliar sin AP	0,36	\$/Ha			

Fertilizantes:

Nombre	Nivel N (Kg N/Kg)	Nivel P (Kg P/Kg)	Precio (\$/Kg)
UREA	0,46	0	0,505
P-simple	0	0,23	0,29
Binario	0,18	0,46	0,65

Zonas de Manejo:

Nro	Nivel N (Kg/Ha)	Nivel P (Kg/Ha)	Nivel N Planta (g N/Kg MS)	Rendimiento (Kg/Ha)	Hectareas	Tipo
1	32,88	43,52	40,6	2800	14,24	2
2	34,74	43,23	38,9	3500	17,37	2
3	42,48	36,84	39,1	5000	3,92	2

Reporte

General: Cultivo: Maiz, Manejo: Agricultura de Precisión, Fecha: 08/04/2008. Etapa: V5V6, Laboreo: Siembra Directa.

Zonas:

Zona	Nivel N (Kg)	Nivel P (Kg)	Hectareas
1	43,2	0	14,24
2	39,7	0	17,37
3	25,15	0	3,92

Fertilizantes:

Insumo	Zona 1 (Kg)	Zona 2 (Kg)	Zona 3 (Kg)	Total (Kg)
Binario	0	0	0	0
P-simple	0	0	0	0
UREA	93,9	86,3	54,67	234,87001

Económicos:

Total Hectáreas: 35,53 Costo: 584,06 \$

V5V6 – Sin AP

Observaciones:

Se utilizan los 3 fertilizantes en 1 zona sin utilizar AP.

Resultados:

La prescripción es de realizar fertilización con N.

EditorDatos

Cultivo: Maiz, Etapa: V5V6, Precio: 0.135 \$/Kg, Agricultura de Precisión (no seleccionado), Laboreo Convencional (no seleccionado).

Parámetros:

Topo P	0	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida con AP	5,88	\$/Ha
Topo N	60	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestreo con AP	7,32	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida con AP	5,78	\$/Ha
Costo de Muestreo sin AP	0,25	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestra Foliar con AP	11,58	\$/Ha	Presupuesto	4200	\$
Costo de Muestra Foliar sin AP	0,36	\$/Ha			

Fertilizantes:

Nombre	Nivel N (Kg N/Kg)	Nivel P (Kg P/Kg)	Precio (\$/Kg)
Binario	0,18	0,46	0,65
P-simple	0	0,23	0,29
UREA	0,46	0	0,505

Zonas de Manejo:

Nro	Nivel N (Kg/Ha)	Nivel P (Kg/Ha)	Nivel N Planta (g N/Kg MS)	Rendimiento (Kg/Ha)	Hectareas	Tipo
1	32,88	43,52	40,6	3384,94	35,53	2

Reporte

General: Cultivo: Maiz, Manejo: NO utiliza Agricultura de Precisión, Fecha: 08/04/2008. Etapa: V5V6, Laboreo: Siembra Directa.

Zonas:

Zona	Nivel N (Kg)	Nivel P (Kg)	Hectareas
1	43,2	0	35,53

Fertilizantes:

Insumo	Zona 1 (Kg)	Total (Kg)
UREA	93,9	93,9
P-simple	0	0
Binario	0	0

Económicos:

Total Hectáreas: 35,53 Costo: 233,95 \$

5.4.3 Otras Pruebas

Estas son algunas pruebas interesantes variando el tipo de manejo y las concentraciones de N y P en el suelo de las zonas.

Siembra – Con AP – Poco P en el suelo

Observaciones:

Se utilizan los 3 fertilizantes en las 3 zonas con uso de AP.

Resultados:

La prescripción es de realizar fertilización con ambos nutrientes.

The screenshot displays two windows from a software application. The 'EditorDatos' window on the left shows input parameters for a corn crop (Cultivo: Maíz) in the 'Siembra' stage, with a price of 0.135 \$/Kg. It includes sections for 'Parámetros' (Topes, Muestreo, Follaje), 'Fertilizantes' (Binario, P-simple, UREA), and 'Zonas de Manejo' (3 zones with N and P levels). The 'Reporte' window on the right shows the resulting prescription for three zones, including nutrient levels (N and P in Kg/Ha) and the total cost of fertilization (1329.25 \$).

Nro	Nivel N (Kg/Ha)	Nivel P (Kg/Ha)	Nivel N Planta (g N/Kg MS)	Rendimiento (Kg/Ha)	Hectareas	Tipo
1	32,88	20	40,6	2800	14,24	2
2	34,74	20	38,9	3500	17,37	2
3	42,48	15	39,1	5000	3,92	2

Zona	Nivel N (Kg)	Nivel P (Kg)	Hectareas
1	7,92	269,42	14,24
2	5,82	328,64	17,37
3	0	82,79	3,92

Insu	Zona 1 (Kg)	Zona 2 (Kg)	Zona 3 (Kg)	Total (Kg)
UREA	0	0	0	0
P-simple	1083,42	1364,21	359,96	2807,58984
Binario	43,98	32,33	0	76,31

Total Hectáreas:	35,53	Costo:	1329,25	\$
------------------	-------	--------	---------	----

Siembra – Con AP – Sin P en el suelo

Observaciones:

Se utilizan los 3 fertilizantes en las 3 zonas con uso de AP.

Resultados:

La prescripción es de realizar fertilización con ambos nutrientes.

EditorDatos

Cultivo: **Maiz** Etapa: **Siembra** Precio: **0,135** \$/Kg Agricultura de Precisión Laboreo Convencional

Parámetros

Topo P	60	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida con AP	5,88	\$/Ha
Topo N	60	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestreo con AP	7,32	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida con AP	5,78	\$/Ha
Costo de Muestreo sin AP	0,25	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestra Foliar con AP	11,58	\$/Ha	Presupuesto	2290	\$
Costo de Muestra Foliar sin AP	0,36	\$/Ha			

Fertilizantes

Utilizar Fertilizantes Líquidos

Nombre	Nivel N (Kg N/Kg)	Nivel P (Kg P/Kg)	Precio (\$/Kg)
Binario	0,18	0,46	0,65
P-simple	0	0,23	0,29
UREA	0,46	0	0,505

Zonas de Manejo

Nro	Nivel N (Kg/Ha)	Nivel P (Kg/Ha)	Nivel N Planta (g N/Kg MS)	Rendimiento (Kg/Ha)	Hectareas	Tipo
1	32,88	0	40,6	2800	14,24	2
2	34,74	0	38,9	3500	17,37	2
3	42,48	0	39,1	5000	3,92	2

Cargar Datos Guardar Datos Generar Prescripción

Reporte

General

Cultivo: **Maiz** Manejo: **Agricultura de Precisión** Fecha: **19/02/2008**

Etapa: **Siembra** Laboreo: **Siembra Directa**

Zonas

Zona	Nivel N (Kg)	Nivel P (Kg)	Hectareas
1	7,92	369,67	14,24
2	5,82	450,93	17,37
3	0	101,76	3,92

Fertilizantes

Insumo	Zona 1 (Kg)	Zona 2 (Kg)	Zona 3 (Kg)	Total (Kg)
UREA	0	0	0	0
P-simple	1519,29	1895,88	442,45	3857,61987
Binario	43,98	32,33	0	76,31

Económicos

Total Hectáreas: **35,53** Costo: **1633,76** \$

Guardar

Siembra – Con AP – Poco N en el suelo

Observaciones:

Se utilizan los 3 fertilizantes en las 3 zonas con uso de AP.

Resultados:

La prescripción es de realizar fertilización con ambos nutrientes.

EditorDatos

Cultivo: **Maiz** Etapa: **Siembra** Precio: **0,135** \$/Kg Agricultura de Precisión Laboreo Convencional

Parámetros

Topo P	60	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida con AP	5,88	\$/Ha
Topo N	60	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestreo con AP	7,32	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida con AP	5,78	\$/Ha
Costo de Muestreo sin AP	0,25	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestra Foliar con AP	11,58	\$/Ha	Presupuesto	2290	\$
Costo de Muestra Foliar sin AP	0,36	\$/Ha			

Fertilizantes

Utilizar Fertilizantes Líquidos

Nombre	Nivel N (Kg N/Kg)	Nivel P (Kg P/Kg)	Precio (\$/Kg)
Binario	0,18	0,46	0,65
P-simple	0	0,23	0,29
UREA	0,46	0	0,505

Zonas de Manejo

Nro	Nivel N (Kg/Ha)	Nivel P (Kg/Ha)	Nivel N Planta (g N/Kg MS)	Rendimiento (Kg/Ha)	Hectareas	Tipo
1	20	43,52	40,6	2800	14,24	2
2	20	43,23	38,9	3500	17,37	2
3	15	36,84	39,1	5000	3,92	2

Cargar Datos Guardar Datos Generar Prescripción

Reporte

General

Cultivo: **Maiz** Manejo: **Agricultura de Precisión** Fecha: **19/02/2008**

Etapa: **Siembra** Laboreo: **Siembra Directa**

Zonas

Zona	Nivel N (Kg)	Nivel P (Kg)	Hectareas
1	22,44	0	14,24
2	22,44	0	17,37
3	28,08	51,74	3,92

Fertilizantes

Insumo	Zona 1 (Kg)	Zona 2 (Kg)	Zona 3 (Kg)	Total (Kg)
UREA	48,79	48,79	17,03	114,61
P-simple	0	0	0	0
Binario	0	0	112,49	112,49

Económicos

Total Hectáreas: **35,53** Costo: **596,44** \$

Guardar

Siembra – Con AP – Sin N en el suelo

Observaciones:

Se utilizan los 3 fertilizantes en las 3 zonas con uso de AP.

Resultados:

La prescripción es de realizar fertilización con ambos nutrientes.

EditorDatos

Cultivo: Maíz | Etapa: Siembra | Precio: 0,135 \$/Kg | Agricultura de Precisión
 Laboreo Convencional

Parámetros:

Topo P	60	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida con AP	5,88	\$/Ha
Topo N	60	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestreo con AP	7,32	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida con AP	5,78	\$/Ha
Costo de Muestreo sin AP	0,25	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestra Foliar con AP	11,58	\$/Ha	Presupuesto	2290	\$
Costo de Muestra Foliar sin AP	0,36	\$/Ha			

Fertilizantes:

Utilizar Fertilizantes Líquidos

Nombre	Nivel N (Kg N/Kg)	Nivel P (Kg P/Kg)	Precio (\$/Kg)
Binario	0,18	0,46	0,65
P-simple	0	0,23	0,29
UREA	0,46	0	0,505

Zonas de Manejo:

Nro	Nivel N (Kg/Ha)	Nivel P (Kg/Ha)	Nivel N Planta (g N/Kg MS)	Rendimiento (Kg/Ha)	Hectareas	Tipo
1	0	43,52	40,6	2800	14,24	2
2	0	43,23	38,9	3500	17,37	2
3	0	36,84	39,1	5000	3,92	2

Cargar Datos | Guardar Datos | Generar Prescripción

Reporte

General: Cultivo: Maíz | Manejo: Agricultura de Precisión | Fecha: 19/02/2008
Etapa: Siembra | Laboreo: Siembra Directa

Zonas:

Zona	Nivel N (Kg)	Nivel P (Kg)	Hectareas
1	45	0	14,24
2	45	0	17,37
3	45	51,74	3,92

Fertilizantes:

InsUMO	Zona 1 (Kg)	Zona 2 (Kg)	Zona 3 (Kg)	Total (Kg)
UREA	97,83	97,83	53,81	249,47
P-simple	0	0	0	0
Binario	0	0	112,49	112,49

Económicos:

Total Hectáreas: 35,53 | Costo: 664,54 \$

Guardar

Siembra – Sin AP – Poco P en el suelo

Observaciones:

Se utilizan los 3 fertilizantes en 1 zona sin utilizar AP.

Resultados:

La prescripción es de realizar fertilización con ambos nutrientes.

EditorDatos

Cultivo: Maíz | Etapa: Siembra | Precio: 0,135 \$/Kg | Agricultura de Precisión
 Laboreo Convencional

Parámetros:

Topo P	60	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida con AP	5,88	\$/Ha
Topo N	60	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestreo con AP	7,32	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida con AP	5,78	\$/Ha
Costo de Muestreo sin AP	0,25	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestra Foliar con AP	11,58	\$/Ha	Presupuesto	2290	\$
Costo de Muestra Foliar sin AP	0,36	\$/Ha			

Fertilizantes:

Utilizar Fertilizantes Líquidos

Nombre	Nivel N (Kg N/Kg)	Nivel P (Kg P/Kg)	Precio (\$/Kg)
UREA	0,46	0	0,505
P-simple	0	0,23	0,29
Binario	0,18	0,46	0,65

Zonas de Manejo:

Nro	Nivel N (Kg/Ha)	Nivel P (Kg/Ha)	Nivel N Planta (g N/Kg MS)	Rendimiento (Kg/Ha)	Hectareas	Tipo
1	32,88	20	40,6	3384,94	35,53	2

Cargar Datos | Guardar Datos | Generar Prescripción

Reporte

General: Cultivo: Maíz | Manejo: NO utiliza Agricultura de Precisión | Fecha: 19/02/2008
Etapa: Siembra | Laboreo: Siembra Directa

Zonas:

Zona	Nivel N (Kg)	Nivel P (Kg)	Hectareas
1	7,92	672,23	35,53

Fertilizantes:

InsUMO	Zona 1 (Kg)	Total (Kg)
Binario	43,98	43,98
P-simple	2834,76	2834,76
UREA	0	0

Económicos:

Total Hectáreas: 35,53 | Costo: 1037,2 \$

Guardar

Siembra – Sin AP – Sin P en el suelo

Observaciones:

Se utilizan los 3 fertilizantes en 1 zona sin utilizar AP.

Resultados:

La prescripción es de realizar fertilización con ambos nutrientes.

EditorDatos

Cultivo: Maíz | Etapa: Siembra | Precio: 0,135 \$/Kg

Parámetros:
 Tope P: 60 Kg/Ha | Costo de Fertilización Líquida con AP: 5,88 \$/Ha
 Tope N: 60 Kg/Ha | Costo de Fertilización Líquida sin AP: 5 \$/Ha
 Costo de Muestreo con AP: 7,32 \$/Ha | Costo de Fertilización Sólida con AP: 5,78 \$/Ha
 Costo de Muestreo sin AP: 0,25 \$/Ha | Costo de Fertilización Sólida sin AP: 5 \$/Ha
 Costo de Muestra Foliar con AP: 11,58 \$/Ha | Presupuesto: 2290 \$
 Costo de Muestra Foliar sin AP: 0,36 \$/Ha

Fertilizantes:
 Utilizar Fertilizantes Líquidos

Nombre	Nivel N (Kg N/Kg)	Nivel P (Kg P/Kg)	Precio (\$/Kg)
UREA	0,46	0	0,505
P-simple	0	0,23	0,29
Binario	0,18	0,46	0,65

Zonas de Manejo

Nro	Nivel N (Kg/Ha)	Nivel P (Kg/Ha)	Nivel N Planta (g N/Kg MS)	Rendimiento (Kg/Ha)	Hectareas	Tipo de
1	32,88	0	40,6	3384,94	35,53	2

Cargar Datos | Guardar Datos | Generar Prescripción

Reporte

General:
 Cultivo: Maíz | Manejo: NO utiliza Agricultura de Precisión | Fecha: 19/02/2008
 Etapa: Siembra | Laboreo: Siembra Directa

Zonas:

Zona	Nivel N (Kg)	Nivel P (Kg)	Hectareas
1	7,92	922,36	35,53

Fertilizantes:

Insumo	Zona 1 (Kg)	Total (Kg)
Binario	43,98	43,98
P-simple	3922,29	3922,29
UREA	0	0

Económicos:
 Total Hectáreas: 35,53 | Costo: 1352,59 \$

Guardar

Siembra – Sin AP – Poco N en el suelo

Observaciones:

Se utilizan los 3 fertilizantes en 1 zona sin utilizar AP.

Resultados:

La prescripción es de realizar fertilización con N.

EditorDatos

Cultivo: Maíz | Etapa: Siembra | Precio: 0,135 \$/Kg

Parámetros:
 Tope P: 60 Kg/Ha | Costo de Fertilización Líquida con AP: 5,88 \$/Ha
 Tope N: 60 Kg/Ha | Costo de Fertilización Líquida sin AP: 5 \$/Ha
 Costo de Muestreo con AP: 7,32 \$/Ha | Costo de Fertilización Sólida con AP: 5,78 \$/Ha
 Costo de Muestreo sin AP: 0,25 \$/Ha | Costo de Fertilización Sólida sin AP: 5 \$/Ha
 Costo de Muestra Foliar con AP: 11,58 \$/Ha | Presupuesto: 2290 \$
 Costo de Muestra Foliar sin AP: 0,36 \$/Ha

Fertilizantes:
 Utilizar Fertilizantes Líquidos

Nombre	Nivel N (Kg N/Kg)	Nivel P (Kg P/Kg)	Precio (\$/Kg)
UREA	0,46	0	0,505
P-simple	0	0,23	0,29
Binario	0,18	0,46	0,65

Zonas de Manejo

Nro	Nivel N (Kg/Ha)	Nivel P (Kg/Ha)	Nivel N Planta (g N/Kg MS)	Rendimiento (Kg/Ha)	Hectareas	Tipo de
1	20	43,52	40,6	3384,94	35,53	2

Cargar Datos | Guardar Datos | Generar Prescripción

Reporte

General:
 Cultivo: Maíz | Manejo: NO utiliza Agricultura de Precisión | Fecha: 19/02/2008
 Etapa: Siembra | Laboreo: Siembra Directa

Zonas:

Zona	Nivel N (Kg)	Nivel P (Kg)	Hectareas
1	22,44	0	35,53

Fertilizantes:

Insumo	Zona 1 (Kg)	Total (Kg)
Binario	0	0
P-simple	0	0
UREA	48,79	48,79

Económicos:
 Total Hectáreas: 35,53 | Costo: 211,17 \$

Guardar

Siembra – Sin AP – Sin N en el suelo

Observaciones:

Se utilizan los 3 fertilizantes en 1 zona sin utilizar AP.

Resultados:

La prescripción es de realizar fertilización con N.

EditorDatos

Cultivo: Maíz | Etapa: Siembra | Precio: 0,135 \$/Kg | Agricultura de Precisión | Laboreo Convencional

Parámetros

Topo P	60	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida con AP	5,88	\$/Ha
Topo N	60	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestreo con AP	7,32	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida con AP	5,78	\$/Ha
Costo de Muestreo sin AP	0,25	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestra Foliar con AP	11,58	\$/Ha	Presupuesto	2290	\$
Costo de Muestra Foliar sin AP	0,36	\$/Ha			

Fertilizantes

Utilizar Fertilizantes Líquidos

Nombre	Nivel N (Kg N/Kg)	Nivel P (Kg P/Kg)	Precio (\$/Kg)
UREA	0,46	0	0,905
P-simple	0	0,23	0,29
Binario	0,16	0,46	0,65

Zonas de Manejo

Nro	Nivel N (Kg/Ha)	Nivel P (Kg/Ha)	Nivel N Planta (g N/Kg MS)	Rendimiento (Kg/Ha)	Hectareas	Tipo de
1	0	43,52	40,6	3384,94	35,53	2

Cargar Datos | Guardar Datos | Generar Prescripción

Reporte

General: Cultivo: Maíz | Manejo: NO utiliza Agricultura de Precisión | Fecha: 19/02/2008
Etapa: Siembra | Laboreo: Siembra Directa

Zonas

Zona	Nivel N (Kg)	Nivel P (Kg)	Hectareas
1	45	0	35,53

Fertilizantes

Insumo	Zona 1 (Kg)	Total (Kg)
Binario	0	0
P-simple	0	0
UREA	97,83	97,83

Económicos

Total Hectáreas: 35,53 | Costo: 235,93 \$

Guardar

V5V6 – Con AP – Poco N en el suelo

Observaciones:

Se utilizan los 3 fertilizantes en las 3 zonas con uso de AP.
Se aumentó el presupuesto disponible ya que con el valor 2290 no se obtiene solución.

Resultados:

La prescripción es de realizar fertilización con ambos nutrientes.

EditorDatos

Cultivo: Maíz | Etapa: V5V6 | Precio: 0,135 \$/Kg | Agricultura de Precisión | Laboreo Convencional

Parámetros

Topo P	60	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida con AP	5,88	\$/Ha
Topo N	60	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestreo con AP	7,32	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida con AP	5,78	\$/Ha
Costo de Muestreo sin AP	0,25	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestra Foliar con AP	11,58	\$/Ha	Presupuesto	4200	\$
Costo de Muestra Foliar sin AP	0,36	\$/Ha			

Fertilizantes

Utilizar Fertilizantes Líquidos

Nombre	Nivel N (Kg N/Kg)	Nivel P (Kg P/Kg)	Precio (\$/Kg)
UREA	0,46	0	0,905
P-simple	0	0,23	0,29
Binario	0,16	0,46	0,65

Zonas de Manejo

Nro	Nivel N (Kg/Ha)	Nivel P (Kg/Ha)	Nivel N Planta (g N/Kg MS)	Rendimiento (Kg/Ha)	Hectareas	Tipo de
1	20	43,52	40,6	2800	14,24	2
2	20	43,23	36,9	3500	17,37	2
3	15	36,84	39,1	5000	3,92	2

Cargar Datos | Guardar Datos | Generar Prescripción

Reporte

General: Cultivo: Maíz | Manejo: Agricultura de Precisión | Fecha: 19/02/2008
Etapa: V5V6 | Laboreo: Siembra Directa

Zonas

Zona	Nivel N (Kg)	Nivel P (Kg)	Hectareas
1	67,41	854,4	14,24
2	67,41	1042,2	17,37
3	76,8	235,2	3,92

Fertilizantes

Insumo	Zona 1 (Kg)	Zona 2 (Kg)	Zona 3 (Kg)	Total (Kg)
UREA	0	0	0	0
P-simple	2965,83	3782,35	169,23	6917,41
Binario	374,48	374,48	426,69	1175,65

Económicos

Total Hectáreas: 35,53 | Costo: 3235,66 \$

Guardar

V5V6 – Con AP – Sin N en el suelo

Observaciones:

Se utilizan los 3 fertilizantes en las 3 zonas con uso de AP.
Se aumentó el presupuesto disponible ya que con el valor 2290 no se obtiene solución.

Resultados:

La prescripción es de realizar fertilización con ambos nutrientes.

V5V6 – Sin AP – Poco N en el suelo

Observaciones:

Se utilizan los 3 fertilizantes en 1 zona sin utilizar AP.
Se aumentó el presupuesto disponible ya que con el valor 2290 no se obtiene solución.

Resultados:

La prescripción es de realizar fertilización con ambos nutrientes.

V5V6 – Sin AP – Sin N en el suelo

Observaciones:

Se utilizan los 3 fertilizantes en 1 zona sin utilizar AP.
Se aumentó el presupuesto disponible ya que con el valor 2290 no se obtiene solución.

Resultados:

La prescripción es de realizar fertilización con ambos nutrientes.

EditorDatos

Cultivo: Maiz, Etapa: V5V6, Precio: 0.135 \$/Kg

Agricultura de Precisión
 Laboreo Convencional

Parámetros:

Topo P	60	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida con AP	5,98	\$/Ha
Topo N	60	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestreo con AP	7,32	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida con AP	5,78	\$/Ha
Costo de Muestreo sin AP	0,25	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestra Foliar con AP	11,58	\$/Ha	Presupuesto	4200	\$
Costo de Muestra Foliar sin AP	0,36	\$/Ha			

Fertilizantes:

Utilizar Fertilizantes Líquidos

Nombre	Nivel N (Kg N/Kg)	Nivel P (Kg P/Kg)	Precio (\$/Kg)
Binario	0.18	0.46	0.65
P-simple	0	0.23	0.23
UREA	0.46	0	0.505

Zonas de Manejo:

Nro	Nivel N (Kg/Ha)	Nivel P (Kg/Ha)	Nivel N Planta (g N/Kg MS)	Rendimiento (Kg/Ha)	Hectareas	Tipo de
1	0	43.52	40.6	3384.94	35.53	2

Cargar Datos | Guardar Datos | Generar Prescripción

Reporte

General

Cultivo: Maiz, Manejo: NO utiliza Agricultura de Precisión, Fecha: 19/02/2008

Etapa: V5V6, Laboreo: Siembra Directa

Zonas:

Zona	Nivel N (Kg)	Nivel P (Kg)	Hectareas
1	105	2131.8	35,53

Fertilizantes:

Insumo	Zona 1 (Kg)	Total (Kg)
Binario	583,33	583,33
P-simple	8102,03	8102,03
UREA	0	0

Económicos:

Total Hectáreas: 35,53 Costo: 2915,29 \$

Guardar

6 Anexo 6 – Evaluación de los Resultados por el Ing. Agr. Daniel Melo

A continuación presentamos la evaluación de los resultados realizada por el Ing. Agr. Daniel Melo.

6.1 Evaluación

Llevando a cabo el proyecto de la tesis de grado, se hicieron varias consultas vía electrónica telefónica y personal acerca de los principales aspectos del manejo de la fertilización en cultivos de cereales y oleaginosas. En tal sentido se discutieron varios aspectos técnicos vinculados a los usos y costos de las diferentes fórmulas de fertilizantes, sistemas de diagnóstico del estado de los suelos y técnicas de laboratorio. También se discutieron aspectos biológicos y fisiológicos de la dinámica de los diferentes nutrientes y su relación con el crecimiento vegetal y el rendimiento. El énfasis principal de las entrevistas fue en los aspectos cuantitativos y los modelos matemáticos utilizados en el manejo de la fertilización.

A continuación se hacen algunos comentarios acerca de las pruebas hechas con la versión actual de la aplicación.

Consideraciones acerca de los modelos utilizados:

La fisiología vegetal y la dinámica de los diferentes nutrientes en el suelo son unos de los aspectos más estudiados a nivel científico y académico. Estos involucran múltiples procesos complejos con la interacción de muchísimas variables de fisiología vegetal, climáticas y químicas de los suelos.

Los modelos matemáticos de fertilización que se han desarrollado a nivel mundial, tienen alcance parcial. Solo funcionan y son aplicables para situaciones edáficas y climáticas particulares. A su vez no se han desarrollado modelos aplicables a nivel agronómico para todos los nutrientes.

También existen modelos más sofisticados de uso principalmente académico y científico. Sin embargo, la aplicación analizada utiliza los modelos disponibles que pueden usarse a nivel de gestión de la fertilización. Los modelos utilizados son los adecuados para la toma de decisiones a nivel agronómico y comercial.

Comentarios acerca del uso de la aplicación:

La aplicación calcula para un solo cultivo, no considerando los niveles residuales de fertilidad ni la dinámica de los nutrientes residuales. No considera la conservación de los niveles de fertilidad en el suelo.

Las unidades utilizadas no son las convencionales. Esto hace que no sea amigable su uso y dificulta la interpretación de los resultados.

Ing. Agr. Daniel Melo
La Hectárea SRL
Varela 1899 esq. Cheveste
CP.: 75100
Teléfono: (+598) 0534 3584
Dolores - Soriano
Uruguay

7 Anexo 7 – Uso de la Biblioteca

7.1 Introducción

Este Anexo describe el uso de la biblioteca de Prescripciones de Fertilización desde el punto de vista de un programador que desea incorporar en su proyecto las funcionalidades proporcionadas por la misma. Para el usuario final, se tiene una interfaz gráfica que permite ingresar los valores para la prescripción y visualizar los reportes. Para más información sobre la interfaz gráfica debe consultar el manual de usuario de la misma.

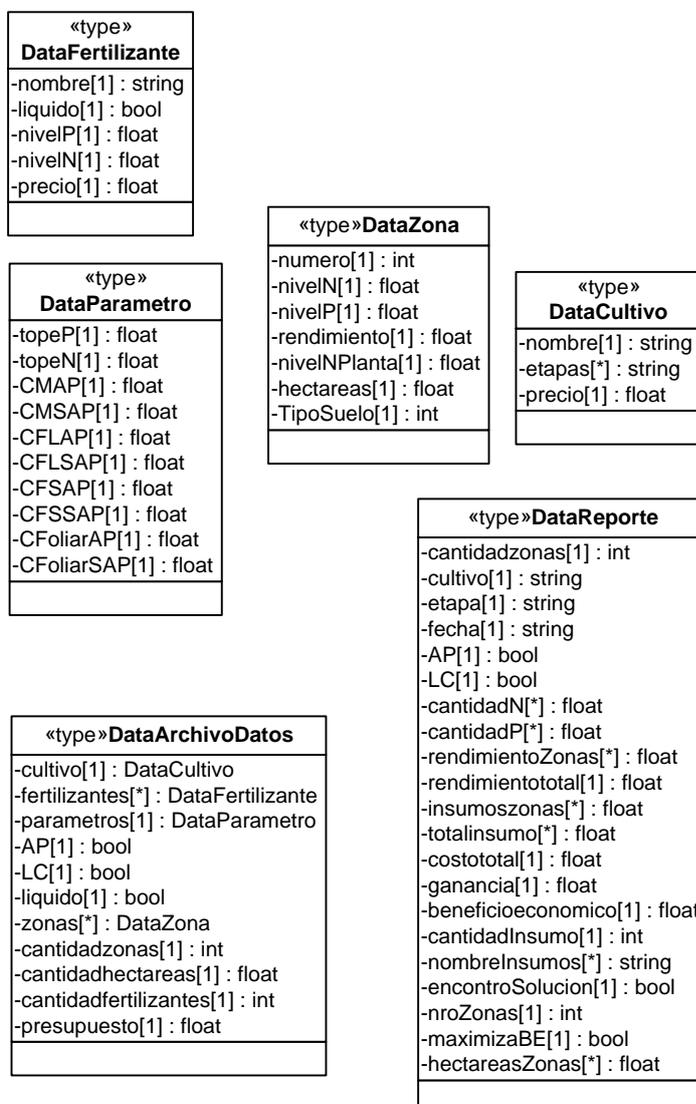
El documento trata los siguientes puntos:

- **Datatypes:** Describe los datatypes utilizados por la biblioteca en sus funcionalidades. Es crítico comprender el significado de cada uno de sus atributos, pero más importante de las unidades de los mismos.
- **Interfaces y Operaciones:** Se describen las interfaces expuestas por la biblioteca y las operaciones de cada una.
- **Formato de los Archivos:** Se describe el formato físico de los archivos utilizados por la biblioteca en su comunicación con entidades externas.
- **Tutorial de Creación de un Proyecto:** Se muestra un tutorial básico de cómo crear un proyecto utilizando Microsoft Visual Basic 2005, importar la biblioteca, configurar el GAMS y sus funcionalidades. Al final del tutorial el proyecto estará pronto para comunicarse con la biblioteca.
- **Ejemplos:** Se presentan códigos de 2 ejemplos que utilizan las funcionalidades de la biblioteca desde un proyecto externo como el que se describió en el tutorial. Estos ejemplos pueden resultar de gran utilidad para aclarar la comunicación con la biblioteca.

7.2 Datatypes

La biblioteca utiliza datatypes y archivos para comunicarse con el exterior. En esta sección describimos cada uno de los datatypes con sus atributos y su significado.

La definición de los datatypes está en la biblioteca (namespace: *BibliotecaPrescripciones.DataTypes*) y puede ser importada desde el exterior como se muestra en los ejemplos al final del documento. A continuación se muestra un diagrama de los mismos y después se describe cada uno en detalle.



7.2.1 DataFertilizante

Encapsula la información relevante de un fertilizante como ser su precio y niveles de nutrientes.

Nombre	Tipo de Dato	Significado
Nombre	String	Representa el nombre que identifica al fertilizante.
Líquido	Boolean	Indica si el fertilizante es líquido (<i>true</i>) o sólido (<i>false</i>).
NivelN	Float	Indica el porcentaje de Nitrógeno por cada Kg. de Fertilizante. Por ejemplo, un valor de 0,46 indica que por cada Kg. de Fertilizante, 460 g. son de Nitrógeno.
NivelP	Float	Indica el porcentaje de Fósforo en una unidad de Fertilizante.

Precio	Float	Precio del fertilizante expresado en \$/Kg.
--------	-------	---

7.2.2 DataParametro

Encapsula parámetros necesarios para realizar una prescripción.

Nombre	Tipo de Dato	Significado
TopeP	Float	Nivel máximo en Kg./Ha. de Fósforo que se permite aplicar en la fertilización.
TopeN	Float	Nivel máximo en Kg./Ha. de Nitrógeno que se permite aplicar en la fertilización.
CMAP	Float	Costo de Muestreo con Agricultura de Precisión. Representa el costo en \$/Ha. de realizar el muestreo del suelo considerando AP.
CMSAP	Float	Costo de Muestreo Sin Agricultura de Precisión. Representa el costo en \$/Ha. de realizar el muestreo del suelo sin considerar AP.
CFLAP	Float	Costo de Fertilización Líquida con AP. Representa el costo en \$/Ha. de fertilizar utilizando fertilizantes líquidos considerando AP.
CFLSAP	Float	Costo de Fertilización Líquida sin AP. Representa el costo en \$/Ha. de fertilizar utilizando fertilizantes líquidos sin considerar AP.
CFSAP	Float	Costo de Fertilización Sólida con AP. Representa el costo en \$/Ha. de fertilizar utilizando fertilizantes sólidos considerando AP.
CFSSAP	Float	Costo de Fertilización Sólida sin AP. Representa el costo en \$/Ha. de fertilizar utilizando fertilizantes sólidos sin considerar AP.
CFoliarAP	Float	Costo de muestra Foliar con AP. Representa el costo en \$/Ha. de realizar una muestra foliar considerando AP.
CFoliarSAP	Float	Costo de muestra Foliar sin AP. Representa el costo en \$/Ha. de realizar una muestra foliar sin considerar AP.

7.2.3 DataZona

Encapsula información relevante a una zona de manejo como ser sus valores de N, P, Hectáreas, etc.

Nombre	Tipo de Dato	Significado
Numero	Int	Identificador de la zona. Debe ser único.
NivelN	Float	Cantidad de Nitrógeno en el suelo expresado en Kg./Ha.
NivelP	Float	Cantidad de Fósforo en el suelo expresado en Kg./Ha.
Rendimiento	Float	Rendimiento potencial expresado en Kg./Ha.
NivelNPlanta	Float	Cantidad de Nitrógeno medida en el cultivo expresada en g. N / Kg. MS (gramos de Nitrógeno por kilogramo de materia seca). Es utilizado en la última etapa de alguno de los cultivos.
Hectáreas	Float	Cantidad de hectáreas de la zona.
TipoSuelo	Int	Identificador que representa el tipo de suelo. Toma los valores 0, 1 y 2 (0:arenoso, 1:pesado, 2: mezcla)

7.2.4 DataCultivo

Encapsula información relevante al cultivo como ser su nombre, etapas y precio.

Nombre	Tipo de Dato	Significado
Nombre	String	Nombre que identifica al cultivo. Los valores que puede tomar son:

		<p>“Trigo” “Cebada” “Soja” “Maiz”.</p> <p>Se deben utilizar estos identificadores tal como están detallados, sin tildes y sin las comillas.</p>
Etapas	String[]	<p>Nombre que identifica a las diferentes etapas de los cultivos. Los valores que pueden tomar son:</p> <p>“Siembra” “Z22” “Z30” “V5V6”</p> <p>Depende de cada cultivo, cuales etapas son validas. Para Trigo y Cebada son Siembra, Z₂₂ y Z₃₀, para Soja es Siembra y para Maíz son Siembra y V5V6.</p>
Precio	Float	Precio unitario del cultivo expresado en \$/Kg.

7.2.5 DataArchivoDatos

Encapsula toda la información necesaria para solicitar a la biblioteca que realice una prescripción de fertilización. Incluye atributos de los otros datatypes descritos anteriormente.

Nombre	Tipo de Dato	Significado
Cultivo	DataCultivo	Una instancia del cultivo al que se desea realizar una prescripción de fertilización. La instancia de DataCultivo debe venir solamente con la etapa para la cual se desea realizar la prescripción.
Fertilizantes	DataFertilizante[]	Un array de instancias de DataFertilizante, cada una correspondiendo a un fertilizante disponible. La biblioteca tratará de realizar la prescripción utilizando todos los fertilizantes recibidos.
Parámetros	DataParametro	Una instancia de DataParametro con los parámetros correspondientes.
AP	Boolean	Indica a la biblioteca si se desea realizar la prescripción utilizando Agricultura de Precisión (AP=true, se utiliza Agricultura de Precisión, AP=false, no se utiliza Agricultura de Precisión).
LC	Boolean	Indica a la biblioteca si se desea realizar la prescripción utilizando Laboreo Convencional o Siembra Directa. (LC=true se utiliza Laboreo Convencional, LC=false se utiliza Siembra Directa).
Liquido	Boolean	Indica si se utilizarán fertilizantes líquidos o sólidos
Zonas	DataZona[]	Un array de instancias de DataZona, con la información de las Zonas de Manejo del potrero a realizar la prescripción.
Cantidadzonas	Int	Indica la cantidad de Zonas de Manejo a estudiar. Debe ser igual a la cantidad de zonas en el array “Zonas”.
CantidadHectareas	Float	Indica la cantidad Total de hectáreas. Debe ser igual a

		la suma de las hectáreas en todas las zonas de manejo.
CantidadFertilizantes	Int	Indica la cantidad total de fertilizantes a utilizar en la prescripción. Debe ser igual a la cantidad de fertilizantes en el array "Fertilizantes".
Presupuesto	Float	Presupuesto total disponible para la etapa.

7.2.6 DataReporte

Este datatype encapsula el resultado de la prescripción de fertilización. Tiene valores como rendimiento por zona, costos y beneficio económico.

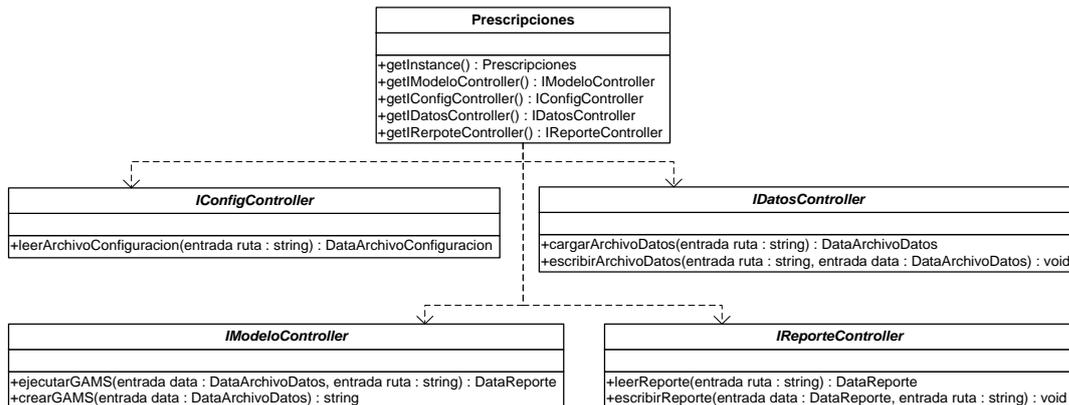
Nombre	Tipo de Dato	Significado
EncuentroSolución	Boolean	Un booleano que indica si se pudo encontrar una solución al problema de fertilización. Si su valor es <i>false</i> los valores en los demás atributos son irrelevantes.
MaximizaBE	Boolean	Indica el tipo de Modelo. Existen 2 tipos: Los que maximizan el beneficio económico (<i>true</i>). Los que minimizan el costo total (<i>false</i>).
Cantidadzonas	Int	Indica la cantidad de Zonas de Manejo.
CantidadInsumos	Int	Cantidad total de insumos.
Cultivo	String	Nombre que identifica al cultivo.
Etapas	String	Etapas del cultivo para la cual se realizó la prescripción.
Fecha	Date	Fecha del Reporte.
AP	Boolean	Indica si el reporte se realizó considerando el uso de Agricultura de Precisión (<i>true</i> : AP, <i>false</i> : No AP)
LC	Boolean	Indica si el reporte se realizó considerando Laboreo Convencional o Siembra Directa (<i>true</i> : LC, <i>false</i> : SD)
NroZonas	Int[]	Indica los números de zonas en el reporte.
CantidadN	Float[]	Indica la cantidad de Nitrógeno que se aplica por zona expresado en Kg. El índice del array se corresponde con el índice del array "NroZonas".
CantidadP	Float[]	Indica la cantidad de Fósforo que se aplica por zona expresado en Kg. El índice del array se corresponde con el índice del array "NroZonas".
RendimientoZonas	Float[]	Indica el rendimiento que se aplica por zona expresado en Kg./Ha. El índice del array se corresponde con el índice del array "NroZonas".
HectareasZonas	Float[]	Indica la cantidad de hectáreas de las zonas. El índice del array se corresponde con el índice del array "NroZonas".
InsumosZonas	Float[][]	Indica cuanto se aplica de cada insumo para cada zona. Esta expresado en Kg. El primer índice corresponde a la zona, mientras que el segundo corresponde al fertilizante. De esta forma <code>InsumosZonas[i][j]</code> corresponde a cuanto aplico del insumo <code>j</code> en la zona <code>i</code> .
NombreInsumos	String[]	Un array que indica los nombres de los fertilizantes utilizados.
TotalInsumo	Float[]	Un array que corresponde al total utilizado de cada uno de los insumos. Su índice se corresponde con el del array "NombreInsumos".
CostoTotal	Float	Costo total de la prescripción expresado en \$.
Ganancia	Float	Ganancia total obtenida por concepto de venta del cultivo expresada en \$.
BeneficioEconómico	Float	Resultado de Ganancia – CostoTotal expresado en \$.
RendimientoTotal	Float	Rendimiento Total del cultivo en toda la chacra.

7.3 Interfaces y Operaciones

La biblioteca expone 4 interfaces, cada una con dominio sobre una entidad diferente y operaciones que pueden ser invocados por una entidad que la importe.

Para acceder a un objeto que implemente una interfaz la biblioteca posee una Factory denominada *Prescripciones* que retorna instancias de estas interfaces. El objetivo de esta Factory es desacoplar la implementación de la entidad que la invoca. A su vez la Factory implementa el patrón Singleton, por lo que puede ser instanciada de forma estática.

A continuación se muestra un diagrama de clases con la Factory y las cuatro interfaces.



Factory Prescripciones

La Factory *Prescripciones* implementa el patrón Singleton por lo que es necesario invocar el método estático *getInstance()* para obtener una instancia de la misma.

Contiene 4 métodos, cada uno de los cuales retorna una instancia que implementa la interfaz correspondiente. Los métodos son:

```
getModeloController(): IModeloController
getConfigController(): IConfigController
getIdatosController(): IDatosController
getIReporteController(): IReporteController
```

A continuación describiremos las interfaces, cada una con sus métodos.

IConfigController

Esta interfaz tiene como entidad de dominio la configuración de la aplicación y existe como interfaz pública solamente para uso de la aplicación gráfica entregada con el Proyecto. No es necesario importarla para realizar una prescripción.

IDatosController

Esta interfaz implementa las operaciones de lectura y escritura sobre del datatype *DataArchivoDatos*. Como se detalló anteriormente, este datatype encapsula la información necesaria para realizar una prescripción. La interfaz presenta 2 operaciones para leer y escribir una instancia de *DataArchivoDatos* desde y hacia un archivo respectivamente.

A continuación se muestran los contratos para estas operaciones.

Operación	void EscribirArchivoDatos(String ruta, DataArchivoDatos data)
Entrada	Un String con la ruta donde se va a escribir el archivo de datos y el datatype con la información del archivo de datos.
Salida	No tiene.
Descripción	Se escribe en un archivo a partir de la información ingresada en el datatype DataArchivoDatos en un archivo en la ruta especificada por el String ruta. La ruta puede ser absoluta o relativa; en caso de ser relativa (solamente un nombre) el archivo se generará al mismo nivel que la instancia ejecutable que lo está invocando.
Excepciones	NoDataFile: Cualquier error al crear el archivo. IncorrectData: Cualquier error en los datos.

Precondiciones y Postcondiciones

<p>Pre:</p> <p>Los datos ingresados son correctos. La ruta es válida en el sistema.</p> <p>Post:</p> <p>Se obtiene la información del datatype pasado como parámetro y se guarda en el archivo indicado.</p>
--

Operación	DataArchivoDatos CargarArchivoDatos(String ruta)
Entrada	La ruta del archivo de datos.
Salida	Un datatype con la información del archivo de datos.
Descripción	Se lee de un archivo la información para crear el datatype DataArchivoDatos.
Excepciones	NoDataFile: No existe el archivo de datos. IncorrectData: El archivo es corrupto.

Precondiciones y Postcondiciones

<p>Pre:</p> <p>Existe el archivo. Los datos del archivo son correctos.</p> <p>Post:</p> <p>Se crea un datatype con la información del archivo.</p>
--

IModeloController

Esta interfaz proporciona 2 operaciones directamente relacionados con la generación de la prescripción de fertilización. Debido a la necesidad de comunicarse con una biblioteca externa como es GAMS se requieren 2 operaciones para realizar la prescripción. Primero se debe crear el modelo de GAMS con los datos para posteriormente invocar al solver con el modelo creado. A continuación se muestran los contratos de ambas operaciones.

Operación	String CrearGAMS(DataArchivoDatos data)
Entrada	Un datatype con la información del archivo de datos.
Salida	La ruta de donde se encuentra el archivo de GAMS.
Descripción	Se crea un archivo de modelo de GAMS a partir del datatype DataArchivoDatos pasado como parámetro y se retorna la ruta al archivo recién creado. Esta ruta deberá ser pasada como parámetro en la función <i>EjecutarGAMS</i> que se describe en el siguiente contrato.
Excepciones	NoDataFile: Error al crear el archivo. IncorrectData: Los datos ingresados son incorrectos.

Precondiciones y Postcondiciones

Pre:
 Los datos ingresados son correctos.

Post:
 Se crea un archivo de modelo de GAMS con la información del datatype ingresado y se devuelve la ruta donde se creó.

Operación	DataReporte EjecutarGAMS(DataArchivoDatos data, String ruta)
Entrada	Un datatype con la información del archivo de datos y un String con la ruta donde se encuentra el archivo GAMS a ejecutar.
Salida	Un datatype DataReporte con la información generada.
Descripción	Se ejecuta GAMS con el archivo de modelo de GAMS para los datos pasados como parámetro, y se genera un datatype DataReporte con la solución obtenida con GAMS. La ruta debe ser obtenida con el método <i>CrearGams</i> .
Excepciones	NoDataFile: No existe el archivo de modelo de GAMS. IncorrectData: Los datos ingresados son incorrectos. NoSolver: No se puede encontrar o conectar a GAMS. NoSolFile: GAMS no generó un archivo de salida para la ejecución. IncorrectSolFile: El archivo de salida no tiene el formato esperado.

Precondiciones y Postcondiciones

Pre:
 Los datos ingresados son correctos.
 Existe el archivo de modelo de GAMS.

Post:
 Se ejecuta GAMS con el archivo de modelo de GAMS para el cultivo y etapa ingresados, y se genera un datatype DataReporte con la solución obtenida con GAMS.
 El archivo GAMS es eliminado.

IReporteController

Esta interfaz encapsula las operaciones de lectura y escritura de un reporte desde y hacia un archivo respectivamente. A continuación se muestran los contratos de las operaciones.

Operación	DataReporte LeerReporte(String ruta)
Entrada	Un String con la ruta del archivo de reporte.
Salida	Un datatype DataReporte con la información del archivo.
Descripción	Se obtiene la información del archivo de reporte y se carga en el datatype de salida.
Excepciones	NoReporteFile: No existe el archivo de reporte. IncorrectReporteFile: El archivo es corrupto.

Precondiciones y Postcondiciones

Pre:
 Existe el archivo de reporte y los datos son correctos.

Post:
 Se obtiene la información del archivo y se guarda en el datatype DataReporte.

Operación	void EscribirReporte(DataReporte reporte, String ruta)
Entrada	Un datatype DataReporte con la información a guardar y un String con la ruta del archivo de reporte.
Salida	No tiene.
Descripción	Se obtiene la información del datatype DataReporte y se escribe en el archivo indicado.
Excepciones	NoReporteFile: Cualquier error al crear el archivo. IncorrectReporteFile: El reporte no es válido.

Precondiciones y Postcondiciones

<p>Pre: Los datos ingresados son correctos. La ruta es válida en el sistema.</p> <p>Post: Se obtiene la información del datatype pasado como parámetro y se guarda en el archivo indicado.</p>
--

7.4 Formato de los Archivos

En esta sección se describen los formatos físicos de los archivos manejados por la biblioteca. Existen 2 tipos de archivo relevantes a una prescripción, el archivo de datos y el archivo del reporte.

Archivo de Datos

Este archivo refleja el contenido del datatype *DataArchivoDatos*. Es un archivo de texto plano donde se tiene un dato por línea con el siguiente formato.

Esquema del Archivo	Dato	Tipo																					
XXX	Nombre_Cultivo: XXX	String																					
XXX	Etapa: XXX	String																					
Y	AP: Y	1:AP, 0: Sin AP																					
Y	Laboreo : Y	0: SD, 1: LC																					
Y	Liquido : Y	1:Líquido, 0: Sólido																					
	Línea en blanco																						
Y	CantidadFertilizantes: Y	Integer																					
YYY	Tope_A_Aplicar_N: YYY	Float (Unidad: Kg./Ha.)																					
YYY	Tope_A_Aplicar_P: YYY	Float (Unidad: Kg./Ha.)																					
	Línea en blanco																						
XXX Y YYY YYY YYY	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nombre (String)</th> <th>Liquido? (1:Líquido, 0:Sólido)</th> <th>CantP (Kg P /Kg)</th> <th>CantN (Kg N/Kg)</th> <th>Precio (\$/Kg)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>XXX</td> <td>Y</td> <td>YYY</td> <td>YYY</td> <td>YYY</td> </tr> <tr> <td>...</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Nombre (String)	Liquido? (1:Líquido, 0:Sólido)	CantP (Kg P /Kg)	CantN (Kg N/Kg)	Precio (\$/Kg)	XXX	Y	YYY	YYY	YYY	...											
Nombre (String)	Liquido? (1:Líquido, 0:Sólido)	CantP (Kg P /Kg)	CantN (Kg N/Kg)	Precio (\$/Kg)																			
XXX	Y	YYY	YYY	YYY																			
...																							
	Línea en blanco																						
Y	CantZonasManejo: Y	Integer																					
YYY	CantHectareas: YYY	Float																					
	Línea en blanco																						
Y YYY YYY YYY YYY YYY Y	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Zona (Int)</th> <th>PSuelo (Kg./Ha.)</th> <th>NSuelo (Kg./Ha.)</th> <th>Hectáreas (Ha.)</th> <th>NPlanta (g .N por Kg. MS)</th> <th>RPot (Kg./Ha.)</th> <th>Tipo de Suelo (0: arenoso, 1:pesado, 2: mezcla)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Y</td> <td>YYY</td> <td>YYY</td> <td>YYY</td> <td>YYY</td> <td>YYY</td> <td>Y</td> </tr> <tr> <td>...</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Zona (Int)	PSuelo (Kg./Ha.)	NSuelo (Kg./Ha.)	Hectáreas (Ha.)	NPlanta (g .N por Kg. MS)	RPot (Kg./Ha.)	Tipo de Suelo (0: arenoso, 1:pesado, 2: mezcla)	Y	YYY	YYY	YYY	YYY	YYY	Y	...							
Zona (Int)	PSuelo (Kg./Ha.)	NSuelo (Kg./Ha.)	Hectáreas (Ha.)	NPlanta (g .N por Kg. MS)	RPot (Kg./Ha.)	Tipo de Suelo (0: arenoso, 1:pesado, 2: mezcla)																	
Y	YYY	YYY	YYY	YYY	YYY	Y																	
...																							
	Línea en blanco																						
YYY	Presupuesto: YYY	Float																					
YYY	Precio_Cultivo: YYY	Float																					

YYY	Costo_Muestra_AP: YYY	Float (Unidad: \$/Ha)
YYY	Costo_Muestra_SAP: YYY	Float (Unidad: \$/Ha)
YYY	Costo_Fert_Liq_AP: YYY	Float (Unidad: \$/Ha)
YYY	Costo_Fert_Liq_SAP: YYY	Float (Unidad: \$/Ha)
YYY	Costo_Fert_Sol_AP: YYY	Float (Unidad: \$/Ha)
YYY	Costo_Fert_Sol_SAP: YYY	Float (Unidad: \$/Ha)
YYY	Costo_Foliar_AP: YYY	Float (Unidad: \$/Ha)
YYY	Costo_Foliar_SAP: YYY	Float (Unidad: \$/Ha)

A continuación se muestra un ejemplo de archivo de datos para facilitar su comprensión

Archivo	Dato					Tipo	
Trigo	Nombre_Cultivo: XXX					String	
Siembra	Etapa: XXX					String	
0	AP: Y					1:AP, 0: Sin AP	
0	Laboreo : Y					0: SD, 1: LC	
0	Liquido : Y					1:Líquido, 0: Sólido	
Línea en blanco							
3	CantidadFertilizantes: Y					Integer	
60	Tope_A_Aplicar_N: YYY					Float (Unidad: Kg./Ha.)	
20	Tope_A_Aplicar_P: YYY					Float (Unidad: Kg./Ha.)	
Línea en blanco							
Binario 0 0,46 0,18 0,65	Nombre (String)	Liquido? (1:Líquido, 0:Sólido)	CantP (Kg. P /Kg.)	CantN (Kg. N/Kg.)	Precio (\$/Kg.)		
UREA 0 0 0,46 0,505	XXX	Y	YYY	YYY	YYY		
P-simple 0 0,23 0 0,29	...						
Línea en blanco							
1	CantZonasManejo: Y					Integer	
35,53	CantHectareas: YYY					Float	
Línea en blanco							
1 41,19 36,7 35,53 19,53 3384	Zona (Int)	PSuelo (Kg./Ha.)	NSuelo (Kg./Ha.)	Hectáreas (Ha.)	NPlanta (g. N por Kg. MS)	RPot (Kg./ Ha.)	Tipo de Suelo (0:arenoso, 1:pesado, 2: mezcla)
2	Y	YYY	YYY	YYY	YYY	YYY	Y
Línea en blanco							
2290	Presupuesto: YYY					Float	
0,193	Precio_Cultivo: YYY					Float	
7,32	Costo_Muestra_AP: YYY					Float (Unidad: \$/Ha.)	
0,25	Costo_Muestra_SAP: YYY					Float (Unidad: \$/Ha.)	
5,88	Costo_Fert_Liq_AP: YYY					Float (Unidad: \$/Ha.)	
5	Costo_Fert_Liq_SAP: YYY					Float (Unidad: \$/Ha.)	
5,78	Costo_Fert_Sol_AP: YYY					Float (Unidad: \$/Ha.)	
5	Costo_Fert_Sol_SAP: YYY					Float (Unidad: \$/Ha.)	
11,58	Costo_Foliar_AP: YYY					Float (Unidad: \$/Ha.)	
0,36	Costo_Foliar_SAP: YYY					Float (Unidad: \$/Ha.)	

Archivo del Reporte

El archivo del reporte es un archivo XML que describe la información del datatype.

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<reporte>
  <cantidadZ>Y</cantidadZ>
  <nrosZ>
    <nro>Y</nro>
    .....
  </nrosZ>
  <hectareas>
    <canth>YYY</canth>
    .....
  </hectareas>
  <cantidadI>Y</cantidadI>
  <nombresI>
    <nom>XXX</nom>
    .....
  </nombresI>
  <cultivo>XXX</cultivo>
  <etapa>XXX</etapa>
  <fecha>XXX</fecha>
  <ap>XXX</ap>
  <lc>XXX</lc>
  <cantidadn>
    <elemn>YYY</elemn>
    .....
  </cantidadn>
  <cantidadp>
    <elemn>YYY</elemn>
    .....
  </cantidadp>
  <rendimiento>
    <elemr>YYY</elemr>
    .....
  </rendimiento>
  <rendtotal>YYY</rendtotal>
  <zona-insumo>
    <zona>
      <insumo>
        <elemzi>YYY</elemzi>
      </insumo>
      .....
    </zona>
    .....
  </zona-insumo>
  <totalinsumo>
    <elemti>YYY</elemti>
    .....
  </totalinsumo>
  <costototal>YYY</costototal>
  <ganancia>YYY</ganancia>
  <beneficio>YYY</beneficio>
  <solucion>YYY</solucion>
  <maxbeneficio>YYY</maxbeneficio>
</reporte>
```

A continuación mostramos un ejemplo del archivo para facilitar su comprensión.

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<reporte>
  <cantidadZ>3</cantidadZ>
  <nrosZ>
    <nro>1</nro>
    <nro>2</nro>
    <nro>3</nro>
  </nrosZ>
  <hectareas>
    <canth>14,24</canth>
```

```

<canth>17,37</canth>
<canth>3,92</canth>
</hectareas>
<cantidadl>3</cantidadl>
<nombresl>
  <nom>Binario</nom>
  <nom>P-simple</nom>
  <nom>UREA</nom>
</nombresl>
<cultivo>Trigo</cultivo>
<etapa>Z22</etapa>
<fecha>07/02/2008 12:00:00 a.m.</fecha>
<ap>True</ap>
<lc>True</lc>
<cantidadn>
  <elemn>292,72</elemn>
  <elemn>308,48</elemn>
  <elemn>23,99</elemn>
</cantidadn>
<cantidadp>
  <elempl>284,8</elempl>
  <elempl>347,4</elempl>
  <elempl>78,4</elempl>
</cantidadp>
<rendimiento>
  <elemr>3678,9</elemr>
  <elemr>3634,15</elemr>
  <elemr>3447,92</elemr>
</rendimiento>
<rendtotal>3631,54</rendtotal>
<zona-insumo>
  <zona>
    <insumo>
      <elemzi>619,13</elemzi>
    </insumo>
    <insumo>
      <elemzi>0</elemzi>
    </insumo>
    <insumo>
      <elemzi>394,09</elemzi>
    </insumo>
  </zona>
  <zona>
    <insumo>
      <elemzi>755,22</elemzi>
    </insumo>
    <insumo>
      <elemzi>0</elemzi>
    </insumo>
    <insumo>
      <elemzi>375,09</elemzi>
    </insumo>
  </zona>
  <zona>
    <insumo>
      <elemzi>133,29</elemzi>
    </insumo>
    <insumo>
      <elemzi>74,3</elemzi>
    </insumo>
    <insumo>
      <elemzi>0</elemzi>
    </insumo>
  </zona>
</zona-insumo>
<totalinsumo>
  <elemti>1507,64</elemti>
  <elemti>74,3</elemti>
  <elemti>769,18</elemti>
</totalinsumo>
<costototal>1855,39</costototal>

```

```
<ganancia>24902,53</ganancia>
<beneficio>23047,14</beneficio>
<solucion>True</solucion>
<maxbeneficio>True</maxbeneficio>
</reporte>
```

7.5 Consideraciones para Trigo

7.5.1 Etapa Siembra

No se consideran en la resolución del problema los valores de: *Nivel N en Planta* y *Tipo de Suelo* de cada zona. Los resultados obtenidos en el Reporte son producto de maximizar el beneficio económico.

7.5.2 Etapa Z₂₂

No se consideran en la resolución del problema los valores de: *Nivel P* (en el suelo), *Nivel N en Planta*, *Rendimiento* y *Tipo de Suelo* de cada zona. El *Tope P* hace referencia a la cantidad exacta que se desea agregar de P. Los resultados obtenidos en el Reporte son producto de maximizar el beneficio económico.

7.5.3 Etapa Z₃₀

No se consideran en la resolución del problema los valores ingresados de: *Nivel N* (en el suelo), *Nivel P* (en el suelo) y *Tipo de Suelo* de cada zona. El *Tope P* hace referencia a la cantidad exacta que se desea agregar de P. Los resultados obtenidos en el Reporte son producto de maximizar el beneficio económico.

7.6 Consideraciones para Cebada

7.6.1 Etapa Siembra

No se consideran en la resolución del problema los valores de: *Nivel N en Planta* y *Tipo de Suelo* de cada zona.

Los resultados obtenidos en el Reporte son producto de maximizar el beneficio económico.

7.6.2 Etapa Z₂₂

No se consideran en la resolución del problema los valores de: *Nivel P* (en el suelo), *Nivel N en Planta*, *Rendimiento* y *Tipo de Suelo* de cada zona. El *Tope P* hace referencia a la cantidad exacta que se desea agregar de P. Los resultados obtenidos en el Reporte son producto de maximizar el beneficio económico.

7.6.3 Etapa Z₃₀

No se consideran en la resolución del problema los valores de: *Nivel N* (en el suelo), *Nivel P* (en el suelo) y *Tipo de Suelo* de cada zona. El *Tope P* hace referencia a la cantidad exacta que se desea agregar de P. Los resultados obtenidos en el Reporte son producto de maximizar el beneficio económico.

7.7 Consideraciones para Soja

7.7.1 Etapa Siembra

No se consideran en la resolución del problema los valores de: *Laboreo*, *Tope N*, *Nivel N* de cada fertilizante, y, *Nivel N* (en el suelo), *Nivel N en Planta* y *Rendimiento* de cada zona. Los resultados obtenidos en el Reporte son producto de maximizar el beneficio económico.

7.8 Consideraciones para Maíz

7.8.1 Etapa Siembra

No se consideran en la resolución del problema los valores de: *Laboreo*, y, *Nivel N en Planta* y *Tipo de Suelo* de cada zona. Los resultados obtenidos en el Reporte son producto de minimizar el costo total.

7.8.2 Etapa V5V6

No se consideran en la resolución del problema los valores de: *Laboreo*, *y*, *Nivel P* (en el suelo), *Nivel N en Planta*, *Rendimiento* y *Tipo de Suelo* de cada zona. El *Tope P* hace referencia a la cantidad exacta que se desea agregar de P. Los resultados obtenidos en el Reporte son producto de minimizar el costo total.

7.9 Consideraciones Generales

- La herramienta incorpora el concepto de moneda de forma genérica y no hace referencia a ninguna moneda en particular. Se debe tener en cuenta, al ingresar los datos de precio, costos y presupuesto en el Editor de Datos, que estén en la misma moneda. Los resultados de la prescripción de fertilización desplegados en el Reporte estarán en la moneda de los valores ingresados en el Editor de Datos.
- Tratamiento sin AP: tomar 1 zona de manejo (toda la chacra) y utilizar como costo de producción el costo de manejo de 1 zona.
- Tratamiento con AP: tomar *n* zonas de manejo tomando el costo de manejo de *n* zonas.
- Para el uso de la biblioteca es conveniente configurar la aplicación que la utiliza para que maneje siempre la internacionalización de Uruguay, es-UY, lo que se logra con el siguiente código al comienzo de la aplicación principal.

```
Thread.CurrentThread.CurrentCulture=CultureInfo.CreateSpecificCulture("es-UY");  
Thread.CurrentThread.CurrentUICulture = new CultureInfo("es-UY");
```

Esto se debe a la forma en que los diferentes idiomas en los equipos representan el punto decimal. Por ejemplo para español-Uruguay el punto decimal es la coma, mientras que para Ingles-EEUU es el punto.

7.10 Creación de un Proyecto utilizando la Aplicación

Paso 1 – Crear el Proyecto

Creo un proyecto de tipo aplicación de consola. Es lo mismo para cualquier otro proyecto. En este caso el proyecto se llama “ConexiónPrescripciones”. Elegimos un proyecto de tipo de “Aplicación de Consola” por simplicidad ya que el procedimiento es el mismo para una aplicación de tipo “WinForms”. Esto visualiza en la Figura 7.9.1.

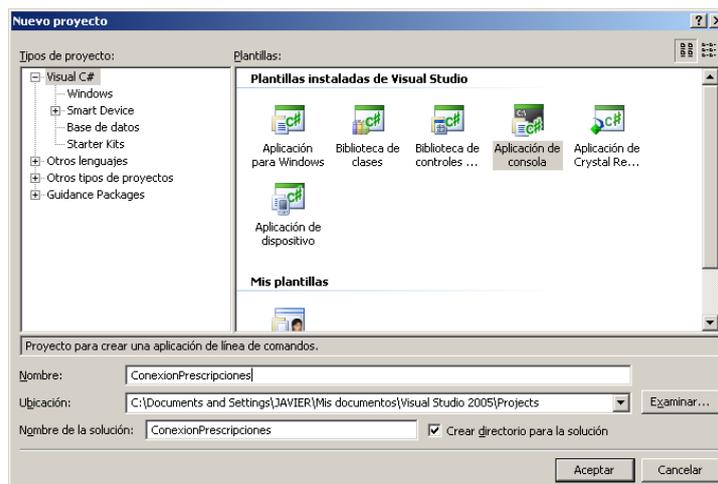


FIGURA 7.9.1: PASO 1.

Paso 2 – Copiar la DLL al Proyecto

Ubicar el archivo “BibliotecaPrescripciones.dll” en el directorio “Distribución” y copiarlo al proyecto

haciendo click derecho en el proyecto y “Pegar”. En la Figura 7.9.2 se visualiza una imagen del proyecto con la biblioteca incluida.

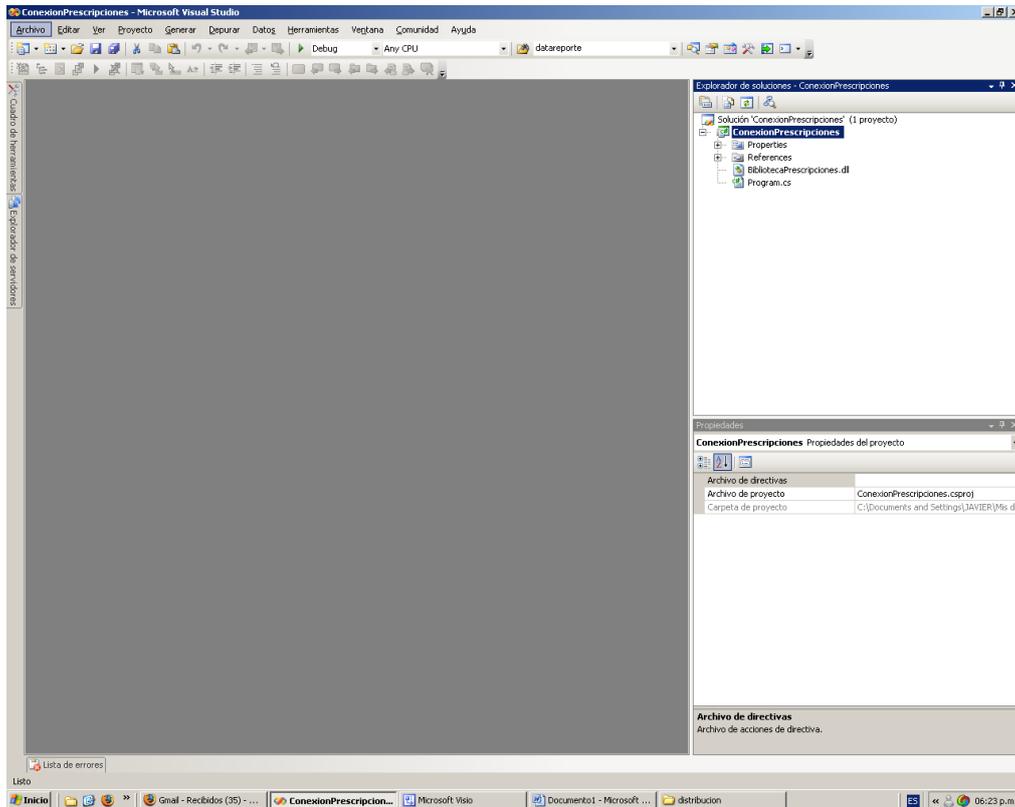


FIGURA 7.9.2: PASO 2.

Paso 3 – Agregar una Referencia en el Proyecto

Hacemos click derecho en el proyecto y seleccionamos “Agregar Referencia” tal como se muestra en la Figura 7.9.3.

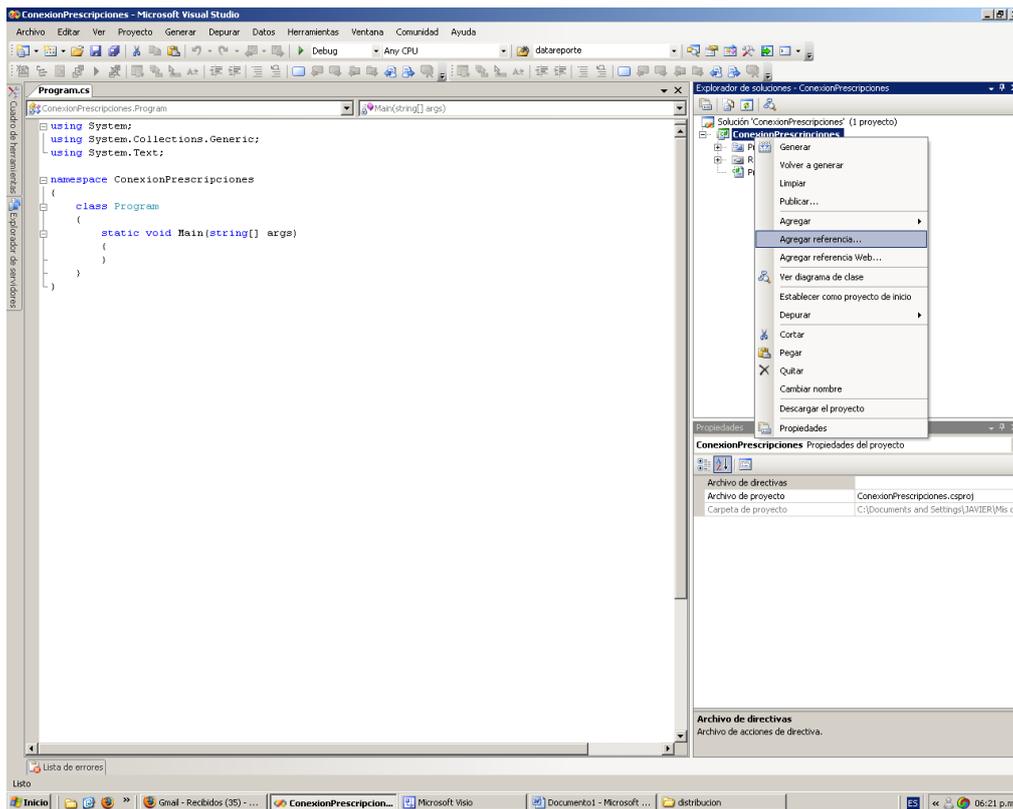


FIGURA 7.9.3: PASO 3.

Navegamos hasta el directorio donde está el proyecto (por defecto: “mis documentos\visual Studio\ proyectos\conexión prescripciones”) y seleccionamos el archivo “BibliotecaPrescripciones.dll”, como se visualiza en la Figura 7.9.4.

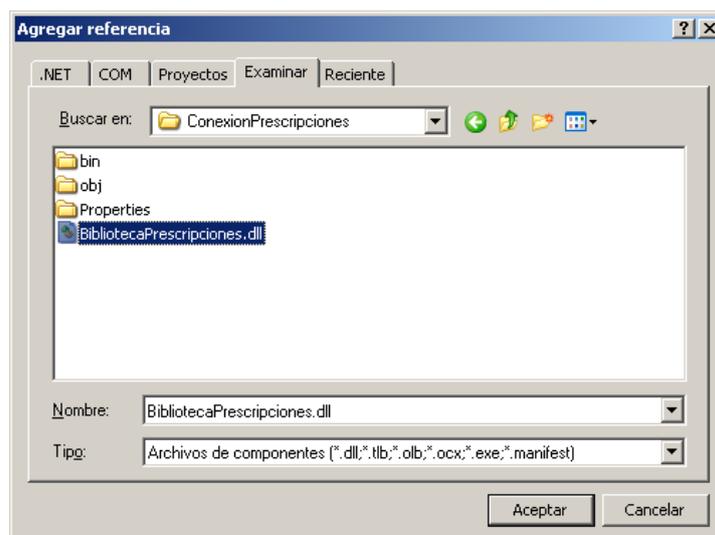


FIGURA 7.9.4: PASO 3.

Copio los directorios “Gams”, “tmp” y “Esqueletos” a la aplicación ya que son utilizados por la biblioteca. La solución debe quedar como se visualiza en la Figura 7.9.5.

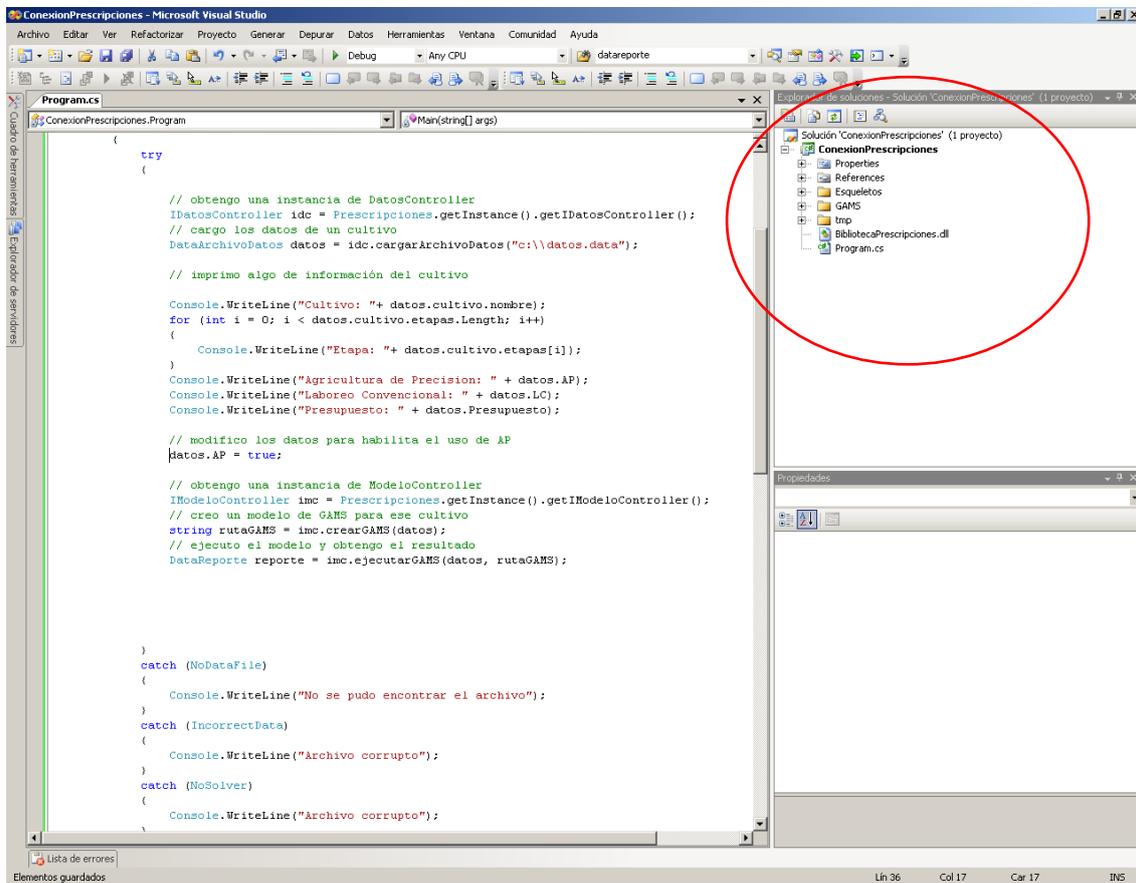


FIGURA 7.9.5: SOLUCIÓN.

De esta forma tenemos un proyecto de MS Visual Studio pronto para hacer uso de la biblioteca.

7.11 Ejemplo 1 – Cargar Datos

En este ejemplo vamos a invocar a la biblioteca para leer un archivo de datos existente y posteriormente y desplegar información de los datos como ser el cultivo, etapa, presupuesto, etc.

El primer paso es importar los componentes que necesitamos. Para utilizar la biblioteca siempre es necesario importar:

- *BibliotecaPrescripciones.DataTypes*: contiene las definiciones de todos los datatypes como por ejemplo DataReporte.
- *BibliotecaPrescripciones.Excepciones*: contiene las definiciones de las Excepciones definidas para la aplicación.
- *BibliotecaPrescripciones.Interfaces.Public*: contiene las interfaces de los controladores de la biblioteca.
- *BibliotecaPrescripciones.Logica*: Contiene la Factory de los controladores.

El código queda de la siguiente forma:

```
using BibliotecaPrescripciones.DataTypes;
using BibliotecaPrescripciones.Excepciones;
using BibliotecaPrescripciones.Interfaces.Public;
using BibliotecaPrescripciones.Logica;
```

Lo que hacemos a continuación es obtener una instancia del controlador de datos (DatosController) e invocar la lectura de un archivo de datos. Es importante utilizar try/catch para capturar cualquier excepción de la biblioteca. Las excepciones de cada operación se detallan al principio del Anexo.

```
(1) IDatosController idc = Prescripciones.GetInstance().getIDatosController();
```

```
(2) DataArchivoDatos datos = idc.cargarArchivoDatos("c:\\datos.data");
```

En (1) obtenemos una instancia del controlador de datos. Con la referencia al controlador invocamos la operación que carga un archivo de datos (2). La operación recibe como parámetro la ruta al archivo con la información. Por simplicidad le pasamos como ruta a un archivo existente (*c:\datos.data*). Al finalizar la operación (2) tendremos una instancia del archivo de datos en memoria.

Por ejemplo podemos imprimir algo de la información del datatype. Vamos a imprimir, el cultivo que tiene el archivo de datos, las etapas, debería haber solamente 1 pero de todas formas iteramos en el array de etapas. Posteriormente, imprimimos el manejo, el laboreo y el presupuesto.

```
Console.WriteLine("Cultivo: "+ datos.cultivo.nombre);
for (int i = 0; i < datos.cultivo.etapas.Length; i++)
{
    Console.WriteLine("Etapa: "+ datos.cultivo.etapas[i]);
}

Console.WriteLine("Agricultura de Precision: " + datos.AP);
Console.WriteLine("Laboreo Convencional: " + datos.IC);
Console.WriteLine("Presupuesto: " + datos.Presupuesto);
```

Ahora revisamos la documentación y agregamos las excepciones correspondientes:

- **NoDataFile**: si no se pudo encontrar o abrir el archivo especificado como parámetro.
- **IncorrectData**: si el archivo esta corrupto o no contiene la información necesaria.
- **Exception**: Esta la agregamos como buena práctica de programación para capturar cualquier excepción inesperada en la aplicación.

Ejemplo1: a continuación se muestra el código completo del ejemplo.

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Text;

using BibliotecaPrescripciones.DataTypes;
using BibliotecaPrescripciones.Excepciones;
using BibliotecaPrescripciones.Interfaces.Public;
using BibliotecaPrescripciones.Logica;

namespace ConexionPrescripciones
{
    class Program
    {
        static void Main(string[] args)
        {
            try
            {

                // obtengo una instancia de DatosController
                IDatosController idc = Prescripciones.GetInstance().getIDatosController();
                // cargo los datos de un cultivo
                DataArchivoDatos datos = idc.cargarArchivoDatos("c:\\datos.data");

                // imprimo algo de información del cultivo

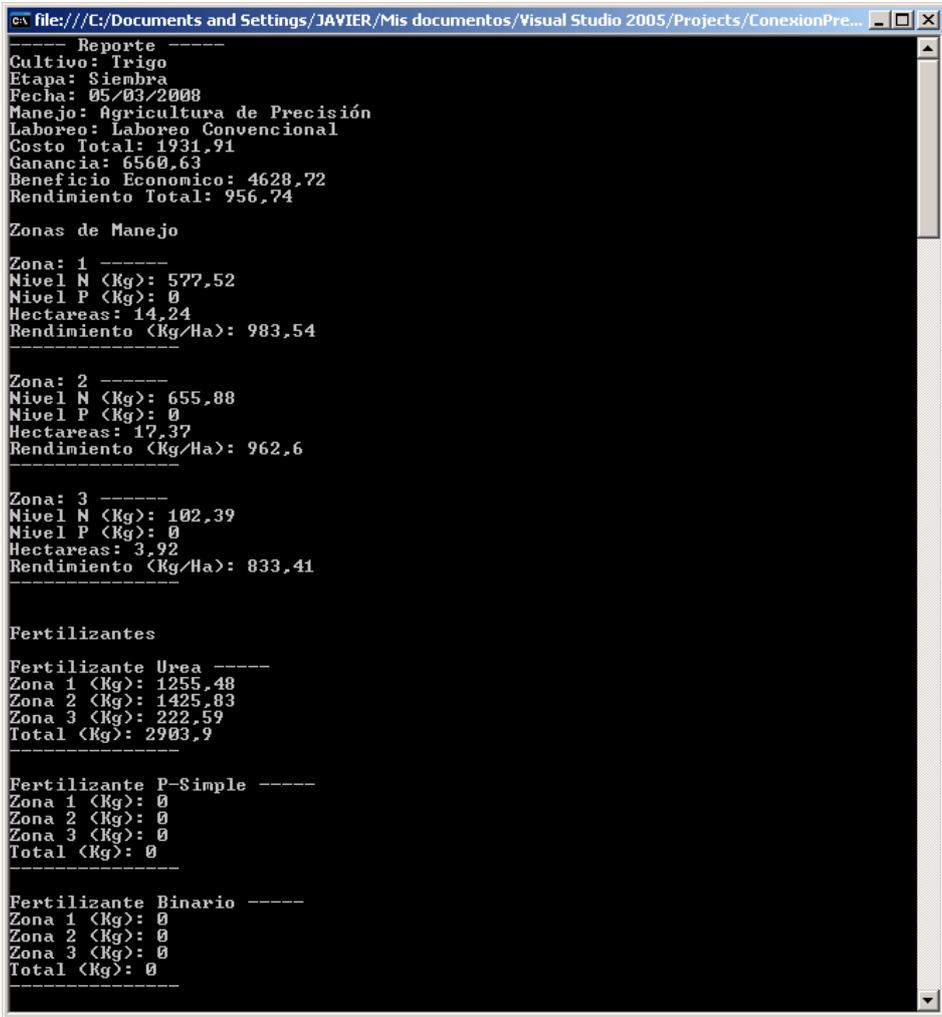
                Console.WriteLine("Cultivo: " + datos.cultivo.nombre);
                for (int i = 0; i < datos.cultivo.etapas.Length; i++)
                {
                    Console.WriteLine("Etapa: " + datos.cultivo.etapas[i]);
                }
                Console.WriteLine("Agricultura de Precision: " + datos.AP);
                Console.WriteLine("Laboreo Convencional: " + datos.LC);
                Console.WriteLine("Presupuesto: " + datos.Presupuesto);

            }
            catch (NoDataFile)
            {
                Console.WriteLine("No se pudo encontrar el archivo");
            }
            catch (IncorrectData)
            {
                Console.WriteLine("Archivo corrupto");
            }
            catch (Exception ex)
            {
                Console.WriteLine("Excepcion no manejada: " + ex.ToString() );
            }

            Console.WriteLine("fin de la prueba");
        }
    }
}
```

7.12 Ejemplo 2 – Generación de una Prescripción

En este ejemplo vamos a invocar a la biblioteca para generar una prescripción pasándole como parámetro una instancia de *DataArchivoDatos* creada vía programación. Una vez obtenida la instancia del reporte se iterara en el datatype e imprimirá los resultados. El resultado se muestra en la Figura 7.11.1.



```
file:///C:/Documents and Settings/JAVIER/Mis documentos/Visual Studio 2005/Projects/ConexionPre...
----- Reporte -----
Cultivo: Trigo
Etapa: Siembra
Fecha: 05/03/2008
Manejo: Agricultura de Precisión
Laboreo: Laboreo Convencional
Costo Total: 1931,91
Ganancia: 6560,63
Beneficio Economico: 4628,72
Rendimiento Total: 956,74

Zonas de Manejo

Zona: 1 -----
Nivel N (Kg): 577,52
Nivel P (Kg): 0
Hectareas: 14,24
Rendimiento (Kg/Ha): 983,54

Zona: 2 -----
Nivel N (Kg): 655,88
Nivel P (Kg): 0
Hectareas: 17,37
Rendimiento (Kg/Ha): 962,6

Zona: 3 -----
Nivel N (Kg): 102,39
Nivel P (Kg): 0
Hectareas: 3,92
Rendimiento (Kg/Ha): 833,41

Fertilizantes

Fertilizante Urea -----
Zona 1 (Kg): 1255,48
Zona 2 (Kg): 1425,83
Zona 3 (Kg): 222,59
Total (Kg): 2903,9

Fertilizante P-Simple -----
Zona 1 (Kg): 0
Zona 2 (Kg): 0
Zona 3 (Kg): 0
Total (Kg): 0

Fertilizante Binario -----
Zona 1 (Kg): 0
Zona 2 (Kg): 0
Zona 3 (Kg): 0
Total (Kg): 0
```

FIGURA 7.11.1 – SALIDA DEL EJEMPLO 2

Al igual que en el ejemplo anterior se importan los 4 componentes (Lógica, datatypes, Excepciones e Interfaces). Se comienza por obtener una instancia de *ModeloController* e invocar a la función *CrearDataArchivoDatos()* (1). Esta función crea una instancia completa de *DataArchivoDatos* vía código y le carga algunos datos de referencia.

```
(1) DataArchivoDatos datos = p.CrearDataArchivoDatos();
```

Con la instancia de *DataArchivoDatos* cargado procedemos a generar una prescripción.

Para generar la prescripción debemos utilizar la interfaz *IModeloController*. Primero se invoca a la operación *CrearGams(...)* pasándole como parámetro la instancia de *DataArchivoDatos* recién creada (2). Si la operación fue exitosa retorna un string con la ruta al archivo donde se creó el modelo de GAMS. Con esa ruta y la instancia de *DataArchivoDatos* invocamos a la función *ejecutarGams(...)* la cual

retorna una instancia de *DataReporte* con la prescripción de fertilización (3).

```
(2) string ruta = mc.crearGAMS(datos);  
(3) DataReporte reporte = mc.ejecutarGAMS(datos, ruta);
```

A continuación recorreremos la instancia de *DataReporte* e imprimimos la información del mismo.

Es importante destacar algunos puntos:

- Se imprime solo en el caso que el atributo *encontroSolucion* este en True. Si su valor es False, debe descartarse toda la información del resto del datatype.

```
if (reporte.encontroSolucion){  
  ...  
}
```

- Como se menciona anteriormente, existen 2 tipos de modelos, los que maximizan el beneficio económico y los que minimizan el costo. Es importante chequear el valor del atributo *maximizaBE* para saber si tomar en cuenta los valores de: Rendimiento, Ganancia y Beneficio Económico.

```
if (reporte.maximizaBe){  
  ...  
}
```

Ejemplo2 – Generación de una Prescripción: a continuación se muestra el código completo del ejemplo.

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Text;

using BibliotecaPrescripciones.DataTypes;
using BibliotecaPrescripciones.Excepciones;
using BibliotecaPrescripciones.Interfaces.Public;
using BibliotecaPrescripciones.Logica;

namespace ConexionPrescripciones
{
    class Program
    {
        static void Main(string[] args)
        {
            try
            {
                Program p = new Program();

                IModeloController mc=Prescripciones.getInstance().getIModeloController();

                DataArchivoDatos datos = p.CrearDataArchivoDatos();
                string ruta = mc.crearGAMS(datos);
                DataReporte reporte = mc.ejecutarGAMS(datos, ruta);

                if (reporte.encontroSolucion)
                {
                    Console.WriteLine("----- Reporte -----");
                    Console.WriteLine("Cultivo: " + reporte.cultivo);
                    Console.WriteLine("Etapas: " + reporte.etapas);
                    Console.WriteLine("Fecha: " + reporte.fecha.ToString("dd/MM/yyyy"));

                    if (reporte.AP)
                        Console.WriteLine("Manejo: Agricultura de Precisión");
                    else
                        Console.WriteLine("Manejo: SIN Agricultura de Precisión");

                    if (reporte.IC)
                        Console.WriteLine("Laboreo: Laboreo Convencional");
                    else
                        Console.WriteLine("Laboreo: Siembra Directa");

                    Console.WriteLine("Costo Total: " + reporte.costoTotal.ToString());
                    if (reporte.maximizaBe)
                    {
                        Console.WriteLine("Ganancia: " + reporte.ganancia.ToString());
                        Console.WriteLine("Beneficio Economico: "
                            + reporte.beneficioEconomico.ToString());
                        Console.WriteLine("Rendimiento Total: " +
                            reporte.rendimiento.ToString());
                    }

                    Console.WriteLine("");
                    Console.WriteLine("Zonas de Manejo");
                    Console.WriteLine("");
                    for (int z = 0; z < reporte.cantidadZonas; z++)

```

```

        {
            Console.WriteLine("Zona: " + reporte.nroZonas[z]+ " -----");
            Console.WriteLine("Nivel N (Kg): "+reporte.cantidadN[z]);
            Console.WriteLine("Nivel P (Kg): "+ reporte.cantidadP[z]);
            Console.WriteLine("Hectareas: "+ reporte.hectareasZ[z]);
            if (reporte.maximizaBe)
                Console.WriteLine("Rendimiento (Kg/Ha): "+reporte.rendimientoZona[z]);
            Console.WriteLine("-----");
            Console.WriteLine("");
        }

        Console.WriteLine("");
        Console.WriteLine("Fertilizantes ");
        Console.WriteLine("");
        for (int i = 0; i < reporte.cantidadInsumos; i++)
        {
            Console.WriteLine("Fertilizante "+reporte.nombresInsumos[i]+" -----");

            for (int z = 0; z < reporte.cantidadZonas; z++)
            {
                Console.WriteLine("Zona " + reporte.nroZonas[z] + " (Kg): "
                    +reporte.insumosZonas[z][i]);
            }

            Console.WriteLine("Total (Kg): "+ reporte.totalInsumo[i]);
            Console.WriteLine("-----");
            Console.WriteLine("");
        }

    }
    else
        Console.WriteLine("No se encontro solución");

}
catch (NoDataFile)
{
    Console.WriteLine("No se pudo encontrar el archivo");
}
catch (IncorrectData)
{
    Console.WriteLine("Archivo corrupto");
}
catch (NoSolver)
{
    Console.WriteLine("Archivo corrupto");
}
catch (IncorrectSolFile isf)
{
    Console.WriteLine("Existen errores al leer el archivo con la solucion");
}
catch (NoSolFile nsf)
{
    Console.WriteLine("No se puede encontrar el archivo con la solucion");
}
catch (Exception ex)
{
    Console.WriteLine("Excepcion no manejada: "+ ex.ToString() );
}

Console.WriteLine("fin de la prueba");
}

private DataArchivoDatos CrearDataArchivoDatos ()

```

```

{
    DataArchivoDatos data = new DataArchivoDatos();

    data.AP = true;
    data.CantidadFertilizantes = 3;
    data.CantidadHectareas = Convert.ToSingle(35.53);
    data.CantidadZonas = 3;

    data.cultivo = new DataCultivo();
    data.cultivo.nombre = "Trigo";
    data.cultivo.etapas = new string[1];
    data.cultivo.etapas[0] = "Siembra";
    data.cultivo.precio = Convert.ToSingle(0.193);

    data.fertilizantes = new DataFertilizante[data.CantidadFertilizantes];
    data.fertilizantes[0] = new DataFertilizante();
    data.fertilizantes[0].nombre = "Urea";
    data.fertilizantes[0].nivelN = Convert.ToSingle(0.46);
    data.fertilizantes[0].nivelP = 0;
    data.fertilizantes[0].precio = Convert.ToSingle(0.505);
    data.fertilizantes[0].liquido = false;

    data.fertilizantes[1] = new DataFertilizante();
    data.fertilizantes[1].nombre = "P-Simple";
    data.fertilizantes[1].nivelN = 0;
    data.fertilizantes[1].nivelP = Convert.ToSingle(0.23);
    data.fertilizantes[1].precio = Convert.ToSingle(0.29);
    data.fertilizantes[1].liquido = false;

    data.fertilizantes[2] = new DataFertilizante();
    data.fertilizantes[2].nombre = "Binario";
    data.fertilizantes[2].nivelN = Convert.ToSingle(0.18);
    data.fertilizantes[2].nivelP = Convert.ToSingle(0.46);
    data.fertilizantes[2].precio = Convert.ToSingle(0.65);
    data.fertilizantes[2].liquido = false;

    data.LC = true;
    data.Liquido = false;

    data.parametros = new DataParametro();
    data.parametros.CFLAP = Convert.ToSingle(5.88);
    data.parametros.CFLSAP = 5;
    data.parametros.CFoliarAP = Convert.ToSingle(11.58);
    data.parametros.CFoliarSAP = Convert.ToSingle(0.36);
    data.parametros.CFSAP = Convert.ToSingle(5.78);
    data.parametros.CFSSAP = 5;
    data.parametros.CMAP = Convert.ToSingle(7.32);
    data.parametros.CMSAP = Convert.ToSingle(0.25);
    data.parametros.topeN = 60;
    data.parametros.topeP = 60;

    data.Presupuesto = 2290;

    data.zonas = new DataZona[data.CantidadZonas];
    data.zonas[0] = new DataZona();
    data.zonas[0].hectareas = Convert.ToSingle(14.24);
    data.zonas[0].nivelN = Convert.ToSingle(32.88);
    data.zonas[0].nivelP = Convert.ToSingle(32.74);
    data.zonas[0].nivelNPlanta = Convert.ToSingle(40.6);
    data.zonas[0].numero = 1;
    data.zonas[0].rendimiento = Convert.ToSingle(2800);
    data.zonas[0].TipoSuelo = 2;

    data.zonas[1] = new DataZona();
    data.zonas[1].hectareas = Convert.ToSingle(17.37);

```

```
data.zonas[1].nivelN = Convert.ToSingle(34.74);
data.zonas[1].nivelP = Convert.ToSingle(43.23);
data.zonas[1].nivelNPlanta = Convert.ToSingle(38.9);
data.zonas[1].numero = 2;
data.zonas[1].rendimiento = Convert.ToSingle(3500);
data.zonas[1].TipoSuelo = 2;
```

```
data.zonas[2] = new DataZona();
data.zonas[2].hectareas = Convert.ToSingle(3.92);
data.zonas[2].nivelN = Convert.ToSingle(42.48);
data.zonas[2].nivelP = Convert.ToSingle(36.84);
data.zonas[2].nivelNPlanta = Convert.ToSingle(39.1);
data.zonas[2].numero = 3;
data.zonas[2].rendimiento = Convert.ToSingle(5000);
data.zonas[2].TipoSuelo = 2;
```

```
return data;
```

```
    }
}
```

8 Anexo 8 – Manual de Usuario

8.1 Introducción

Este prototipo sirve de apoyo a la toma de decisiones del agricultor. Permite generar una recomendación de fertilización maximizando el beneficio económico o minimizando los costos según datos ingresados por el usuario. A su vez permite guardar y abrir archivos con los datos ingresados y la recomendación de fertilización obtenida.

Este documento tiene como objetivo servir de guía para el uso de la aplicación. Está organizado en secciones. En la sección 2 se describen todas las opciones del menú. En las secciones 3, 4, 5 y 6 se detallan las consideraciones que hay que tener en cuenta cuando se trabaja en la aplicación con Trigo, Cebada, Soja y Maíz respectivamente. Finalmente en la sección 7 se describen las consideraciones generales que hay que tener en cuenta en el uso del sistema.

8.2 Opciones del menú

8.2.1 Modelo → Nueva Prescripción

Esta opción del menú abre el Editor de Datos. En la Figura 8.2.1.1 se puede observar esta opción en la aplicación.



FIGURA 8.2.1.1: MODELO → NUEVA PRESCRIPCIÓN.

8.2.1.1 Editor de Datos

En el mismo se ingresan todos los datos necesarios para generar una prescripción de fertilización.

Los datos del Editor de Datos son:

- El *Cultivo*, que debe ser Trigo, Cebada, Maíz (sin el tilde) o Soja.
- La *Etapa* para la cual se desea hacer la prescripción, que para Trigo y Cebada son Siembra, Z₂₂ o Z₃₀, para Maíz son Siembra y V5V6 y para Soja es Siembra.
- El *Precio* del cultivo por Kg.
- *Agricultura de Precisión*, que si está marcado significa que se usará Agricultura de Precisión y si no está marcado significa que no se usará.
- *Laboreo Convencional*, que si está marcado significa que se usará Laboreo Convencional y que si no está marcado significa que se usará siembra directa.
- *Tope P*, que es la cantidad máxima en Kg. que se va a permitir agregar de fósforo por hectárea.
- *Tope N*, que es la cantidad máxima en Kg. que se va a permitir agregar de Nitrógeno por hectárea.
- Los costos de varias actividades por hectárea, Costo de Muestreo con AP, Costo de Muestreo sin AP, Costo de Muestra Foliar con AP, Costo de Muestra Foliar sin AP, Costo de Fertilización Líquida con AP, Costo de Fertilización Líquida sin AP, Costo de Fertilización Sólida con AP y Costo de Fertilización Sólida sin AP.
- El *Presupuesto* disponible para la etapa.
- Los fertilizantes, los cuales tienen un nombre, un nivel de Nitrógeno (en Kg. de N por Kg. de fertilizante), un nivel de Fósforo (en Kg. de P por Kg. de fertilizante) y un precio expresado en \$/Kg.
- Las zonas de manejo, las cuales tienen un número que las identifica, el nivel de Nitrógeno del suelo (en Kg./Ha.), el nivel de Fósforo del suelo (en Kg./Ha.), el nivel de Nitrógeno en planta (g. N/Kg. MS), el rendimiento potencial (en Kg./Ha.), la cantidad de hectáreas y el tipo de suelo, que si es 0 significa arenoso, 1 pesado y 2 mezcla.

A la hora de generar una prescripción se puede tener en cuenta el rendimiento potencial del cultivo o el de la zona. En caso que se desee usar como dato el rendimiento potencial de una variedad de cultivo hay que ingresarlo en el rendimiento potencial de la zona poniendo el mismo valor para todas las zonas.

Cuando se abre por primera vez el Editor de Datos aparecen datos cargados por defecto. Los mismos son para facilitarle el ingreso al usuario.

En la Figura 8.2.2.1.1 se puede ver un ejemplo del Editor de Datos con algunos datos ingresados.

EditorDatos

Cultivo: Trigo, Etapa: Siembra, Precio: 0 \$/Kg

Agricultura de Precision
 Laboreo Convencional

Parametros

Tope P	0	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida con AP	5,88	\$/Ha
Tope N	0	Kg/Ha	Costo de Fertilización Líquida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestreo con AP	7,32	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida con AP	5,78	\$/Ha
Costo de Muestreo sin AP	0,25	\$/Ha	Costo de Fertilización Sólida sin AP	5	\$/Ha
Costo de Muestra Foliar con AP	11,58	\$/Ha	Presupuesto		\$
Costo de Muestra Foliar sin AP	0,36	\$/Ha			

Fertilizantes

Utilizar Fertilizantes Líquidos

	Nombre	Nivel N (Kg N/Kg)	Nivel P (Kg P/Kg)	Precio (\$/Kg)
▶	Binario	0,18	0,46	0,65
	P-simple	0	0,23	0,29
	UREA	0,46	0	0,505
*				

Zonas de Manejo

	Nro	Nivel N (Kg/Ha)	Nivel P (Kg/Ha)	Nivel N Planta (g N/Kg MS)	Rendimiento (Kg/Ha)	Hectareas	Tipo de S
*							

Cargar Datos Guardar Datos Generar Prescripción

FIGURA 8.2.2.1.1: EDITOR DE DATOS.

Si se selecciona *Utilizar Fertilizantes Líquidos* en la grilla de fertilizantes se muestran solo los fertilizantes líquidos y si no se selecciona, se muestran solo los sólidos.

Para agregar nuevos fertilizantes hay que hacer click en el último renglón de la grilla indicado con un "*" y luego sí ingresar los datos.

Para agregar una nueva zona de manejo se debe hacer lo mismo pero en la grilla de zonas de manejo. A su vez, las zonas de manejo se pueden eliminar, seleccionando la zona (haciendo click a la izquierda del número de zona) que queda marcada de color azul y luego presionando la tecla "Suprimir".

Opciones en el Editor de Datos:

Botón Guardar Datos:

Si se ingresan todos los datos y se seleccionan fertilizantes esta opción permite almacenar un archivo con todos los datos ingresados. Se deben seleccionar sólo fertilizantes líquidos o sólo fertilizantes sólidos. Se sugiere "data" como extensión del archivo. Para seleccionar fertilizantes se hace click a la izquierda del nombre del que se desea seleccionar y este queda marcado de color azul. Los marcados con azul son los seleccionados. Para seleccionar más de uno, se presiona la tecla "Control" y se hace un clic a la izquierda del nombre de los que se deseen seleccionar.

Botón Cargar Datos:

Permite elegir un archivo de datos para cargar en el Editor de Datos los datos que se encuentran en el archivo.

Botón Generar Prescripción:

Si se ingresan todos los datos y se seleccionan fertilizantes esta opción genera una prescripción de fertilización a partir de los datos ingresados. Se deben seleccionar sólo fertilizantes líquidos o sólo fertilizantes sólidos. Se despliega un Reporte con los resultados obtenidos. Si para los datos ingresados no es posible generar una prescripción el sistema despliega un mensaje informando lo ocurrido.

8.2.1.2 Reporte

Es obtenido a partir de los datos ingresados en el Editor de Datos y con la opción “Generar Prescripción” como se explicó en la sección del Editor de Datos, siendo el resultado de la prescripción de fertilización.

Los datos que se despliegan en el Reporte son:

- El nombre del *Cultivo*.
- La *Etapa* del cultivo.
- El *Manejo*, si fue con AP o sin AP.
- El *Laboreo*, si fue siembra directa o laboreo convencional.
- La *Fecha* en que se creó el reporte.
- Una tabla indicando para cada zona, el nivel de N en Kg. recomendado agregar en la zona, el nivel de P en Kg. recomendado agregar en la zona, la cantidad de hectáreas de la zona y si el cultivo es Trigo, Cebada o Soja, su rendimiento en Kg./Ha.
- Una tabla indicando para cada fertilizante elegido, la cantidad utilizada en Kg. en cada zona para cubrir con la recomendación y el total utilizado.
- Si el cultivo es Trigo, Cebada o Soja: *Rendimiento*, en Kg./Ha., el total de hectáreas, la *Ganancia*, el *Costo* y el *Beneficio Económico* obtenidos.
- Si el cultivo es Maíz: el total de hectáreas y el *Costo* obtenido.

En la Figura 8.2.1.2.1 se puede ver un ejemplo de Reporte para Soja y en la Figura 2.4 se puede ver un ejemplo de Reporte para Maíz.

Reporte

General

Cultivo: Soja Manejo: Agricultura de Precisión Fecha: 10/02/2008

Etapas: Siembra Laboreo: Siembra Directa

Zonas

	Zona	Nivel N (Kg)	Nivel P (Kg)	Hectareas	Rendimiento (Kg/Ha)
▶	1	0	81,97	14,24	2676,68
	2	0	99,99	17,37	2676,68
	3	0	51,42	3,92	2806,06

Fertilizantes

	Insumo	Zona 1 (Kg)	Zona 2 (Kg)	Zona 3 (Kg)	Total (Kg)
▶	UREA	0	0	0	0
	P-simple	356,4	434,73	223,56	1014,69
	Binario	0	0	0	0

Económicos

Rendimiento: 2690,95 Kg/Ha Ganancia: 26675,05 \$

Total Hectáreas: 35,53 Costo: 759,7 \$

Beneficio Económico: 25915,35 \$

Guardar

FIGURA 8.2.1.2.1: EJEMPLO DE REPORTE PARA SOJA.

Reporte

General

Cultivo: Maiz Manejo: Agricultura de Precisión Fecha: 10/02/2008

Etapas: Siembra Laboreo: Siembra Directa

Zonas

Zona	Nivel N (Kg)	Nivel P (Kg)	Hectareas
1	112,74	0	14,24
2	101,09	0	17,37
3	0	30	3,92

Fertilizantes

Insumo	Zona 1 (Kg)	Zona 2 (Kg)	Zona 3 (Kg)	Total (Kg)
Binario	0	0	0	0
P-simple	0	0	130,43	130,43
UREA	245,09	219,75	0	464,84

Económicos

Total Hectáreas: 35,53 Costo: 738,01 \$

Guardar

FIGURA 8.2.1.2.2: EJEMPLO DE REPORTE PARA MAÍZ.

Opciones en el Reporte:

Botón Guardar:

Permite almacenar el Reporte en un archivo. Se sugiere “rep” como extensión del archivo.

8.2.2 Archivo → Abrir Reporte

Esta opción permite elegir un archivo de un Reporte almacenado y visualizarlo. En la Figura 8.2.2.1 se puede observar esta opción en la aplicación.



FIGURA 8.2.2.1: ARCHIVO → ABRIR REPORTE.

8.2.3 Archivo → Salir

Cierra todas las ventanas de la aplicación y sale de la misma. En la Figura 8.2.3.1 se observa esta opción en la aplicación.



FIGURA 8.2.3.1: ARCHIVO → SALIR.

8.2.4 Ayuda → About

Despliega información sobre la versión de la aplicación. En la Figura 8.2.4.1 se observa esta opción en la aplicación.



FIGURA 8.2.4.1: AYUDA → ABOUT.

8.3 Mensajes de Error

En esta sección se presentan algunos de los mensajes de error desplegados por la aplicación junto con su significado.

Error al abrir el Reporte

Es desplegado cuando el archivo seleccionado no existe. En la Figura 8.3.1 se visualiza el mensaje desplegado cuando ocurre este error.

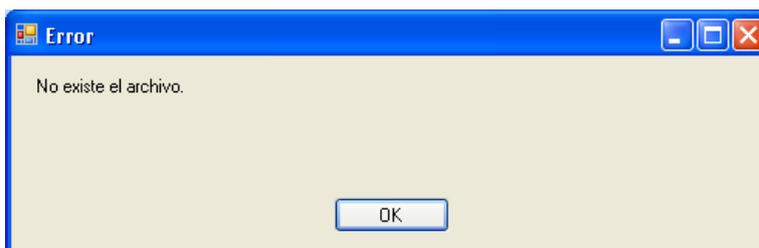


FIGURA 8.3.1: ERROR AL ABRIR EL REPORTE.

Generar una prescripción sin presupuesto

Es desplegado cuando se trata de generar una prescripción sin un presupuesto ingresado. El mismo mensaje es desplegado para todos los campos requeridos. En la Figura 8.3.2 se visualiza el mensaje desplegado cuando ocurre este error.

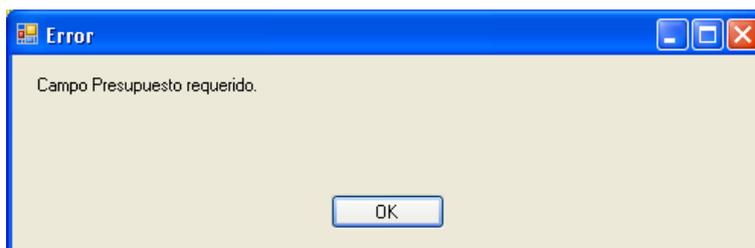


FIGURA 8.3.2: GENERAR UNA PRESCRIPCIÓN SIN PRESUPUESTO.

Abrir un archivo con datos incorrectos

Es desplegado cuando el archivo de datos no tiene el formato correcto. Esto puede incluir errores como: formato físico del archivo no es el correcto o algún valor negativo. En la Figura 8.3.3 se visualiza el mensaje desplegado cuando ocurre este error.

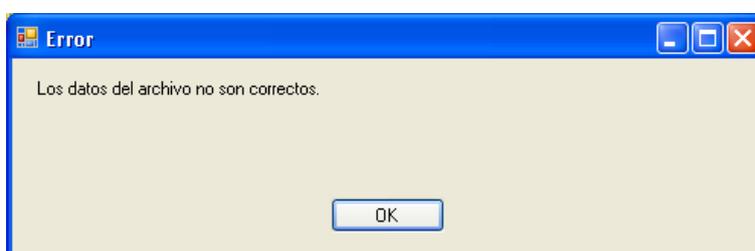


FIGURA 8.3.3: ABRIR UN ARCHIVO CON DATOS INCORRECTOS.

Generar sin AP y mas de una Zona

Es desplegado cuando se trata de generar una prescripción con manejo sin el uso de AP y con mas de una Zona de Manejo definidas. Este error se debe a que si no se utiliza AP, el sistema considera solamente una Zona de Manejo (correspondiente a toda la chacra). En la Figura 8.3.4 se visualiza el mensaje desplegado cuando ocurre este error.

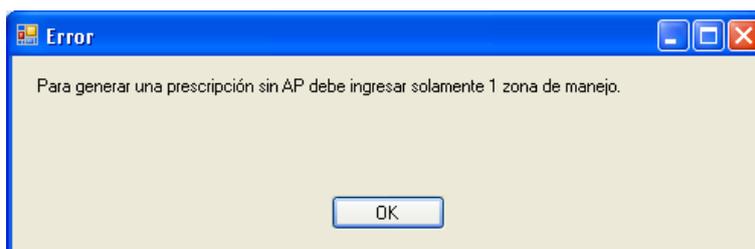


FIGURA 8.3.4: GENERAR SIN AP Y MÁS DE UNA ZONA.

No hay Solución

Es desplegado cuando la biblioteca de optimización no puede encontrar una solución de fertilización para los datos ingresados. Algunos de los casos mas comunes en que no se puede encontrar una solución son: presupuesto muy bajo o que con la combinación de fertilizantes ingresada no es posible llegar a los niveles de requerimientos de nutrientes de cultivo. En la Figura 8.3.5 se visualiza el mensaje desplegado cuando ocurre este error.



FIGURA 8.3.5: NO HAY SOLUCIÓN.

No encuentra a GAMS

Es desplegado cuando el sistema no puede comunicarse con GAMS. El sistema busca la biblioteca en un subdirectorio de la aplicación con nombre "Gams" y dentro de este debe estar la instalación completa de GAMS. En la Figura 8.3.6 se visualiza el mensaje desplegado cuando ocurre este error.

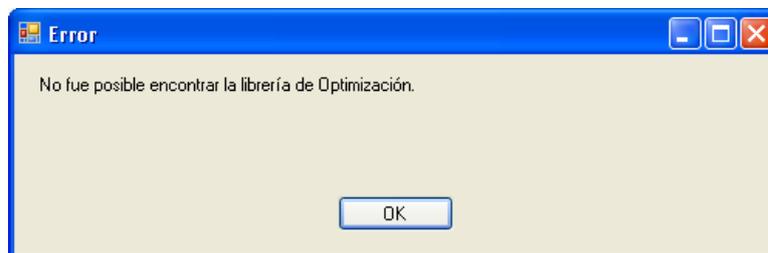


FIGURA 8.3.6: NO ENCUENTRA A GAMS.

8.4 Consideraciones para Trigo

8.4.1 Etapa Siembra

No se consideran en la resolución del problema los valores ingresados en el Editor de Datos de: *Nivel N en Planta* y *Tipo de Suelo* de cada zona. Los resultados obtenidos en el Reporte son producto de maximizar el beneficio económico.

8.4.2 Etapa Z₂₂

No se consideran en la resolución del problema los valores ingresados en el Editor de Datos de: *Nivel P* (en el suelo), *Nivel N en Planta*, *Rendimiento* y *Tipo de Suelo* de cada zona. El *Tope P* hace referencia a la cantidad exacta que se desea agregar de P. Los resultados obtenidos en el Reporte son producto de maximizar el beneficio económico.

8.4.3 Etapa Z₃₀

No se consideran en la resolución del problema los valores ingresados en el Editor de Datos de: *Nivel N* (en el suelo), *Nivel P* (en el suelo) y *Tipo de Suelo* de cada zona. El *Tope P* hace referencia a la cantidad exacta que se desea agregar de P. Los resultados obtenidos en el Reporte son producto de maximizar el beneficio económico.

8.5 Consideraciones para Cebada

8.5.1 Etapa Siembra

No se consideran en la resolución del problema los valores ingresados en el Editor de Datos de: *Nivel N en Planta* y *Tipo de Suelo* de cada zona.

Los resultados obtenidos en el Reporte son producto de maximizar el beneficio económico.

8.5.2 Etapa Z₂₂

No se consideran en la resolución del problema los valores ingresados en el Editor de Datos de: *Nivel P* (en el suelo), *Nivel N en Planta*, *Rendimiento* y *Tipo de Suelo* de cada zona. El *Tope P* hace referencia a la cantidad exacta que se desea agregar de P. Los resultados obtenidos en el Reporte son producto de maximizar el beneficio económico.

8.5.3 Etapa Z₃₀

No se consideran en la resolución del problema los valores ingresados en el Editor de Datos de: *Nivel N* (en el suelo), *Nivel P* (en el suelo) y *Tipo de Suelo* de cada zona. El *Tope P* hace referencia a la cantidad exacta que se desea agregar de P. Los resultados obtenidos en el Reporte son producto de maximizar el beneficio económico.

8.6 Consideraciones para Soja

8.6.1 Etapa Siembra

No se consideran en la resolución del problema los valores ingresados en el Editor de Datos de: *Laboreo*, *Tope N*, *Nivel N* de cada fertilizante, γ , *Nivel N* (en el suelo), *Nivel N en Planta* y *Rendimiento* de cada zona. Los resultados obtenidos en el Reporte son producto de maximizar el beneficio económico.

8.7 Consideraciones para Maíz

8.7.1 Etapa Siembra

No se consideran en la resolución del problema los valores ingresados en el Editor de Datos de: *Laboreo*, γ , *Nivel N en Planta* y *Tipo de Suelo* de cada zona. Los resultados obtenidos en el Reporte son producto de minimizar el costo total.

8.7.2 Etapa V5V6

No se consideran en la resolución del problema los valores ingresados en el Editor de Datos de: *Laboreo*, γ , *Nivel P* (en el suelo), *Nivel N en Planta*, *Rendimiento* y *Tipo de Suelo* de cada zona. El *Tope P* hace referencia a la cantidad exacta que se desea agregar de P. Los resultados obtenidos en el Reporte son producto de minimizar el costo total.

8.8 Consideraciones generales

- Los valores con decimales ingresados en el Editor de Datos deben estar escritos con coma, por ejemplo 0,5.
- La herramienta incorpora el concepto de moneda de forma genérica y no hace referencia a ninguna moneda en particular. Se debe tener en cuenta, al ingresar los datos de precio, costos y presupuesto en el Editor de Datos, que estén en la misma moneda. Los resultados de la prescripción de fertilización desplegados en el Reporte estarán en la moneda de los valores ingresados en el Editor de Datos.
- En el Editor de Datos y en el Reporte es posible ordenar los valores de las grillas de forma descendente o ascendente según cualquiera de las columnas. Para esto se debe hacer un clic en el nombre de la columna por la cual se quiere ordenar. Con otro clic se cambia la ordenación.
- Los mensajes de advertencia y de error de despliegan en una nueva ventana.
- Tratamiento sin AP: tomar 1 zona de manejo (toda la chacra) y utilizar como costo de producción el costo de manejo de 1 zona.
- Tratamiento con AP: tomar n zonas de manejo tomando el costo de manejo de n zonas.

9 Anexo 9 – Glosario

Acre: Es una medida de superficie, usada en agricultura tanto en el Reino Unido como en Estados Unidos. Equivale a 4046,873 m².

Área Foliar: cantidad de metros cuadrados de hojas de planta por metro cuadrado de suelo.

Barbecho: Se denomina barbecho a la tierra de labranza que no se siembra durante uno o varios ciclos vegetativos, con el propósito de recuperar y almacenar materia orgánica y humedad. También se refiere simplemente a la tierra que se deja descansar por uno o varios años.

Combinación Lineal: Un vector x es combinación lineal de un conjunto de vectores A si podemos expresar x como una suma de múltiplos de una cantidad finita de elementos de A .

Conjunto Convexo: En un espacio vectorial real o complejo, se dice que una parte C es convexa si para cada par de puntos de él, el segmento que los une está totalmente incluido en C . En un conjunto convexo se puede ir de cualquier punto a cualquier otro en vía recta, sin salir del mismo.

Conjunto Poliédrico: En un espacio tridimensional, un poliedro es un conjunto limitado por superficies planas.

Corrección Geométrica: Las imágenes captadas por los sensores remotos son proyecciones de una superficie esférica e irregular (superficie de la Tierra) sobre un plano. El tipo de proyección depende de cada caso de las características ópticas y mecánicas del sensor, de la altura y órbita o trayectoria de la plataforma de soporte (satélite, avión, etc.) y del ángulo con que es observada la superficie terrestre (vertical u oblicua). Por esto, para poder superponer imágenes de distintos sensores entre sí o para poder referenciar las coordenadas de la imagen (filas y columnas) con las coordenadas de un mapa (UTM, geográficas, etc.) es necesario un proceso de corrección geométrica o de registro de un documento respecto al otro. La corrección geométrica o registro puede ser de tipo relativo o absoluto. Una corrección relativa comporta transformar geoméricamente una imagen respecto a otra, que se toma como referencia, de tal forma que después de la transformación la imagen de referencia y la imagen transformada tengan el mismo tamaño, orientación y origen. Una corrección de tipo absoluto o cartográfico comporta hallar una función, que permita transformar las coordenadas imagen (fila - columna) a coordenadas $X - Y$ cartográficas. Generalmente suelen emplearse funciones polinómicas de grado variable ajustadas por mínimos cuadrados. Sin embargo en algunos casos pueden utilizarse funciones más complejas que incorporen parámetros de órbita de la plataforma.

Corrección Radiométrica: Debido a que el satélite con el sensor se encuentra situado a una altura de unos 705 Km, la respuesta radiométrica que le llega desde la superficie se modifica a consecuencia de su paso por la atmósfera. Uno de los efectos más importantes de la atmósfera en las radiaciones visibles e infrarrojas próximas es debido a la dispersión producida por las moléculas de los gases (dispersión de Rayleigh). Para aproximar la respuesta recibida por el sensor a la real del objeto observado en la superficie terrestre, se suelen aplicar métodos que tiendan a eliminar la dispersión por sustracción, ya que ésta produce un efecto puramente aditivo a la radiación que procede directamente del objeto observado. Uno de estos métodos es el conocido como *Histogram Minimum Method* (Campbell, 1987). Este método se limita a sustraer en cada banda el valor mínimo observado, ya que se supone que en una escena siempre pueden existir algunos píxeles en sombra total, que en ausencia de atmósfera no recibirían ni deberían reflejar ninguna energía de procedencia solar.

CropSyst: Cropping Systems simulation model: es un modelo con intervalo de ejecución diaria, que permite simular varios cultivos extensivos durante varios años.

Datos geográficos: datos que contienen no sólo el atributo alfanumérico que está siendo monitoreado, sino también la ubicación espacial del atributo. También conocido como datos espaciales.

Datos georreferenciados: datos espaciales que pertenecen a ubicaciones específicas en la superficie terrestre.

Distribución de probabilidades: modelo teórico que describe la forma en que varían los resultados de un experimento aleatorio. Lista los resultados de un experimento con las probabilidades que se esperarían ver asociadas con cada resultado.

Ecuación lineal: Ecuación en la cual cada término es una constante o el producto de una constante por una Variable elevada a la primera potencia.

Edafología: La edafología es la ciencia que estudia la composición y naturaleza del suelo en su relación con las plantas y el entorno que le rodea.

Electrodo: es un conductor utilizado para hacer contacto con una parte no metálica de un circuito, por ejemplo un semiconductor, un electrolito, el vacío (en una válvula termoiónica), un gas (en una lámpara de neón), etc. Tiene diversos usos como ser: para fines médicos (EEG, EKG, ECT, desfibrilador), para técnicas de Electrofisiología en investigación biomédica, para galvanoplastia, para soldadura, etc.

Envoltura Convexa: dado un conjunto C, se denomina envoltura convexa al menor conjunto convexo que contiene a C.

Espectroscopia: es el estudio del espectro luminoso de los cuerpos, con aplicaciones en química, física y astronomía, entre otras disciplinas científicas. El análisis espectral en el cual se basa, permite detectar la absorción o emisión de radiación electromagnética de ciertas energías, y relacionar estas energías con los niveles de energía implicados en una transición cuántica.

Extrapolación: es el proceso de construir nuevos puntos de datos a partir de un conjunto discreto de puntos conocidos. Es similar al proceso de interpolación, que construye nuevos puntos entre puntos conocidos, pero sus resultados son menos significativos, y están sujetos a mayor incertidumbre.

Factores de manejo: factores que dependen del agricultor, como por ejemplo la fertilización.

Fotografía aérea: foto de una porción de la superficie terrestre tomada desde un avión en vuelo.

Función Objetivo: Es la expresión matemática que se desea optimizar (maximizar o minimizar).

Hardware: Se denomina hardware al conjunto de elementos materiales que componen una computadora. En dicho conjunto se incluyen los dispositivos electrónicos y electromecánicos, circuitos, cables, tarjetas, armarios o cajas, periféricos de todo tipo y otros elementos físicos.

Heterocedasticidad: ocurre cuando la varianza del término error no es constante para todos los valores de la variable independiente de interés.

Imágenes satelitales: es la representación visual de la información capturada por un sensor montado en un satélite artificial.

Independencia Lineal: En álgebra lineal, un conjunto de vectores es linealmente independiente si ninguno de ellos puede ser escrito con una combinación lineal de los restantes. En caso contrario son linealmente dependientes.

Índice de vegetación verde: variable que permite estimar el desarrollo de la vegetación en base a la medición de la intensidad de la radiación electromagnética. Se calcula como la razón de bandas captadas por sensores remotos.

Insumos: todos los factores que son necesarios para el crecimiento del cultivo. Por ejemplo: agua, semillas, fertilizante, sol, pesticidas, etc..

Internet: Internet es una red de redes a escala mundial de millones de computadoras interconectadas con el conjunto de protocolos TCP/IP. También se usa este nombre como sustantivo común y por tanto

en minúsculas para designar a cualquier red de redes que use las mismas tecnologías que la Internet, independientemente de su extensión o que sea pública o privada

Interpolación: procedimiento para predecir los valores desconocidos entre valores de datos vecinos conocidos.

Mapa de fertilidad: mapa que indica el grado de fertilidad del suelo.

Modelo: Es una descripción abstracta de un problema real.

Modulo: Un módulo es un componente autocontrolado de un sistema, el cual posee una interfaz bien definida hacia otros componentes; algo es modular si es construido de manera tal que se facilite su ensamblaje, acomodamiento flexible y reparación de sus componentes.

Napas de agua: Capas subterráneas de suelo cuyo alto contenido de agua las constituye en depósitos utilizables de este líquido.

Optimización: Técnicas para lograr hacer algo lo mejor posible.

PAC: La PAC o Política Agrícola Común de la Unión Europea (UE) es una política común que gestiona las subvenciones que se dan a la producción agrícola en la UE y representa uno de los elementos esenciales del sistema institucional de la UE.

Polítopo: generalización a cualquier dimensión de un polígono bidimensional, y un poliedro tridimensional. El término también es usado para una variedad de conceptos matemáticos relacionados. Su uso es análogo al de cuadrado, que puede usarse para referirse a una región del plano de forma cuadrada, o sólo para sus límites, o aún para una mera lista de sus vértices y lados junto con alguna información acerca de la forma en que están conectados.

Portable: que puede ser trasladado a diferentes lugares para ser utilizado.

PPM: Partes por millón: es la unidad empleada usualmente para valorar la presencia de elementos en pequeñas cantidades (traza) en una mezcla. Generalmente suele referirse a porcentajes en peso en el caso de sólidos y en volumen en el caso de gases. También se puede definir como *«la cantidad de materia contenida en una parte sobre un total de un millón de partes»*.

Prescripción: recomendaciones para el agricultor sobre las cantidades de insumos a aplicar en cada zona.

Rectificación: proceso de corrección de datos de imágenes obtenidas con percepción remota para eliminar los efectos de la orientación del sensor y la distorsión presente en el momento de la medición.

Recursos: Todo lo necesario para llevar a cabo el proceso productivo.

Restricciones: Son exigencias que deben cumplir las variables de decisión. Por ejemplo, el costo total no debe superar el presupuesto.

Serie de Tiempo: Cualquier variable que conste de datos reunidos, registrados u observados sobre incrementos sucesivos de tiempo.

Software: Se denomina software a todos los componentes intangibles de una computadora, es decir, al conjunto de programas y procedimientos necesarios para hacer posible la realización de una tarea específica, esto incluye aplicaciones informáticas tales como un procesador de textos.

Solución Factible: Es una solución del problema que cumple con las restricciones.

Solución Óptima: Es la mejor de las soluciones factibles.

Solver: es una herramienta de software utilizada para resolver problemas matemáticos o computacionales.

Variabilidad Espacial: expresa las diferencias de valor de una variable en función de su localización en el espacio.

Variabilidad Temporal: en el caso de la agricultura expresa los cambios de valor de una variable en función del tiempo.

Variable aleatoria: variable que cuantifica los resultados de un experimento aleatorio. Toma diferentes valores como resultado de un experimento aleatorio. Toma diferentes valores cada vez que sucede un experimento o suceso.

Variable de Decisión: Es una variable que se modifica para alterar el valor de la función objetivo.

Verdín: Capa verde de algas y otras plantas que se forma en la superficie del agua y en otros lugares húmedos.

Voltaje: Mide la diferencia de potencial entre dos puntos de un campo eléctrico, la cual es igual al trabajo que realiza dicha unidad de carga positiva para transportarla entre dos puntos.

Zona de Manejo: Es una subdivisión del suelo que puede tratarse de forma homogénea desde el punto de vista de sus factores limitantes. Se supone que el rendimiento del suelo es el mismo para toda la zona.