

UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA DE AGRONOMIA

**Selección de maquinaria agrícola para un predio
de la Décima Región mediante Programación Lineal.**

Tesis presentada como parte de los
requisitos para optar al grado de
Licenciado en Agronomía.

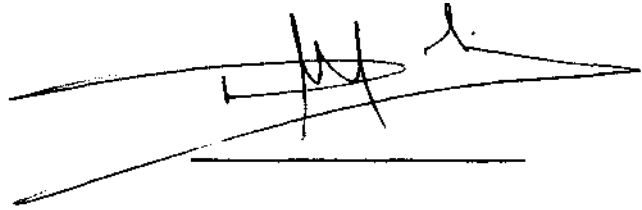
Helmuth Felipe Alarcón Villegas

VALDIVIA – CHILE
2006

Profesor patrocinante:

ROBERTO DAROCH P.

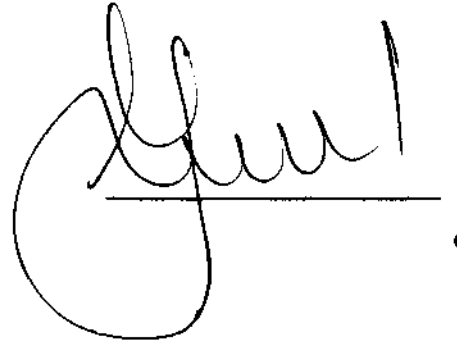
Ing. Agr. M Sc.

Handwritten signature of Roberto Daroch P. in black ink, written over a horizontal line.

Profesor informante:

RICARDO FUENTES P.

Ing. Agr. M Sc.

Handwritten signature of Ricardo Fuentes P. in black ink, written over a horizontal line.

Profesor informante:

CLAUDIO VALDES R.

Ing. Agr.

A horizontal line intended for the signature of Claudio Valdes R.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, tíos, primos por su apoyo e inestimables muestras de cariño, durante toda mi vida, y en especial a mi hermano Roberto.

A Don Roberto Daroch, por sus consejos e infinita paciencia en la realización de esta tesis.

A los profesores Ricardo Fuentes y Claudio Valdés, por su buena disposición y colaboración hacia mi persona.

A los profesores y personal del Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos, en especial al señor Osear Seguel y José Cuevas por su apoyo en la elaboración de este estudio.

A Guillermo Gadicke y familia, por darme las facilidades para la realización de este trabajo en su predio.

A mi amigo Javier Bravo Alt, y a los tíos José e Inés.

Y a todas aquellas personas que de una u otra forma me brindaron su amistad, a través de este largo caminar.

*"A la memoria de mis queridos abuelitos, con
quienes compartí los años más felices de mi infancia "*

INDICE DE MATERIAS

Capítulo		Página
1	INTRODUCCIÓN	1
2	REVISIÓN BIBLIOGRAFICA	3
2.1	La Programación Lineal (PL)	3
2.1.1	Método Simplex	3
2.1.2	Elementos de un Programa desarrollado por PL	3
2.1.3	Esquema de una matriz de Programación	5
2.1.4	Etapas en la aplicación de la PL.	5
2.1.5	Supuestos de la Programación Lineal	6
2.1.5.1	Aditividad	6
2.1.5.2	Linealidad	6
2.1.5.3	Divisibilidad	6
2.1.5.4	Finitud	7
2.1.5.5	Pronósticos únicos	7
2.2	Costos de la maquinaria	8
2.2.1	Establecimiento de la duración del equipo	8
2.2.2	Depreciación	9
2.2.2.1	Método de la suma de dígitos de los años	9
2.2.3	Interés a la inversión	10
2.2.4	Almacenamiento y riesgo	10
2.2.5	Impuestos y permisos de circulación	11
2.2.6	Combustibles	11
2.2.7	Costos de mantención y reparación	12
2.2.8	Remuneración del operador	13
2.2.9	Costos de oportunidad por labor	13
2.3	Medición de la capacidad de los equipos	13

Capítulo	Página	
2.3.1	Capacidad teórica de trabajo (CTT)	13
2.3.2	Capacidad efectiva de trabajo (CET)	14
2.3.3	Eficiencia de campo	15
2.3.3.1	Sistema de trabajo	15
2.3.3.2	Forma y tamaño del terreno	15
2.3.3.3	Capacidad de trabajo de la maquina	15
2.3.3.4	Rendimiento del cultivo en relación con las maquinas de recolección	15
2.3.3.5	Dosis de aplicación de los insumos en maquinas de distribución	16
2.3.3.6	Condiciones del cultivo o del suelo	18
2.4	Selección por tamaño	18
2.5	Factores climáticos que influyen en la mecanización predial	18
2.5.1	Precipitaciones	19
2.5.2	Evapotranspiración	19
2.6	Consistencia del suelo	19
2.6.1	Estados de consistencia	20
2.7	Selección por costo	20
2.7.1	¿Qué equipos se deben comprar?	20
2.7.2	¿Cuánto comprar?	20
2.7.3	¿Comprar o arrendar?	20
3	MATERIAL Y METODO	22
3.1	Materiales	22
3.2	Método	22
3.2.1	Cálculo de la eficiencia de campo	23
3.2.2	Estimación del uso anual	23
3.2.3	Determinación del costo horario	24
3.2.3.1	Valor inicial	24
3.2.3.2	Valor residual	25
3.2.3.3	Valor promedio	25

Capítulo	Página	
3.2.3.4	Método de depreciación	25
3.2.3.5	Almacenamiento y riesgo	25
3.2.3.6	Interés a la inversión	25
3.2.3.7	Mantenciones y reparaciones	25
3.2.3.8	Consumo de combustible	25
3.2.3.9	Mano de obra	26
3.3	Determinaciones físicas del suelo	26
3.3.1	Densidad aparente y espacio poroso	26
3.3.2	Determinación de los límites de consistencia	26
3.3.2.1	Límite plástico	26
3.3.2.2	Límite líquido	26
3.3.2.3	Límite fino	26
3.4	Antecedentes climáticos de selección	27
3.4.1	Preparación de suelos y siembra	27
3.4.2	Operaciones complementarias	28
3.4.3	Cosecha	28
3.5	Balance de humedad	29
3.6	Conformación de la base de datos	31
3.7	Estructuración de la matriz de programación	32
3.7.1	Determinación de los anchos óptimos	33
4	PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	35
4.1	Nivel de friabilidad del suelo	35
4.2	Calendario de labores	37
4.3	Días aptos para la realización labores a nivel predial	38
4.3.1	Días aptos para la realización de la labranza del suelo	38
4.3.2	Estimación de días de trabajo para labores de siembra	41
4.3.3	Días aptos para la aplicación de productos agroquímicos	41
4.3.4	Estimación de días aptos en las labores de Cosecha	43
4.4	Estructura de costos en la administración de la maquinaria	43

Capítulo		Página
4.5	Modelo de Programación Lineal para el eficiente uso de los equipos	46
4.5.1	Informe de límites	46
4.5.2	Informe de respuestas	48
4.5.3	Análisis de sensibilidad	50
4.5.3.1	Aumento permisible de las celdas cambiantes	51
4.5.3.2	Aumento o disminución permitido en el lado derecho	51
5	CONCLUSIONES	55
6	RESUMEN	57
	SUMMARY	58
7	BIBLIOGRAFÍA	59
	ANEXOS	64

INDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Variables consideradas en el cálculo de la eficiencia de campo, para una preparación de suelos	23
2	Variables consideradas en el cálculo de la eficiencia de campo, para labores de tipo complementario	23
3	Variables consideradas en el cálculo de la eficiencia de campo, para la elaboración de un ciclo de trabajo	24
4	Variables consideradas en el cálculo del uso anual	24
5	Limites de consistencia	35
6	Calendario de faenas mecanizadas en el predio	37
7	Número de días apropiados por semana para la preparación de suelos, sector La Poza	39
8	Número de días apropiados por semana para la preparación de suelos, sector León	40
9	Número de días apropiados por semana para la siembra de Col forrajera	41
10	Número de días apropiados por semana para la realización de labores complementarias	42
11	Número de días apropiados semanales para la cosecha de Col forrajera	43
12	Informe de Limites	47
13	Informe de respuestas	49
14	Informe de respuestas sección restricciones	50
15	Informe de sensibilidad	52
16	Informe de sensibilidad sección restricciones	53
17	Optimización de la maquinaria	54

INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Etapas de la Programación lineal	7
2	Selección y Programación de la maquinaria	21
3	Esquema del balance de humedad utilizado	31
4	Rangos mínimos y máximos de friabilidad (Sector La Poza)	36
5	Rangos mínimos y máximos de friabilidad (Sector León)	36
6	Distribución porcentual de los costos en la cosechadora de grano, bajo su nivel de depreciación	44
7	Distribución porcentual de los costos del tractor agrícola, sobre su nivel de depreciación	45
8	Principales costos para un tractor diesel con un alto uso anual	45
9	Principales costos para una cosechadora de grano con un bajo uso anual	46

INDICE DE ANEXOS

Anexo		Página
1	Vida útil, tiempo de servicio y uso anual de la maquinaria agrícola	65
2	Mantenciones y reparaciones de implementos agrícolas en relación con su uso acumulado	66
3	Plano de ubicación del predio	67
4	Inventario de maquinaria existente en el predio	68
5	Inventario de la maquinaria de mercado (Osorno)	69
6	Inventario de la maquinaria en arriendo de la zona en estudio.	70
7	Planilla de cálculo de la eficiencia de campo, para una preparación de suelos	71
8	Planilla de cálculo de la eficiencia de campo, en equipos utilizados en operaciones complementarias	72
9	Planilla de cálculo de la eficiencia de campo, para una cosechadora de forraje con dos colosos	73
10	Planilla de cálculo del uso anual de la maquinaria del predio	74
11	Planilla de costos de la maquinaria	77
12	Balance hídrico estación meteorológica Remehue	79
13	Fechas óptimas de siembra por cultivo	80
14	Fechas óptimas de cosecha por cultivo	81
15	Costos de la maquinaria propia	82
16	Costos de la maquinaria de mercado	83
17	Macrosolver	84

1 INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente, las diversas decisiones en cuanto al manejo y selección de la maquinaria se han realizado en forma cualitativa e intuitiva, con la creciente competitividad existente entre los diversos mercados, se ha hecho imprescindible la creación de nuevas estrategias económicas tendientes a racionalizar este tipo de situaciones, siendo una de tantas la que guarda relación con la minimización de costos en la denominada “Empresa Agrícola”.

Entre los principales aspectos que definen el grado de mecanización a nivel predial encontramos criterios económicos, agronómicos, mecánicos y sociales.

En lo económico, uno de los aspectos importantes a considerar es el costo de producción de los equipos, donde las labores que éstos realizan, constituyen recursos de capital, fundamentales para la producción agrícola actual. Por otra parte un empleo ineficiente de los equipos agrícolas, por falta de personal técnico capaz de crear y aplicar metodologías de trabajo adecuadas, surge como una problemática de gran importancia, incidiendo fuertemente en una baja rentabilidad al utilizar un determinado implemento.

Desde el punto de vista agronómico y mecánico, es importante disponer de un proceso adecuado, que permita contar con aquellos implementos que mejor se adapten a nuestras condiciones tanto productivas como de operación, apuntando a una alta calidad en la realización de las labores.

Con respecto al ámbito social, este aspecto guarda relación con las distintas normativas de gobierno y su influencia en el sector agropecuario, citándose la capacitación, disponibilidad y costo de la mano de obra.

Una herramienta de gran utilidad lo constituye el medio computacional, el cual permite una adecuada sistematización de las actividades presentes en una determinada explotación, lo que se manifiesta a través de la Programación Lineal (PL), encontrándose diversas aplicaciones en la agricultura como es la formulación de raciones alimenticias balanceadas, asignación de aguas en el riego, administración de plantas agroindustriales y otros.

Basándose en estos antecedentes, se ha establecido como objetivo general, para el siguiente estudio de casos; Optimizar el uso de la maquinaria agrícola para un predio determinado, mediante un modelo computacional basado en PL.

Planteándose como objetivos específicos:

-Determinar el número de días aptos en el año para el desarrollo de diversas labores mecanizadas para la zona en estudio.

-Establecer los costos más relevantes que generan la propiedad y el uso de los elementos de trabajo.

2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 La Programación Lineal.

Para HERRERO *et al.*, (1999), puede ser definida como una técnica de tipo matemática, la cual fue diseñada para ayudar a los administradores y planificadores a realizar el proceso de toma de decisiones. El adjetivo lineal significa que todas las funciones del modelo deben ser expresadas en ecuaciones de primer grado. Así, la PL trata la planeación de las actividades hasta obtener, el resultado que mejor alcance las metas especificadas entre las diversas alternativas de solución, y cuyos algoritmos se encuentran conformados por un gran número de variables sujetas a determinadas restricciones.

2.1.1 Método Simplex. Corresponde a un procedimiento de tipo repetitivo que utiliza un sistema de derivadas progresivas, en una secuencia particular. En general a estos métodos se les denomina de prueba y error o de aproximación sucesiva, repitiéndose etapa por etapa, hasta llegar a una solución final. Esta metodología comienza sus operaciones considerando que el plan primario lo constituye aquella organización en la que los recursos son utilizados a un nivel igual a cero, es decir no hay producción. A partir de esa alternativa inicial se van introduciendo actividades que van desplazando otras, hasta determinar el programa acorde a las necesidades del empresario (BENEKE y WINTERBOER, 1984).

2.1.2 Elementos de un Problema desarrollado por PL. Para autores como BENEKE y WINTERBOER (1984); además de TAHA (1998), establecen que para desarrollar un modelo de PL, es necesario definir diversos conceptos básicos como:

-Las Actividades consideradas en el proceso de planificación: Estas comprenden todas aquellas variables presentes en una determinada empresa, las que se encuentran en directa relación con la estructura de la función requerida, concordando con el tipo de respuesta que el planificador busca.

- Función objetivo, Z : Es aquella ecuación de integra las diversas actividades que identifican el esfuerzo de solucionar el problema en cuestión, ésta predice los efectos que se tienen al seleccionar diversos valores para el conjunto de decisiones. Por ejemplo, Si Z se define como el costo total de producción, entonces se minimiza. Si se define como utilidades netas, entonces se maximiza.
- Restricciones: Son expresiones lineales que incluyen los mecanismos de decisión, para cada limitante en particular, generando diversas alternativas viables al seleccionar todos aquellos valores que las satisfagan.
- Algoritmo: Corresponde a una cantidad finita de operaciones elementales a través de las cuales es posible transformar los datos de entrada en los de salida en cualquier problema de tipo numérico.
- Coeficientes técnicos o de producción: Pueden ser definidos como una aproximación, entre la cantidad de entrada requerida por unidad de actividad.

Para TAHA (1998), la formulación de un problema basado en PL, puede expresarse como:

Minimización o Maximización

$$Z = C_1x_1 + C_2x_2 + \dots + C_nx_n$$

Sujeto a las restricciones:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2$$

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_n$$

En síntesis, x_n sería el nivel de actividad n (variable de decisión), C_n es el aumento o disminución en Z producto de cada unidad adicional de x_n (coeficiente de producción o costo), b_n es la cantidad disponible del recurso n y a_{mn} , es la cantidad del recurso m consumido por cada unidad de actividad n .

2.1.3 Esquema de una matriz de programación. PANELL (1997), establece que la PL ha sido utilizada exitosamente en la administración de los recursos en diversos predios agrícolas en países desarrollados, logrando perfeccionar las decisiones de metas coherentes en lo económico, técnico y social. Éste autor plantea el siguiente método para estructurar el conjunto de variables a través de una matriz de coeficientes:

-Cada actividad está representada por una columna de tipo numérica, existiendo una extra de coeficientes, para limitar las restricciones y otra que indica si es un mínimo, máximo o un valor exacto con su respectiva unidad, la que se aplica a todos los valores presentes en ésta.

-Cada restricción es representada por una fila, encontrándose una adicional para la función objetivo con su unidad respectiva, además de una extra para los valores de la función objetivo.

-La columna de límites, no posee una unidad específica para todos los coeficientes, por lo que son medidos en la unidad de su restricción.

2.1.4 Etapas en la aplicación de la PL. Para DENT et al., (1986), al poner en práctica este procedimiento, se debe tener en cuenta la calidad de la información obtenida en el predio, con el fin de que permita definir el problema en sí, dar un diagnóstico de la situación, conocer los recursos y los resultados actuales, relacionar ambos y determinar cuales son las alternativas productivas de acuerdo a los objetivos del empresario.

Para PANELL (1997), el análisis paramétrico constituye un complemento de los resultados, pues su propósito es determinar entre que rangos se encuentra la respuesta final, posteriormente el marco de acción determinará el tamaño de cada actividad y su posible inclusión en la organización de la explotación en forma de combinación óptima. Por último se presenta la implementación de las actividades, que corresponde a la puesta en práctica de lo anteriormente citado además del control que comprende el análisis y evaluación del programa (Figura 1).

2.1.5 Supuestos de la Programación Lineal. Con el propósito que esta metodología entregue una respuesta satisfactoria del caso en estudio, se deben cumplir las siguientes condiciones:

2.1.5.1 Aditividad. Garantiza que la contribución total, para el caso de la función objetivo como de las restricciones, sea igual a la suma de las contribuciones individuales. La efectividad y el uso total de cada recurso, producto de la realización conjunta de las actividades, debe ser igual a la suma que resulte de cada una individualmente, implicando la nula interacción entre recursos para el grupo en sí (DENT et al., 1986).

2.1.5.2 Linealidad. Las ecuaciones utilizadas corresponden a aquellas de primer grado, las que son proyectadas gráficamente como una línea recta, suponiendo que los coeficientes de cada variable serán constantes, existiendo una relación lineal entre actividades y recursos (DENT et al., 1986).

2.1.5.3 Divisibilidad. Las variables de decisión en un modelo de PL pueden tomar cualquier valor incluyendo valores no enteros, que satisfagan las restricciones funcionales y de no negatividad. Así, estas variables no están solo restringidas a valores enteros. En cuanto a la realización de alguna actividad, se supondrá que estas pueden realizarse a niveles fraccionales. Sin embargo, no representan una limitante seria, ya que ordinariamente se aproximan a soluciones enteras (DENT et al., 1986).

2.1.5.4 Finitud. Se asume que existe un límite en el número de actividades alternativas y en los recursos, pues de lo contrario el programador siempre estaría describiendo nuevas variables y nunca se llegaría a una solución final (DENT et al., 1986).

2.1.5.5 Pronósticos únicos. Significa que la oferta de insumos, los recursos en general, coeficientes técnicos y precios son conocidos y no varían en el corto ni mediano plazo (DENT et al., 1986).

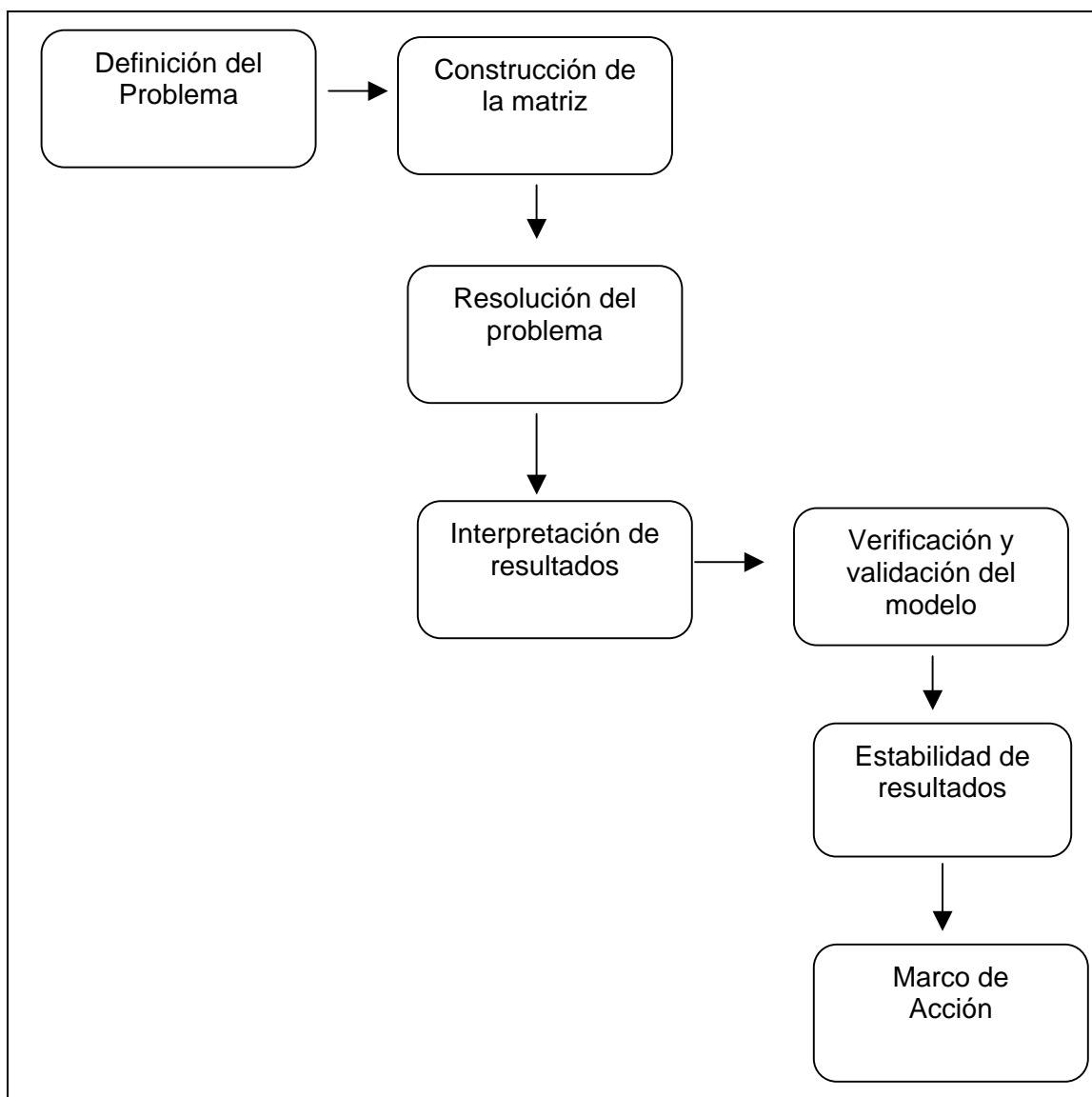


FIGURA 1 Etapas de la programación lineal.

FUENTE: PANNELL (1997).

2.2 Costos operacionales.

Una definición es aquella que relaciona la cantidad de recursos sacrificados; para obtener un beneficio, por lo que generalmente todo negocio incurre en un desembolso con el propósito de obtener utilidades (POLIMENI, 1990).

Para BENEDETTI (1983), los ítem que definen los costos de la maquinaria agrícola pueden ser divididos en: fijos o de propiedad, correspondiendo a aquellos cuyos totales no cambian con variaciones en el volumen producido, siendo independientes del uso del equipo, citándose el interés a la inversión, impuestos, almacenaje y seguros. Como variables o de operación corresponderían todos aquellos directamente proporcionales al uso del equipo como es el consumo de combustible, mantenciones y reparaciones.

Una mención aparte hace referencia a la depreciación y mano de obra los que se encuentran en función tanto del uso como del tiempo, por lo que su estimación puede ser realizada como costo fijo o variable (HUNT, 1986).

2.2.1 Establecimiento de la duración del equipo. THUESEN y FABRICKY (1989), definen la vida útil como el periodo comprendido entre la adquisición de la maquinaria y el momento en que es de mayor conveniencia económica reemplazarla por otra que continúe realizando su trabajo. Un equipo también puede ser analizado en cuanto a su tiempo de servicio, el cual depende de la calidad y tecnología de los materiales usados en la construcción del implemento, para lo cual la UNIVERSIDAD DE CONCEPCION (1990), ha estimado este índice adaptándolo a la realidad nacional, de datos provenientes de instituciones como Nebraska Tractor Test Laboratory, Estados Unidos y Prairie Agricultural Machinery Institute (PAMI), Canadá (Anexo 1).

Otro concepto de interés es el llamado valor residual el que corresponde al monto original del equipo que es recuperada al final de su vida útil, ya sea por venta o utilización en otros fines (IBÁÑEZ y ROJAS, 1994).

2.2.2 Depreciación. BENEDETTI (1983), la define como la pérdida gradual de la capacidad productiva de un recurso de larga duración, esto se ve reflejado en una disminución de su valor, pues todo bien o recurso al ser usado se desgasta, por lo que se incurriría en un costo diferido en el tiempo. Para THUESEN y FABRICKY (1989), entre las principales causales de ésta desvalorización se encuentra el deterioro de los componentes de la maquinaria y la obsolescencia del equipo, incidiendo sobre ésta última los cambios de tecnológicos propuestos en el mercado, o simplemente variaciones de tamaño o en el rubro de la empresa.

De lo anterior, se puede establecer que aquellos equipos que presentan un uso anual restringido, su depreciación es principalmente dependiente de la corrosión y obsolescencia. En cambio aquellas maquinarias de uso intensivo el deterioro por desgaste de componentes debiese ser determinante en la estimación de este concepto (UNIVERSIDAD DE CONCEPCION,1990).

Existen diversos métodos de cálculo para este costo, destacando la suma de dígitos la cual es descrita a continuación:

2.2.2.1 Método de la suma de dígitos de los años. Es aquélla en que se suman los dígitos de la vida útil estimada. El número de años de vida restante de la máquina, incluyendo el año en cuestión, se divide entre esta suma. Ésta parte fraccional de la diferencia entre el precio de compra y el valor recuperado, es la cantidad de depreciación que se carga anualmente (HUNT,1986) (2.1).

$$D = \frac{[L - n]}{YD} * [P - S] \quad (2.1)$$

P : precio de Compra.

S : precio recuperado o de venta.

L : vida útil o el tiempo entre la compra y la venta.

n : antigüedad de la máquina (en años),al principio del año.

YD : suma de los dígitos de los años (1+2+3+.....+ L).

2.2.3 Interés a la inversión. Corresponde a la alternativa de no haber comprado la máquina invirtiendo el dinero en el banco, generándose un costo alternativo (IBAÑEZ y ROJAS,1994).

$$i = t * \frac{V_i + V_r}{2} \quad (2.2)$$

i : interés anual promedio.

t : tasa de interés anual.

V_i : valor inicial o costo de adquisición.

V_r : valor residual.

2.2.4 Almacenamiento y riesgo. HUNT (1986), señala que en relación con el albergue de la maquinaria se han realizado diversos estudios para obtener evidencia concluyente acerca de este valor, pero apartir de la observación se ha establecido que aunque los ahorros monetarios no son evidentes, existen valores indeterminados, tales como un mejor manejo, apariencia de la granja y facilidad para realizar reparaciones durante una estación lluviosa han justificado el gasto de la compra de un cobertizo para la maquinaria. Definiéndose como valor estimativo (2.3).

$$\text{Almacenamiento y riesgo} = [0.0010-0.015] * V_i \quad (2.3)$$

V_i : valor inicial o costo de adquisición

NOLTE et al., (1982), establece que éste costo guarda directa relación con las características climatológicas imperantes en la zona de estudio. Sin embargo, los expertos están de acuerdo de que si la maquinaria no se almacena, se necesitaría un mayor número de reparaciones y en general sus costos serian más elevados.

En relación al riesgo propiamente tal es asumido indirectamente por el agricultor, excepto si contratase una póliza de seguros (BOWERS,1992).

2.2.5 Impuestos y permisos de circulación. La UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN (1990), indica la difícil consideración en el ámbito nacional, del primero de éstos valores ya que en el país la tasa de impuestos va en directa relación con el patrimonio total del contribuyente, es así que una inversión en un determinado implemento puede tener una significación diferente para un empresario u otro.

En relación a los permisos de circulación BERTIN (1986), señala que éstos son raramente adquiridos por los agricultores a menos que brinden prestaciones de servicios o sea necesaria la circulación por la vía pública, éste es obligatorio a nivel nacional alcanzando un valor de 0,5 Unidades Tributarias Mensual (UTM).

2.2.6 Combustibles. Para IBAÑEZ y ROJAS (1994), el método más preciso de cálculo, es llevar registros exactos de los costos por operación por maquinaria, sin embargo, es bastante difícil de llevar esto a la práctica, por lo que frecuentemente se recurre a estimaciones.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS AGRICOLE (ASAE) (1980), ha propuesto diversas ecuaciones predictivas que consideran las variables más importantes en la estimación del consumo como es el tipo de combustible, el tamaño del equipo motriz y el requerimiento de potencia del trabajo a utilizar, lo cual es expresado en L/kW-h, donde la incógnita muestra la relación de la potencia requerida por operación versus el total disponible.

En consecuencia:

$$\text{Diesel : } 2.64 * x + 3.91 - 0.2 * \sqrt{[738 * x + 173]} \quad (2.4)$$

$$\text{Gasolina : } 2.74 * x + 3.15 - 0.2 * \sqrt{[697 * x]} \quad (2.5)$$

$$\text{Gas licuado : } 2.69 * x + 3.14 - 0.2 * \sqrt{[646 * x]} \quad (2.6)$$

2.2.7 Costos de mantenimiento y reparación. IBÁÑEZ y ROJAS (1994), definen como mantenimientos todos los recambios de material, que se realizan en forma programada y con un propósito preventivo, definiéndose como reparaciones todas aquellas enmiendas que deben realizarse aleatoriamente, a causa de fallas imprevistas de los componentes.

ASAE (1995), ha propuesto dos tipos de modelos con el propósito de cuantificar éste ítem, reuniendo en un solo valor los conceptos antes señalados, siendo dependientes del origen del tractor en estudio. El primero de estos es aplicable a aquellos equipos provenientes de Europa Oriental, China, Rusia, Brasil y Argentina *. Utilizándose a su vez el segundo, en tractores cuyo origen de fabricación se encuentra en Estados Unidos o Europa Occidental **.

$$y = \left[0.0996 * x^{1.4475} \right] * 10^{-3} * \quad (2.7)$$

$$y = 1.2 * \left[\frac{x}{1000} \right]^2 ** \quad (2.8)$$

Por lo que x e y representarían respectivamente, las horas de uso anual acumulado y el costo total de mantenencias y reparaciones, como porcentaje del precio de compra.

En países industrializados, dada la magnitud del equipamiento agrícola, se han logrado establecer ciertos patrones de cálculo, para algunos implementos agrícolas de importancia (Anexo 2).

$$R\&m = p * \left[a * x^b \right] \quad (2.9)$$

Siendo:

R&m: es el costo de reparaciones y mantenimiento, en $\$*h^{-1}$ o en $\$*ha^{-1}$.

p : es el valor inicial del equipo, en \$.

a : Es un multiplicador de la función.

x : representa el uso anual acumulado, al cabo de 1000 h de trabajo.

b : Es la razón de aumento acumulativo del costo causado por reparaciones y mantenimientos.

2.2.8 Remuneración del operador. Para ROTZ *et al.*, (1981) e IBAÑEZ y ROJAS (1994), señalan que este ítem es sometido a una clasificación especial debido a que puede ser estimado en forma aislada o figurar en un rubro de gastos generales. Cualquiera sea el caso, hay unanimidad de considerar el monto real de salarios, leyes sociales y regalías, pagadas a la mano de obra del predio en un período determinado.

2.2.9 Costos de oportunidad por labor. También conocidos como *timeliness* en Norteamérica, éste concepto surge de la incapacidad de una determinada máquina para terminar una operación de campo en un tiempo razonablemente corto; aunque no representan un egreso directo de parte del agricultor, si constituyen reducciones en su ingreso potencial, encontrándose a manera de ejemplo las disminuciones de rendimiento y calidad de un cultivo, debido al retraso en la cosecha (HUNT,1980).

Para OZKAN *et al.*, (1990), señalan que no solo la diferencia entre labores condiciona un monto determinado en pérdidas, sino que también el clima del lugar. Así el adelanto de una siembra en un lugar de frecuentes heladas puede significar una gran merma en un establecimiento temprano.

2.3 Medición de la capacidad de los equipos.

Para BOWERS (1992), corresponde a un índice de rendimiento, el cual es dependiente del tipo de maquinaria, éste valor es medido en términos de cantidad por unidad de tiempo, siendo la Capacidad de campo ($ha \cdot h^{-1}$) la más utilizada, expresando de ésta manera el rendimiento del equipo, otras medidas de menor recurrencia son el Rendimiento total ($t \cdot h^{-1}$) y la Capacidad de material ($qm \cdot h^{-1}$).

2.3.1 Capacidad teórica de trabajo (CTT). IBAÑEZ y ABARZUA (1988), la definen como la producción máxima que se podría obtener, si la máquina trabaja en forma

continuada, a una velocidad de avance constante y ocupando en todo momento su ancho total de trabajo. Teóricamente, al aumentar el ancho o velocidad de trabajo, se aumenta en la misma medida de la CTT. Sin embargo, no ocurre en todos los casos, ya que un aumento excesivo del tamaño de la máquina, demandará una mayor disponibilidad de potencia, lo que se traduce en una disminución en la velocidad de avance pudiendo expresarse a través de la siguiente fórmula:

$$CTT = \frac{a * v}{10} \quad (2.10)$$

En consecuencia:

CTT : es la capacidad teórica de trabajo [ha*h⁻¹]

a : ancho de trabajo [m]

v : velocidad de operación [km*h⁻¹]

2.3.2 Capacidad efectiva de trabajo (CET). Éste concepto puede expresarse como la cantidad real de hectáreas trabajadas por unidad de tiempo, tomando en cuenta todos aquellos periodos improductivos por concepto de operación y servicios auxiliares de la maquinaria (IBÁÑEZ y ABARZUA,1988) (2.11).

$$CET = \frac{a * v * (1 - t_m)}{10} \quad (2.11)$$

Expresándose como:

CET : es la capacidad efectiva de trabajo [ha*h⁻¹]

a : ancho de trabajo [m]

v : velocidad de operación [km*h⁻¹]

t_m : tiempo muerto en fracción decimal

La capacidad efectiva en el campo incluye además el concepto de eficiencia, el cual representaría el trabajo real o verdadero en un tiempo determinado (IBÁÑEZ y ABARZUA, 1988).

2.3.4 Eficiencia de campo. Puede expresarse como el cociente entre la capacidad efectiva de trabajo y la capacidad teórica de trabajo (IBÁÑEZ y ABARZUA, 1988). Existen diversos factores que afectan la eficiencia de campo los cuales son descritos brevemente por (HUNT, 1986) :

2.3.4.1 Sistema de Trabajo. Se refiere principalmente a la manera de realizar las labores dentro de un predio, éstas pueden llevarse a cabo como trabajos en cabeceras, en círculo (o Troya), trabajos continuos (o de vuelta y vuelta), donde la elección del sistema dependerá fundamentalmente del tipo de labor y del diseño del implemento, con el propósito de reducir las pérdidas de tiempo y, por consiguiente disminuir los costos de operación y aumentar el área servida.

2.3.4.2 Forma y Tamaño del terreno. Esta variable hace relación entre la concordancia que debe existir entre el tamaño del equipo y la correcta subdivisión de los potreros, con el propósito de poder determinar que sistema se ajusta en mayor medida a los requerimientos de calidad y duración de la labor.

2.3.4.3 Capacidad teórica de trabajo de la máquina. Este indicador expresa la relación inversa existente entre las variables que constituyen la CET, debido a que a mayor tamaño y velocidad de operación tendremos dificultades de maniobras y en el control de traslapes.

2.3.4.4 Rendimiento del cultivo en máquinas de recolección. El tiempo consumido en detenciones de traspaso del producto a otro equipo de transporte, puede ser estimado por el número de altos realizados durante la labor en una superficie dada en relación con el tiempo que se invierte en cada uno de éstos acontecimientos, explicitándose en (2.12).

Donde:

t_m : tiempo consumido en cada traspaso [h].

R : rendimiento productivo del cultivo [$\text{qm} \cdot \text{ha}^{-1}$].

C : es la capacidad de la tolva acopiadora [qm].

t : tiempo invertido en cada detención [h].

$$t_m = \frac{R}{C} * t \quad (2.12)$$

Por lo tanto, la eficiencia (ef) se expresaría como tiempo teórico de trabajo (TET):

$$ef = \frac{\frac{10}{a * v}}{\frac{10}{a * v} + \frac{R * t}{C}} \quad (2.13)$$

2.3.4.5 Dosis de Aplicación de insumo en máquinas de distribución. Para este ítem existen dos formatos distintos para el cálculo de la eficiencia, el primero de ellos hace referencia a los equipos accionados por ruedas de transporte, debido a que el caudal de entrega es proporcional a la velocidad de avance del equipo. Por ejemplo sembradoras de cereales, papas y algunos distribuidores de fertilizantes y de estiércol, el tiempo perdido en las recargas, será la cantidad de detenciones en una superficie dada.

Por lo tanto:

t_m : tiempo consumido en cada traspaso [h].

D : es la dosis de semilla o fertilizante aplicado [$\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$].

C : es la capacidad de la tolva acopiadora [kg].

t : tiempo invertido en cada detención [h].

$$t_m = \frac{D}{C} * t \quad (2.14)$$

Por lo que la eficiencia, sería expresada como (TET):

$$ef = \frac{\frac{10}{a * v}}{\frac{10}{a * v} + \frac{D * t}{C}} \quad (2.15)$$

La segunda modalidad se refiere a equipos accionados por el eje toma de fuerza de un tractor o que son solo movilizadas por un tractor y su accionamiento proviene de un motor independiente, siendo el caudal de entrega independiente de la tasa de avance que se logra, como ejemplo se encuentran los pulverizadores hidráulicos en que el caudal total se infiere del número de boquillas de aplicación y del de cada una de ellas. En éste caso se debe considerar que la dosis es una función de la velocidad de avance.

$$D = \frac{600 * Q}{a * v} \quad (2.16)$$

Siendo:

D : es la dosis del insumo a aplicar [$\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$].

Q : corresponde a el caudal total de descarga de la tolva [$\text{L} \cdot \text{h}^{-1}$].

Remplazando:

$$ef = \frac{\frac{10}{a * v}}{\frac{10}{a * v} + \frac{600 * Q * t}{a * v * C}} \quad (2.17)$$

Simplificando por $\frac{10}{a * v}$:

$$ef = \frac{1}{1 + \frac{60 * Q * t}{C}} \quad (2.18)$$

2.3.4.6 Condiciones del cultivo o del suelo. La presencia de canales, árboles y obstáculos, las características del drenaje, pendiente, enmalezamiento y otras condiciones del terreno, dificultan la circulación de los equipos, determinando la mayor o menor pérdida de tiempo en la ejecución de las labores. La adecuación a éstas condiciones al nivel de mecanización empleado, contribuye fuertemente a mejorar la eficiencia de campo.

2.4. Selección por Tamaño. Para DANOK et al., (1980), es conocida comúnmente como “Selección constreñida en el tiempo”, pues trata de establecer el tamaño mínimo de maquinaria capaz de ejecutar todo el trabajo en el tiempo disponible, dependiendo de los aspectos agronómicos del sistema de producción y de las condiciones meteorológicas.

OSKOU (1983), establece que entre los aspectos agronómicos relevantes se encontrarían el periodo recomendado para siembra, control de malezas y cosecha entre otros, los cuales son posibles de conocer a través de las diversas recomendaciones para las zonas en estudio.

2.5 Factores climáticos que influyen en la mecanización predial

Existen diversos factores climáticos que afectan las labores agrícolas, lo que repercutiría directamente en la realización del calendario de tareas dentro de un predio, y en consecuencia generaría un efecto económico (HUNT,1980).

HETZ y RIQUELME (1987), señalan que el clima en sí, cambia de un año a otro, de tal manera que constituiría una variable de tipo estocástica sobre la cual el

agricultor no tiene ningún control, siendo posible su estimación a través de modelos probabilísticos.

2.5.1 Precipitaciones. El interés principal de estudiar las aguas lluvias consiste en conocer los regímenes pluviométricos y cuantificar los márgenes de disponibilidad de agua y determinar sus ciclos diarios, anuales o estacionales debido a su efecto en la oportunidad del laboreo del suelo (MONSALVE,1999).

2.5.2 Evapotranspiración. Corresponde a la sumatoria de los términos transpiración y evaporación, el primero de ellos es el agua que ha penetrado las raíces de las plantas siendo utilizada en la construcción de tejidos y reintegrada a la atmósfera (MONSALVE,1999).

Por su parte la evaporación es el agua que ha cambiado a estado gaseoso directamente desde el suelo o desde la superficie de las plantas, la pérdida combinada a través de éstos procesos se conoce como evapotranspiración, que es la responsable de la mayor pérdida de agua de los suelos bajo condiciones normales de campo (BUCKMAN, 1966).

Los factores antes señalados además de la humedad relativa, velocidad del viento, temperatura y horas de sol tendrían efectos decisivos en la realización de labores complementarias de un cultivo, siendo de suma importancia para las labores de labranza y siembra el contenido de humedad del suelo y las características físicas del suelo (HUNT,1980).

2.6 Consistencia del suelo.

Corresponde a la manifestación que expresa el comportamiento del suelo ante la fuerza de atracción gravitacional, la presión, la tracción y la tendencia de adherirse a cuerpos extraños. Esto incluye la resistencia a la compresión, al esfuerzo cortante, friabilidad, plasticidad y glutinosidad. Todas estas propiedades se manifiestan de modo diferente según varían las fuerzas de cohesión y adhesión en la masa del suelo (FORSYTHE,1975).

2.6.1 Estados de Consistencia. Los límites de consistencia y los índices relacionados con ellos, han sido muy útiles para caracterizar mecánicamente los suelos. Se concibe que un suelo puede existir en cuatro estados de consistencia según humedad. Así se le puede encontrar en estado sólido cuando está seco, y al aumentar el contenido de agua pasaría a los estados friable, plástico y finalmente líquido (TAYLOR, 1972).

2.7 Selección por Costo.

ASAE (1995), lo ha definido como aquel proceso, en que los equipos e implementos son valorados en el contexto de un comportamiento operacional esperado; donde el aspecto económico adquiere vital importancia debido a que a menudo corresponde a una inversión de gran magnitud y no es revocable en el corto ni en el mediano plazo. Para HETZ (1990), solo conformaría una problemática, de tipo económico, debido a que deben incluirse todos los costos fijos y variables, pues lo que se busca es el equipo de mínimo costo a partir de la selección por tamaño.

Para autores como FRANK (1977) y FONTAINE (1993), tal vez la única forma de abordar esta situación es lograr dar una respuesta a las siguientes interrogantes:

2.7.1 ¿Qué equipos se deben comprar?. Aquí se conjugan diversos índices de tipo cualitativo los cuales dependerían del tipo de operación a realizar, la tecnología a aplicar, la marca a adquirir, el modelo del equipo y la accesibilidad al servicio técnico.

2.7.2 ¿Cuánto comprar?. Existen diversos factores de decisión como los requerimientos de trabajo dentro de un predio, versus la disponibilidad de las máquinas y el clima imperante en la zona en cuestión.

2.7.3 ¿Comprar o arrendar?. La adquisición de nuevos equipos, significa una inversión que podría resultar antieconómica sino esta bien estudiada, sin embargo para decidir sobre un sistema de arrendamiento de maquinarias los parámetros más importantes a considerar son las horas de uso anual, la calidad de la labor y la oportunidad de ésta.

Con el propósito de incorporar las tres grandes interrogantes de la mecanización, el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), ha actualizado la Figura 2, en la cual se exponen las diversas etapas que deben realizarse antes de seleccionar cualquier maquinaria en forma analítica.

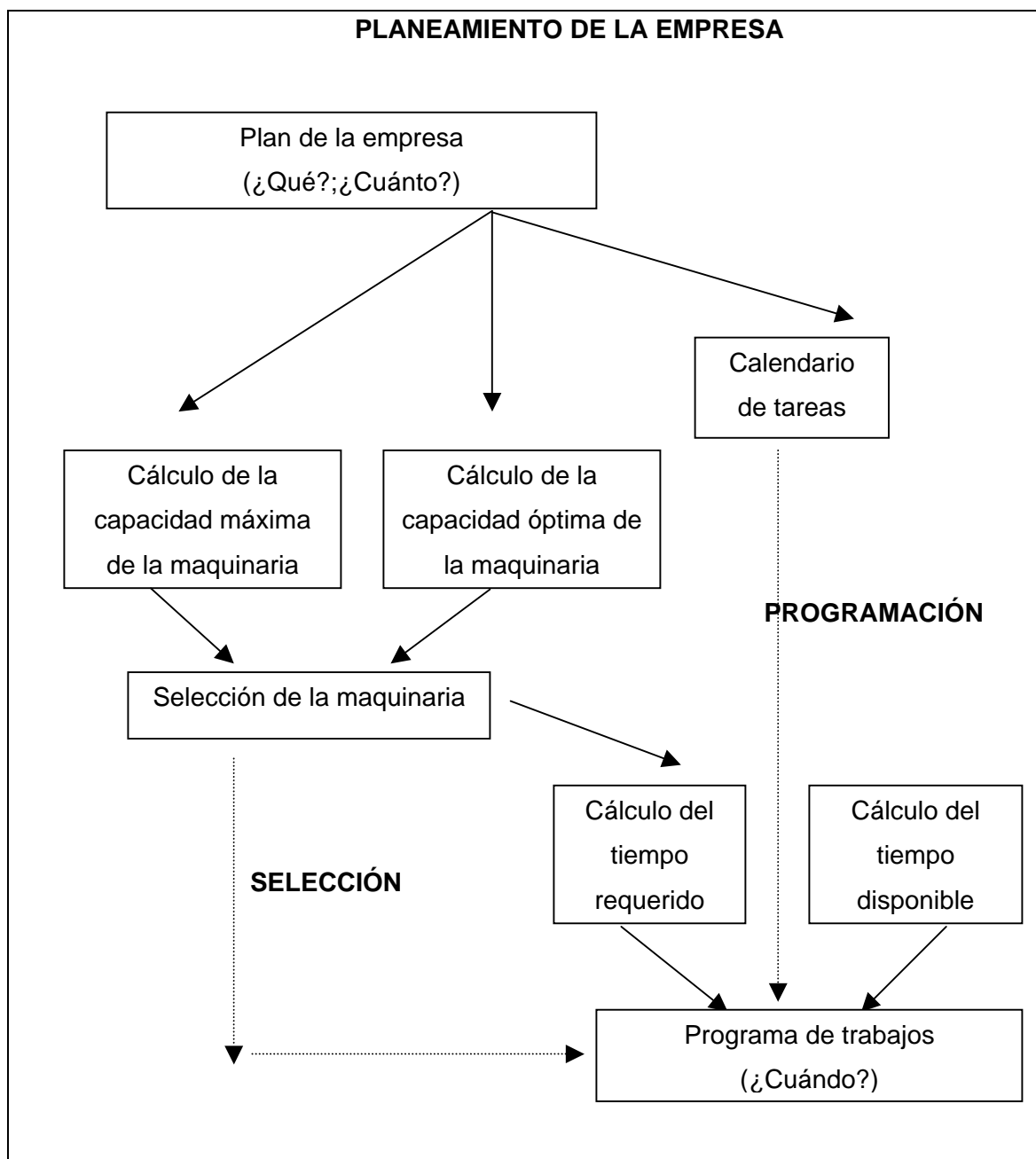


FIGURA 2 Selección y Programación de la maquinaria.

FUENTE: INTA (2004) adaptado de FRANK (1977).

3 MATERIAL Y METODO

3.1 Materiales.

El presente estudio se realizó sobre la base de la información generada por la administración del Fundo Los Canelos, ubicado en el sector de Ñadi-Nochaco, coordenadas UTM*, 5.471.450 m Norte y 678.750 m Este, detallándose su ubicación en el Anexo 3.

A partir de lo anteriormente señalado, se estableció el inventario de maquinaria del predio, constándose número de equipos, características como ancho de trabajo, capacidad de depósitos y año de fabricación (Anexo 4).

Los equipos existentes fueron comparados con las diversas alternativas de mercado, y en oferta de arriendo bajo condiciones similares de trabajo a partir de las características propias de cada implemento (Anexos 5 y 6).

Para el desarrollo del modelo climático se utilizaron 21 años de registros meteorológicos diarios, provenientes de la estación experimental Remehue perteneciente al Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), los que corresponden al período comprendido entre el 1 de enero de 1983 y el 31 de diciembre de 2003. La estación climatológica se encuentra localizada en las coordenadas UTM* 5.507.550 m Norte y 661.650 m Este, a una altitud de 73 m.s.n.m.

En cuanto a los análisis de costos, cálculo de la eficiencia de campo, determinación de los límites de consistencia y de los días de campo se utilizó el programa Microsoft Excel 2000. Para la estructuración y resolución de la matriz se utilizó la Programación Lineal a través de la herramienta de optimización y asignación de recursos Solver del complemento anteriormente citado.

* coordenadas referidas al elipsoide internacional, datum sudamericano 1956.

3.2 Método.

3.2.1 Cálculo de la eficiencia de campo. Para éste propósito se procedió a confeccionar planillas en las que se estimó este valor (Anexo 7, 8 y 9), considerándose diversas variables según las labores realizadas en cada cultivo, las cuales son detalladas en los Cuadros 1, 2 y 3.

Cuadro 1 Variables consideradas en el cálculo de la eficiencia de campo, para una preparación de suelos.

Labor	Variable	Unidad
Preparación de suelos	Sistema de trabajo	---
	Largo y ancho del potrero	[m]
	Largo y ancho de cada pasada	[m]
	Velocidad de operación	[km*h ⁻¹]
	Velocidad en cada vuelta	[km*h ⁻¹]
	Velocidad al final de las cabeceras	[km*h ⁻¹]

Cuadro 2 Variables consideradas en el cálculo de la Eficiencia de Campo, para labores de tipo complementario.

Labor	Variable	Unidad
Complementarias	Dosis de aplicación	[kg*ha ⁻¹ ; L*h ⁻¹ y qm*ha ⁻¹]
	Capacidad de la tolva	[kg, L, qm]
	Ancho operacional	[m]
	Velocidad de Operación	[km*h ⁻¹]
	Tiempo de pérdida con cada relleno	[h]
	Tiempo de descarga	[min]

3.2.2 Estimación del uso anual. Para el cálculo del costo horario, se procedió a cuantificar el número de horas de uso estimadas para cada maquinaria, en relación con su tiempo real de trabajo. Por lo que se elaboraron diversos formularios de cálculo (Anexo 10) para cada uno de éstos equipos, detallándose en el Cuadro 4 las variables consideradas.

Cuadro 3 Variables consideradas en el cálculo de la Eficiencia de Campo, para la elaboración de un ciclo de trabajo.

Labor	Variable	Unidad
Cosecha	Rendimiento del cultivo	[t*ha ⁻¹]
	Capacidad de la tolva	[t]
	Ancho operacional	[m]
	Velocidad de operación	[km*h ⁻¹]
	Tiempos de descarga	[h]
	Trayecto	[km]
	Velocidad del equipo cargado	[km*h ⁻¹]
	Velocidad del equipo vacío	[km*h ⁻¹]
	Capacidad de cada coloso	[t]
	Capacidad total del sistema	[t]

Cuadro 4 Variables consideradas en el cálculo del uso anual.

Variable	Unidad
Ancho de trabajo	[m]
Velocidad de operación	[km*h ⁻¹]
Eficiencia de campo	[%]
Número de pasadas	[n]
Número de hectáreas de trabajo	[ha]

3.2.2 Determinación del costo horario. El formulario presente en el (Anexo 11), fue diseñado para facilitar el cálculo de los costos de operación de un equipo agrícola, en el que se incluyen las siguientes secciones:

3.2.2.1 Valor inicial. Su monto representaría el valor de compra de la maquinaria en el mercado.

3.2.2.2 Valor residual. Para su estimación, se siguió lo propuesto por IBAÑEZ y ROJAS (1994), quienes hacen referencia a un 20% del valor inicial para equipos con motor y de un 10% para implementos no autopropulsados.

3.2.2.3 Valor promedio. Es la media de los parámetros anteriormente señalados.

3.2.2.4 Método de depreciación. Para efectos de éste estudio se utilizó la suma de dígitos, la cual reflejaría con mayor exactitud la realidad de la maquinaria agrícola, estabilizándose al término de su vida útil, en cifras cercanas a las anteriormente citadas (TURNER,1993). Cabe señalar que la clasificación de éste ítem como fijo o variable, estuvo condicionada a las horas de uso anual de cada implemento.

3.2.2.5 Almacenamiento y riesgo. Para el primero de éstos ítem, se empleo el valor propuesto por HUNT (1986), que corresponde al 0,5% anual del valor inicial del implemento. Con respecto al segundo correspondió al pago por efecto de seguros, cuyos montos para el caso de maquinaria autopropulsada serían cercanos a un 0,9% anual e implementos de tiro cancelarían un 0,7% anual del valor de compra.¹

3.2.2.6 Interés a la inversión. Correspondió a la aplicación de la tasa de captación bancaria, la cual se situó en 6% anual en mayo de 2004.

3.2.2.7 Mantenciones y reparaciones. Al no existir registros confiables acerca de cada implemento, y para poder realizar las diversas comparaciones entre los diversos implementos, se utilizaron los modelos propuestos por ASAE (1995), ya que éstos consideran las horas de uso anual como factor preponderante además del tipo de maquinaria utilizada.

3.2.2.8 Consumo de combustible. Para autores como HETZ (1990) e IBAÑEZ y ABARZUA (1988), señalan que este ítem es el de mayor complejidad en su forma de cálculo, debido al gran número de parámetros a considerar, por lo que se privilegió las funciones propuestas por ASAE (1980).

¹ VIVANCO,H. Ing.Com., Liquidador de Seguros Agrícolas. Comunicación Personal.

3.2.2.9 Mano de obra. Se estimó directamente de las planillas de salarios, determinándose mediante la división entre el costo anual del equipo y el número de horas de trabajo efectivo.

3.3 Determinaciones físicas del suelo. Se obtuvieron 32 muestras correspondientes a los primeros 15 cm de suelo, de los sectores del predio, llamados La Poza y León correspondientes a la serie Frutillar, las que fueron analizadas en el Laboratorio de Física de Suelos, del Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos.

3.3.1 Densidad aparente y espacio poroso. La densidad aparente se calculó a partir de muestras de suelo no disturbado, extraídas con cilindros, siendo la densidad real calculada mediante el método del picnómetro al vacío. A partir de ambas cifras se determinó la porosidad total (KEZDI,1980).

3.3.2 Determinación de los límites de consistencia. Estos fueron estimados a partir de suelo disgregado de los dos sectores antes mencionados, el cual fue secado al aire y posteriormente tamizado. La metodología empleada se realizó siguiendo la norma internacional propuesta por la AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM) 423-66 (WIRES,1985).

3.3.2.1 Límite plástico. Corresponde a la humedad mínima, en que el suelo aún puede rodarse o moldearse, formando hilos de 3 mm de diámetro no fragmentado (KEZDI,1980).

3.3.2.2 Límite líquido. Es una técnica que consiste en colocar la muestra de suelo en un alabe de Casagrande, formando una ranura de dimensiones específicas, logrando su cierre con 10 mm de longitud. El valor del límite se estima a través de una recta logarítmica que expresa el número de golpes versus el contenido de humedad (KEZDI,1980).

3.3.2.3 Límite fino. Se determinó mediante el aparato de Marui, el cual consta de un recipiente donde es ubicada la muestra de suelo, verticalmente se encuentra un cono de aproximadamente 60 g, conectado a un aparato que indica el número de vueltas en

relación con la penetración del cono, encontrándose estandarizado al realizar una de éstas (KEZDI,1980).

Posteriormente cada una de las muestras, fueron colocadas en placas Petri las que se introdujeron al horno a 105°C, obteniendo su nivel de humedad por diferencia entre suelo seco y húmedo. mediante la siguiente formula:

$$\% P_w = [\text{masa de suelo húmedo} - \text{masa de suelo seco} / \text{masa de suelo seco}] * 100 \quad (3.1)$$

Una vez que se obtuvo, cada uno de los valores expresados en el Cuadro 5 se procedió a graficarlos utilizando el concepto de estado de situación propuesto por Kezdi (1980), citado por REYES (1991). Con el fin de determinar los rangos mínimos y máximos de humedad para cada sector.

3.4 Antecedentes climáticos para la selección de los posibles días de trabajo.

La zona en estudio posee un clima de tipo templado-húmedo, con una temperatura media de 12° C y una precipitación media anual de 1500-2000 mm, que cae mayoritariamente durante los meses de junio y julio (Anexo 12).²

3.4.1 Preparación de suelos y siembra. Se consideraron como limitantes aquellas precipitaciones diarias, iguales o superiores a 2 mm, las que impedirían un buen desempeño en el tráfico de equipos sobre el terreno y por ende en la realización de labores primarias y secundarias en el suelo (HETZ y RIQUELME,1987).

Para FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (1985) (FAO), Lluvias iguales o superiores a 6 mm de características aditivas el día anterior a la faena, impedirían la realización de la labranza del suelo, éste criterio hace relación a la menor evaporación de bandeja en los meses correspondientes a la ejecución de estas faenas.

² VALDEBENITO, A. (2004). Ing.Ejec.Agr., Estación Experimental Remehue, Instituto Nacional Investigaciones Agropecuarias. Comunicación Personal.

Otros dos factores de importancia, son el rango friable del suelo y las distintas fechas óptimas de siembra para cada cultivo, las cuales fueron obtenidas a través de publicaciones realizadas por INIA Remehue, producto de diversos ensayos de campo, o en su defecto a comunicaciones personales realizadas a especialistas de ésta institución.

3.4.2 Operaciones complementarias. MATTHEWS (2001), ha planteado que cuando se exceden ciertos valores de precipitación, velocidad del viento, temperatura máxima y humedad relativa en forma diaria. Las aplicaciones de fertilizantes, control de malezas, aplicaciones de purines y pesticidas resultan ineficientes, ya sea por efectos de higroscopia, dilución, lavado, evaporación de gotas y deriva de productos, incidiendo por ende en una menor cantidad de posibles horas de trabajo, para la realización de estas labores. Al consultar ASAE (1999) y otras fuentes de información, se establecieron los siguientes parámetros en la selección de cada posible día de labor, Velocidad del viento no perceptible ($< 1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$), temperatura máxima ($< 28^{\circ}\text{C}$), humedad relativa (30-95%).

Con respecto a las precipitaciones tendrían un efecto directo en el tipo de herbicida a aplicar, aquellos de preemergencia no se verían afectados por el aporte de aguas-lluvia, sin embargo para el caso de los controladores de malezas del tipo gramínicida, se recomendaría su aplicación transcurridas al menos 24 horas post evento.³

3.4.3 Cosecha. HUNT (1980), establece que lluvias iguales o superiores a 1 mm diario, humedecen de tal manera la vegetación, que no es posible cosechar adecuadamente cultivos forrajeros ni praderas.

Para FAO (1985), precipitaciones superiores a 3 mm el día anterior a ésta labor, en faenas ubicadas entre los meses de mayo a noviembre, y de 6 mm diciembre a

³ FUENTES, R. (2004).Ing. Agr., M. Sc. Instituto de Producción y Sanidad Vegetal, Universidad Austral de Chile. Comunicación Personal

abril, representaría una limitante basada en los valores de evaporación de bandeja para ambos periodos.

Con respecto al nivel de humedad del suelo, idealmente se evita que éste se encuentre saturado, principalmente por las pérdidas de tracción entre los distintos equipos agrícolas (HASSAN y BROUGHTON,1983).

Para el caso de la avena destinada a producción de grano se estableció un criterio de cosecha, que involucra el nulo aporte de precipitaciones diarias.³

FAO (1985), señala la inconveniencia en la realización de ésta labor por efecto de lluvias de carácter aditivo, además de la importancia de la humedad relativa, la cual no debería superar el 50% debido a posibles problemas en una cosecha mecanizada.

En relación con la cosecha de papas, el nivel de precipitaciones no sería tan relevante como el nivel de humedad del suelo, siendo ideal la realización de su cosecha en estado friable para evitar el aterronamiento del suelo sobre el tubérculo y de allí posibles enfermedades.³

Otro factor corresponde a las fechas óptimas de cosechas, las cuales también fueron obtenidas partir de INIA Remehue en relación a su época de siembra (Anexo14).

3.5 Balance de humedad. Fue establecido como un sistema de deducción teórico, basado en cálculos aritméticos de los registros anteriormente citados, a partir de los cuales se obtuvieron datos diarios de precipitaciones y evaporación de bandeja asociando éste último al coeficiente k de cada cultivo.

La metodología empleada en este ítem correspondió al balance de humedad propuesto por Rojas (1984), citado de ORTEGA (2000), con algunas modificaciones:

- El estudio partió de la premisa que el suelo se encontraba con un nivel de humedad mínimo, el día 1 de Enero de 1983, a ese contenido inicial de agua en el suelo, se le

adicionaban las ganancias de agua por precipitación, al mismo tiempo que se descontaba la incidencia de la evapotranspiración real, incorporando el factor de resistencia del suelo (FRS), mediante la siguiente fórmula:⁴

$$FRS = 5 / (5 + 10000 * (e^{(-15((h_s - h_{s-1}) / S_s)^{0.5})})) \quad (3.2)$$

Describiéndose como:

h_s humedad del suelo de la semana (mm)

h_{s-1} humedad de la semana anterior (mm)

S_s saturación del suelo en (mm)

- Una vez iniciado el periodo de lluvias todo exceso por sobre su capacidad de retención, se consideró como una pérdida por escorrentía superficial en forma diaria, debido a que el suelo en estudio corresponde a un Ñadi de la serie Frutillar, siendo una de sus principales características la reducida pendiente de estos terrenos, además de la presencia de una capa de fierillo con muy baja permeabilidad, ubicada a profundidades variables entre los 20-80 cm.

- Con respecto a la determinación de la infiltración a través del fierillo como parte del balance de humedad, se consideró un valor de $0,5 \text{ cm} \cdot \text{día}^{-1}$ una vez saturado el suelo debido a la casi nula existencia de estudios acerca del movimiento de agua en un suelo de estas características.⁵

- ORTEGA (2000), concuerda con el valor antes mencionado, señalando además que disminuiría en directa relación con la carga de agua acumulada, por lo que una vez iniciado el periodo de déficit hídrico se reduciría a la mitad cada vez que ocurra un evento pluviométrico.

Para una mayor comprensión de la metodología empleada, se presenta la Figura 3.

⁴ PINOCHET, D. (2005). Ing.Agr., M.Sc. Ph.D. Universidad Austral de Chile. Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos. Comunicación Personal.

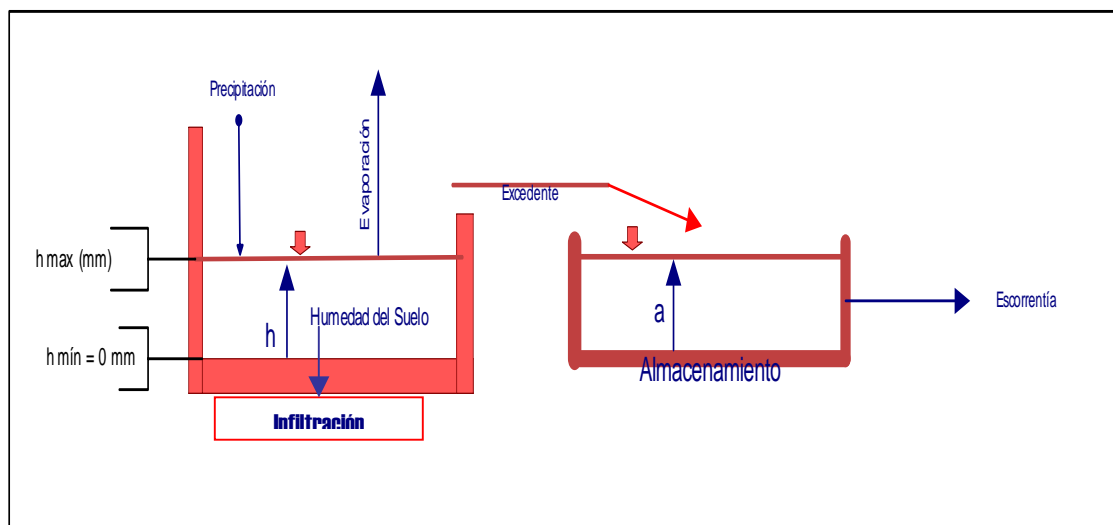


FIGURA 3 Esquema del Balance de humedad utilizado.

FUENTE: modificado de ORTEGA (2000).

3.6 Conformación de la base de datos.

En relación con los criterios indicados en 3.4.1, se confeccionaron planillas con los diversos días aptos para cada labor y se obtuvo la probabilidad de éstos, utilizando el análisis de frecuencia acumuladas de Weibull.

-Se ordenan los años de los eventos en relación con sus respectivas semanas, independientes de su ubicación diaria.

-Tomando en cuenta los criterios utilizados en cada labor, se procedió a seleccionar mediante funciones lógicas, aquellos días de trabajo que cumplían con los requisitos estipulados.

-Estos valores se ordenan de mayor a menor asignándosele la siguiente probabilidad

de excedencia:
$$\frac{m}{[N + 1]} \quad (3.3)$$

⁵ NISSEN, J. (2004). Ing.Agr., Dr.rer.hort. Universidad Austral de Chile. Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos. Comunicación Personal.

-En donde N correspondería al número de valores totales de la serie y m es el número de orden asignado a cada valor de la serie ordenada.

-Esta probabilidad asignada, es uniformada por el promedio de las probabilidades asociadas con valores ordenados.

-El número de días apropiados al nivel de probabilidad al 50%, fue obtenido directamente del ordenador, para el 80% se cálculo mediante interpolación lineal, representando el mínimo número de días apropiados que pueden esperarse que ocurra en cinco o en ocho de cada 10 años.

3.7 Estructuración de la matriz de Programación Lineal.

Con el propósito de elaborar una matriz de coeficientes se procedió en tres etapas:

-Recolección y análisis de la información necesaria a programar.

-Cálculo de los costos de cada maquinaria tanto propia de mercado y arrendada, considerando las restricciones de cada recurso.

-Combinación de las actividades, lo cual es realizado en el caso de la programación lineal por un computador.

El diseño de la matriz de PL plantea como variables de decisión o actividades la maquinaria presente en el predio, con sus respectivos costos por hora ($\$ \cdot h^{-1}$), además de integrar a éste sistema maquinaria de mercado, con el fin de determinar su posible inversión y maquinaria arrendada, para justificar su alquiler en relación con su uso anual.

La función objetivo del sistema corresponde a una minimización de costos la cual se obtuvo del conjunto de maquinarias seleccionadas, siendo todos los precios considerados al mes de mayo de 2004 (1US \$ 570).

Las restricciones corresponden principalmente; a la superficie de trabajo en que es utilizado el equipo, teniendo como coeficiente técnico el rendimiento de la maquinaria ($ha \cdot h^{-1}$). Ejemplificando se tiene la siguiente ecuación:

$$0,4 * ARP + 0,29 * ARM + 0,26 * ARA \geq 54ha \quad (3.4)$$

Siendo:

ARP: Arado rotativo propio

ARM: Arado rotativo de mercado

ARA: Arado rotativo arrendado

También existen algoritmos restrictivos de tipo climático representados por los posibles días de trabajo en el año, los cuales representarían las diversas faenas efectuadas en el predio. Utilizando como coeficiente técnico la presencia o ausencia de cada implemento con respecto a cada labor.

Una vez actualizados los valores y aplicaciones que conforman la matriz de coeficientes, se procedió a resolver la macro Solver. El tiempo que tarda en llegar a una solución varía de acuerdo, al grado de complejidad de la aplicación escogida, pues no siempre hay una solución que englobe el total de restricciones. Para nuestro caso en particular, el óptimo se obtuvo en la iteración número 18, pues hay que recordar que corresponde a una metodología de prueba y error.

3.7.1 Determinación de los anchos óptimos. De éste modo una vez obtenidas las horas optimizadas de cada implemento seleccionado se procedió a realizar un balance, en el que se igualó el tiempo requerido (t_r) por labor con el tiempo disponible (t_d).

Definiéndose como:

$$t_r = \frac{10 * S}{v * a * ef} \quad (3.5)$$

Donde:

S : superficie efectiva de trabajo [ha]

v : velocidad de operación [$\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$]

a : ancho operacional [m]

ef : eficiencia de campo [%]

Siendo $t_r = t_d$, se puede considerar que:

$$t_d = \frac{10 * S}{v * a * ef} \quad (3.6)$$

Por lo tanto:

$$a = \frac{10 * S}{t_d * v * ef} \quad (3.7)$$

4 PRESENTACION Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Determinación del rango Friable.

En el Cuadro 5, se expresan los límites de consistencia correspondientes a éste estudio, estos índices muestran elevados contenidos de humedad, coincidiendo con Ellies y Funes (1980), citados por FUENTES (1983), quienes sostienen que los suelos Ñadi presentan ésta característica, incluso los límites líquidos y plásticos superarían en magnitud a suelos trumaos y rojo-arcillosos.

Cuadro 5 Límites de consistencia.

Suelo/Sector : Ñadi-Frutillar	Límite de consistencia (%bss)			
	Líquido (LL)	Plástico (LP)	Fino (LF)	Rango friable
Profundidad (cm): 0-15				
La Poza	89,9	70	97,7	19,5-49,5
León	109	90	133	24-60

Esto indicaría que la labranza en éstos suelos puede retrasarse a épocas más húmedas, alargando así su posible periodo de laboreo. En condiciones mínimas de humedad, existe el inconveniente de modificar la estructura del suelo, por destrucción de agregados y pérdida de porosidad en monto total, como en redistribución por tamaño y pérdida de continuidad. Lo anterior establecería un gasto excesivo de energía en cada labor, incrementando de esta manera la potencia requerida⁵

Como se puede visualizar en la Figura 4, el rango mínimo de humedad (R_m) para este sector del predio sería de 19,5% bss y como máximo (R_M) 49,5% bss, teniendo como antecedentes de cálculo la porosidad total 73,6 %, densidad aparente $0,67 \text{ gr} \cdot \text{cm}^{-3}$, densidad real $2,54 \text{ gr} \cdot \text{cm}^{-3}$ y la profundidad del suelo 60 cm.

⁵ ELLIES, A. (2004) Ing.Agr., Dr.rer. hort. Universidad Austral de Chile. Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos. Comunicación personal.

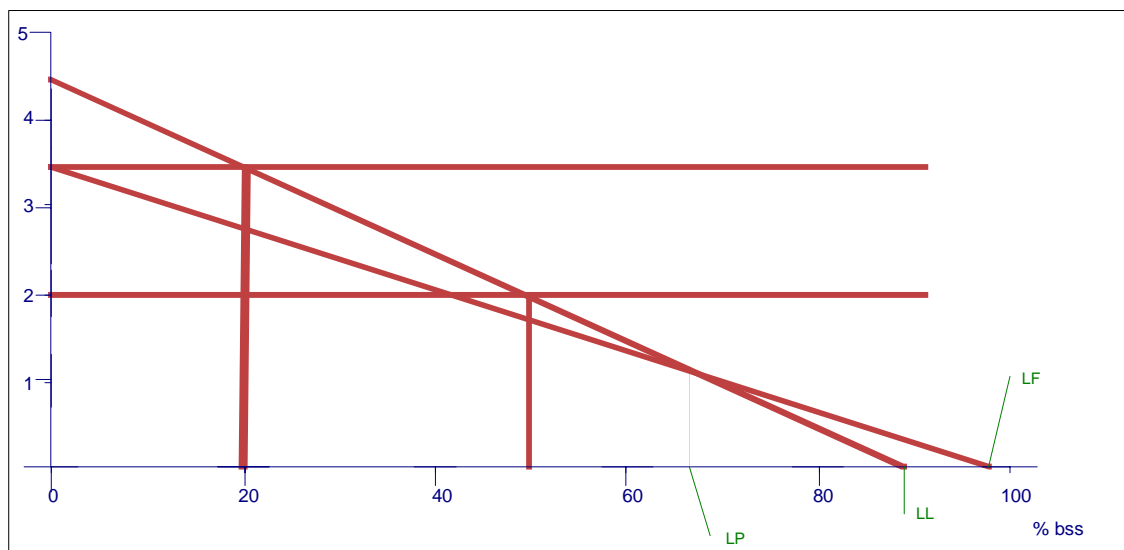


FIGURA 4 Rangos mínimos y máximos de friabilidad (Sector La Poza).

Se calculó la máxima saturación para éste suelo, la cual se alcanzó con 441.6 mm. En cuanto al rango friable, se situó entre los 199,995 mm como máximo y 78,39 mm como mínimo.

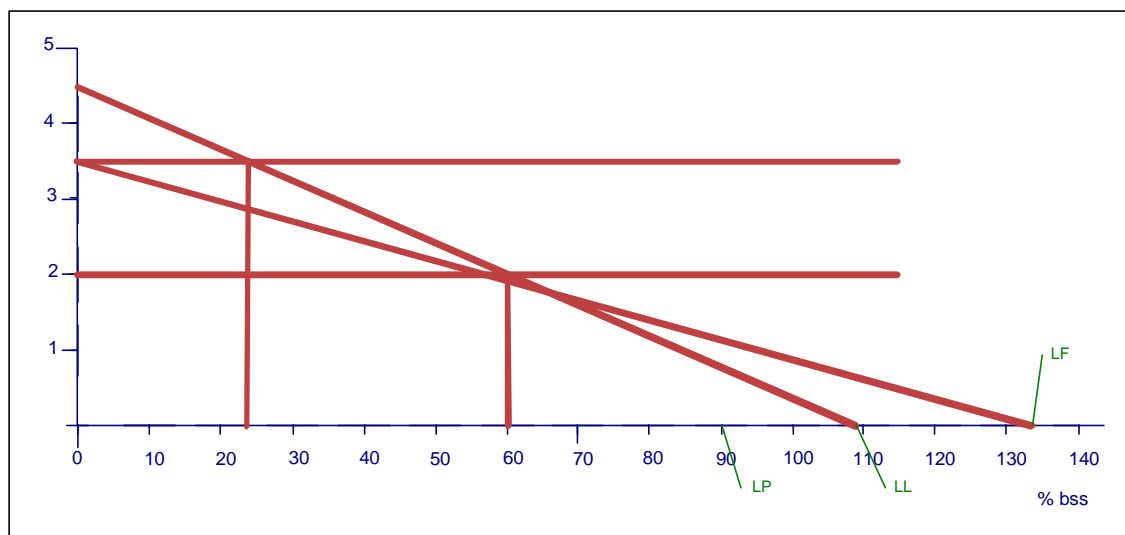


FIGURA 5 Rangos mínimos y máximos de friabilidad (Sector León).

La Figura 5 que representa el sector León, posee un rango mínimo de humedad (R_m), que correspondió a un 24 % bss y un máximo (R_M) de 60% bss, teniendo como antecedentes la porosidad total 70,3 %, densidad aparente 0,73 gr*cm⁻³, densidad real

2,46 gr*cm⁻³ y la profundidad del suelo 50 cm, se determinó que su nivel de saturación se alcanzaba con 351,5 mm y su rango friable fluctuaba entre los 87,6 y los 219 mm.

4.2 Calendario de labores

En el Cuadro 6 se presentan los diversos periodos de ejecución de las labores agrícolas evaluadas en éste estudio. Es de importancia destacar el gran número de labores que se concentra durante el mes de octubre, lo cual generaría una gran interrogante en cuanto al costo de oportunidad en la realización de aquellas faenas relacionadas con la preparación de suelo, lo que sería resuelto a través de una adecuada programación de las labores en el predio.

CUADRO 6 Calendario de ejecución de faenas mecanizadas en el predio.

Sector León	Meses												
	EN	FE	MZ	AB	MY	JN	JL	AG	SP	OC	N	D	
Operaciones													
Aradura											x	xx	
Rastraje											x	xx	
Nivelación			xx								x		
Siembra de Maíz												xx	
Pulverización	xx		xx										
Fertilización													
Cosecha de Maíz		xx	xx										
Aradura											xxx		
Rastraje											xxx		
Nivelación											xxx		
Siembra de Papas											xxx		
Aplicación de Cal													
Pulverización	xxx								xxxx			x xx	
Fertilización											xxx		
Cosecha de Papas			x xx										
Aradura											xxx		
Rastraje											xxx		
Nivelación											xxx		
Siembra de Rabano											x x		
Aplicación de Cal			xxxx										
Pulverización	xxx												
Fertilización											xxx x		
Cosecha de Rabano	xx	xx											
Regeneración Pradera 26											xx		
Aplicación de Purines			xxxx										
Pulverización					x xxx						xx		
Fertilización		xxxx									xxx x		
Cosecha de la Pradera	xxxx											xx	
Regeneración Pradera 10											xx		
Aplicación de Purines			xxxx										
Pulverización					x xxx						xx		
Fertilización											xxx x		
Cosecha de la Pradera	xxxx	xxxx											

(continúa)

(Continuación Cuadro 6)

Sector La Poza	Meses											
	EN	FE	MZ	AB	MY	JN	JL	AG	SP	OC	N	D
Operaciones												
Aradura									x	xxx		
Rastraje									x	xxx		
Nivelacion										xxx		
Siembra de Col										xx		
Aplicación de Cal			xxxx									
Pulverización	xxxx											
Fertilización										xxxx		
Cosecha de Col					xx	xx						
Aradura										xxx		
Rastraje										xxx		
Nivelacion										xxx		
Siembra de Avena									x	xx		
Pulverización									xxxx			
Fertilización										xxxx		
Cosecha de Avena			xxxx									
Regeneracion de Ballica Perenne			xxxx									
Pulverización					xxxx				xxxx			
Fertilización			xxxx						xxxx			
Cosecha de Ballica Perenne	xxxx										xxxx	
Aradura									x	xx		
Rastraje									x	xx		
Nivelacion									x	xx		
Siembra de Ballica Tama									x	xx		
Aplicación de Cal			xxxx									
Pulverización					xxxx				xxxx			
Fertilización										xxxx		
Cosecha de la Ballica Tama	xxxx										xxxx	
Aradura			xxx									
Rastraje			xxx									
Nivelacion			xxx									
Siembra Avena-Ballica			xxxx									
Aplicación de Cal									xxxx			
Pulverización					xxxx					xxxx		
Fertilización			xxxx									
Cosecha de la Avena-Ballica	xxxx		xxxx			xx			xx		xxxx	

Nota: cada x corresponde a un lapso de 7 días.

4.3 Determinación de días aptos para labores de preparación de suelo.

En los Cuadros 7 y 8, se resumen las diversas fechas relacionadas con el laboreo y siembra del suelo, expresadas en días de trabajo, con su respectivo nivel de probabilidad, siguiendo los criterios antes establecidos en 3.4.1.

Al observar los cuadros antes mencionados, es importante destacar que al trabajar a un nivel del 80% de probabilidad, los días relacionados con laboreo se reducen drásticamente.

Esto demuestra que las recomendaciones de siembra de avena-ballica tama, son bastante riesgosas y requieren de una planificación adecuada, debido a que los niveles mínimos de humedad en el sector La Poza, coinciden con las fechas óptimas de siembra requiriendo de una preparación de suelo anterior, comprometiendo así la conservación de la estructura de éste suelo.

CUADRO 7 Número de días apropiados por semana en la preparación de suelos.

Sector La Poza		Nivel de probabilidad	
Semana	Fechas	50%	80%
9	26 febrero-4 marzo	2	0,9
10	5 marzo-11 marzo	2	0,8
11	12 marzo-18 marzo	3	1,6
12	19 marzo-25 marzo	5	2,5
13	26 marzo-1 abril	3	1,2
14	2 abril-8 abril	4	1,8
15	9 abril-15 abril	4	1,6
16	16 abril-22 abril	4	1,5
17	23 abril-29 abril	3	1
18	30 abril-6 mayo	3	1
19	7 mayo-13 mayo	2	0,5
20	14 mayo-20 mayo	2	0,8
39	24 septiembre-30 septiembre	3	1,4
40	1 octubre-7 octubre	4	2,2
41	8 octubre-14 octubre	5	2,4
42	15 octubre-21 octubre	5	3,2
43	22 octubre-28 octubre	4	2,1
44	29 octubre-4 noviembre	4	2,3
45	5 noviembre-11 noviembre	4	2
46	12 noviembre-18 noviembre	2	1,1

En consecuencia, en el sector denominado La Poza se dispondría de 68 días para la realización de los trabajos de labranza para una probabilidad de 50%, y de 31,9

días, con una probabilidad 80%. En tanto que para León se encontrarían 72 días a un nivel de probabilidad de 50%, y de 33 días para una probabilidad de 80%, explicándose ésta leve diferencia por la mayor amplitud de su rango friable.

CUADRO 8 Número de días apropiados por semana en la preparación de suelos.

Sector León		Nivel de probabilidad	
Semana	Fechas	50%	80%
10	5marzo-11marzo	2	1,1
11	12marzo-18marzo	3	1,6
12	19marzo-25 marzo	5	2,6
13	26 marzo-1abril	4	1,8
14	2abril-8abril	4	1,8
15	9abril-15 abril	4	1,6
16	16-22abril	4	1,7
17	23abril-29abril	3	1,1
18	30abril-6mayo	3	0,9
19	7mayo-13 mayo	3	1,2
20	14 mayo-20 mayo	2	0,5
21	21 mayo-27 mayo	2	0,6
40	1octubre-7 octubre	4	1,9
41	8octubre-14octubre	5	2,3
42	15octubre-21 octubre	5	2,4
43	22 octubre-28octubre	5	2,8
44	29 octubre-4noviembre	4	1,7
45	5 noviembre-11 noviembre	4	1,9
46	12 noviembre-18 noviembre	3	1,7
47	19 noviembre-25 noviembre	3	1,8

También se aprecia la existencia de semanas mejores que otras, como la semanas 12, 23, 24 y 25 en ambos sectores del predio, por sobre las 11 y 13 entregando un mayor número de días disponibles tanto al 50 % como al 80% de probabilidad para el mes de marzo.

De los Cuadros 7 y 8, se desprende que para las semanas numeradas como 8, 9, 21 y 38 existió una gran variabilidad climática durante los 21 años estudiados, donde se pudo alcanzar el nivel friable deseado, pero al realizar el análisis de frecuencia su aporte fue poco significativo.

4.3.2 Estimación de días aptos para labores de siembra.

En relación con la disponibilidad de días de trabajo para las labores de siembra, éstos se encontrarían delimitados por sus fechas óptimas de cultivo (Anexo 13). Denotándose en el Cuadro 9 el caso de la col forrajera, la cual según ensayos de campo realizados por TEUBER (1985), debiesen realizarse labores de siembra entre los días 1-15 de octubre para ésta zona.

Cuadro 9 Número de días apropiados para la siembra de col forrajera.

Sector León		Nivel de probabilidad	
Semana	Fechas	50%	80%
22	1octubre-7 octubre	4	1,4
23	8octubre-14octubre	5	2
24	15octubre-21 octubre	1	0,3

4.3.3 Determinación de días aptos para la aplicación de productos agroquímicos.

En el Cuadro 10 se presentan diversos periodos de aplicación de productos complementarios al cultivo, expresados en días de trabajo cumpliendo con los criterios descritos en 3.4.2.

Durante los meses de enero a abril se presenta la mayor cantidad de días aptos para la realización de aplicaciones de productos agroquímicos, esto se explica porque las temperaturas se mantienen bajo los 28°C, y la velocidad del viento no supera la cantidad de $1\text{m}^*\text{s}^{-1}$; cabe señalar que al analizar éstos datos, en forma primaria durante

el mes de agosto, se encontrarían las mayores pérdidas de días de trabajo por efecto de la velocidad del viento durante el año.

Al transcurrir los días de trabajo hacia la época invernal, éstos disminuyen, debido a una mayor incidencia de las precipitaciones diarias, especialmente durante los meses de junio y julio en los que se superaría largamente el criterio de selección diario, además del efecto producido por la saturación del suelo.

Cuadro 10 Número de días apropiados por semana para la realización de labores complementarias.

Operaciones complementarias		Probabilidad		Operaciones complementarias		Probabilidad	
Semana	Fecha	50%	80%	Semana	Fecha	50%	80%
1	1 enero-7 enero	4	2,4	27	2 julio-8 julio	2	1,5
2	8 enero-14 enero	5	3,1	28	9 julio-15 julio	1	0,6
3	15 enero-21 enero	3	2,2	29	16 julio-22 julio	2	1,2
4	22 enero-28 enero	4	2,4	30	23 julio-29 julio	1	0,6
5	29 enero-4 febrero	3	2,2	31	30 julio-5 agosto	1	0,3
6	5 febrero-11 febrero	3	2,1	32	6 agosto-12 agosto	2	1,2
7	12 febrero-18 febrero	2	1,8	33	13 agosto-19 agosto	1	0,3
8	19 febrero-25 febrero	3	2,4	34	20 agosto-26 agosto	2	1,4
9	26 febrero-4 marzo	3	2,2	35	27 agosto-2 septiembre	3	2,4
10	5 marzo-11 marzo	2	1,6	36	3 septiembre-9 septiembre	3	2,5
11	12 marzo-18 marzo	3	2	37	10 septiembre-16 septiembre	3	2,3
12	19 marzo-25 marzo	3	2,2	38	17 septiembre-23 septiembre	4	2,8
13	26 marzo-1 abril	2	1,2	39	24 septiembre-30 septiembre	3	2
14	2 abril-8 abril	3	1,9	40	1 octubre-7 octubre	3	2,1
15	9 abril-15 abril	4	2,5	41	8 octubre-14 octubre	3	2,3
16	16 abril-22 abril	2	1,5	42	15 octubre-21 octubre	3	2,4
17	23 abril-29 abril	2	1,4	43	22 octubre-28 octubre	4	2,9
18	30 abril-6 mayo	2	1,1	44	29 octubre-4 noviembre	3	2,5
19	7 mayo-13 mayo	1	0,5	45	5 noviembre-11 noviembre	4	2,9
20	14 mayo-20 mayo	2	1,1	46	12 noviembre-18 noviembre	3	2,1
21	21 mayo-27 mayo	2	1,4	47	19 noviembre-25 noviembre	3	2,3
22	28 mayo-3 junio	1	0,2	48	26 noviembre-2 diciembre	5	3,4
23	4 junio-10 junio	2	1,1	49	3 diciembre-9 diciembre	5	3,5
24	11 junio-17 junio	2	1,5	50	10 diciembre-16 diciembre	4	2,6
25	18 junio-24 junio	1	0,6	51	17 diciembre-23 diciembre	4	2,9
26	25 junio-1 julio	1	0,4	52	24 diciembre-31 diciembre	3	2,3

Una vez iniciada la primavera éstos posibles días de aptos vuelven a incrementarse paulatinamente, hasta alcanzar sus mayores valores la primera quincena del mes de diciembre.

Es importante destacar que existe una cantidad suficiente de días apropiados para la aplicación de productos agroquímicos, con un total anual de 140 días para una probabilidad de 50% y de 96,3 días para un 80% de probabilidad.

4.3.4 Estimación de días en labores de cosecha.

Analizando el tiempo disponible para la realización de labores de cosecha, es importante destacar el gran número de faenas realizadas durante los meses de otoño e invierno, lo que guarda especial relación con aquellos cultivos cosechados como forraje en verde. Con respecto a los diversos cultivos existentes en el predio, sus fechas y correspondientes probabilidades son detalladas en el Anexo 14.

A manera de ejemplo en el Cuadro 11, es posible apreciar los días disponibles para la cosecha de col forrajera con sus respectivos niveles de probabilidad, la finalidad de éste cultivo dentro del predio es su utilización como *soiling*, con un corte durante el mes de mayo, donde durante las dos primeras semanas se alcanzaría la mayor cantidad de días disponibles, por sobre los realizados durante el mes de agosto (TEUBER,1985).

CUADRO 11 Número de días aptos semanales para la cosecha de col forrajera.

Col Forrajera		Probabilidad	
Semana	Fecha	50%	80%
18	30abril-6mayo	3	0,2
19	7mayo-13 mayo	2	0,5
20	14 mayo-20 mayo	2	0,6
31	30julio-5agosto	1	0,3
32	6agosto-12agosto	1	0,2
33	13 agosto-19agosto	1	0,3

4.4 Estructura de costos en la administración de la maquinaria.

Entre los factores que más inciden sobre los costos horarios de operación de los equipos agrícolas se encuentran; la depreciación y las horas de uso anual. Lo que

demonstraría la importancia que tiene conocer con exactitud éstos costos con fines de planificación, evaluación y control LOPEZ y HETZ (1998b). Esto se establecería claramente al comparar dos equipos autopropulsados, presentes en el predio, como es la cosechadora de granos y uno de los tractores, ambos con distintos niveles de uso anual.

De las Figuras 6 y 7 se puede deducir que la utilización afecta notablemente la distribución de costos operacionales de cualquier maquinaria concordando con LOPEZ y HETZ (1998a), quienes además señalan que éstas horas de uso anual permitirían prorratear en mayor o menor medida los costos de depreciación e interés sobre el capital invertido, logrando de esta manera que los costos variables en maquinarias de gran uso, sean mayores que los costos fijos.

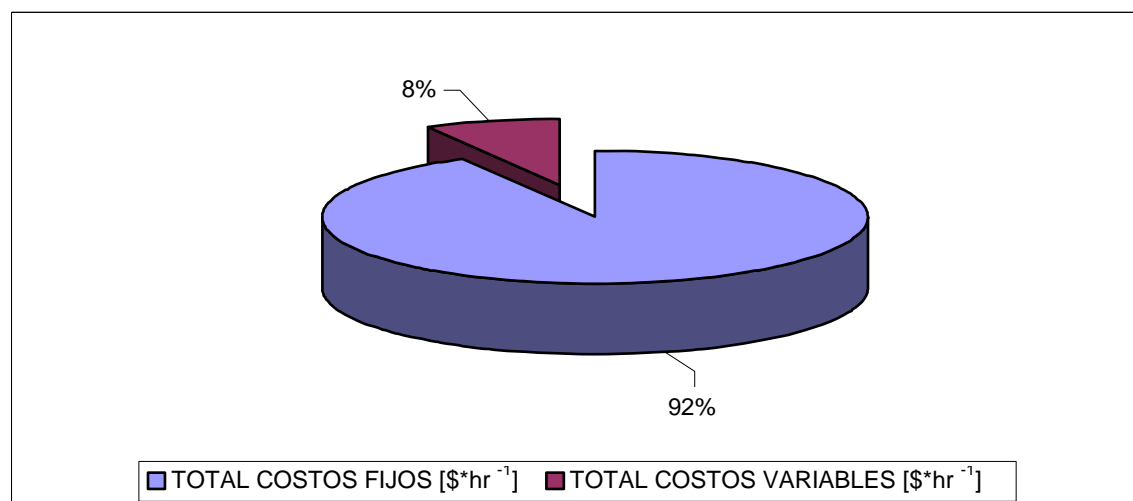


FIGURA 6 Distribución porcentual de los costos en la cosechadora de grano bajo su nivel de depreciación.

Estudios realizados por RIQUELME (2003), señalan que los principales componentes de los costos variables, en tractores agrícolas con elevados usos anuales, serían el consumo de combustible y la mano de obra empleada en el equipo, reflejándose en Figura 8. Sin embargo, el porcentaje de distribución varía sustancialmente en el porcentaje que representa el costo del combustible, pues en la gran mayoría de los estudios en el ámbito nacional, se cae en el error de establecer

consumos similares para tractores de diferente tamaño. De lo anteriormente señalado es posible deducir su alto porcentaje en esta distribución.

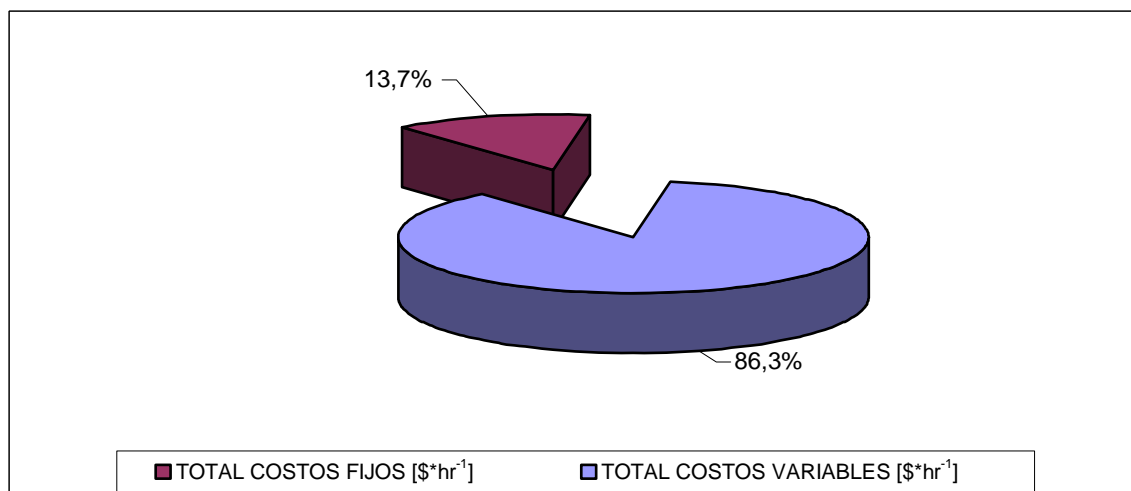


FIGURA 7 Distribución porcentual de los costos del tractor agrícola sobre su nivel de depreciación.

En su contrapartida una automotriz con un bajo uso anual (Figura 9), sus principales costos estarían representados por la depreciación y el interés al capital concordando con lo señalado por WITNEY (1995). En relación con los costos de la maquinaria propia y de mercado éstos son detallados en los Anexos 15 y 16 respectivamente.

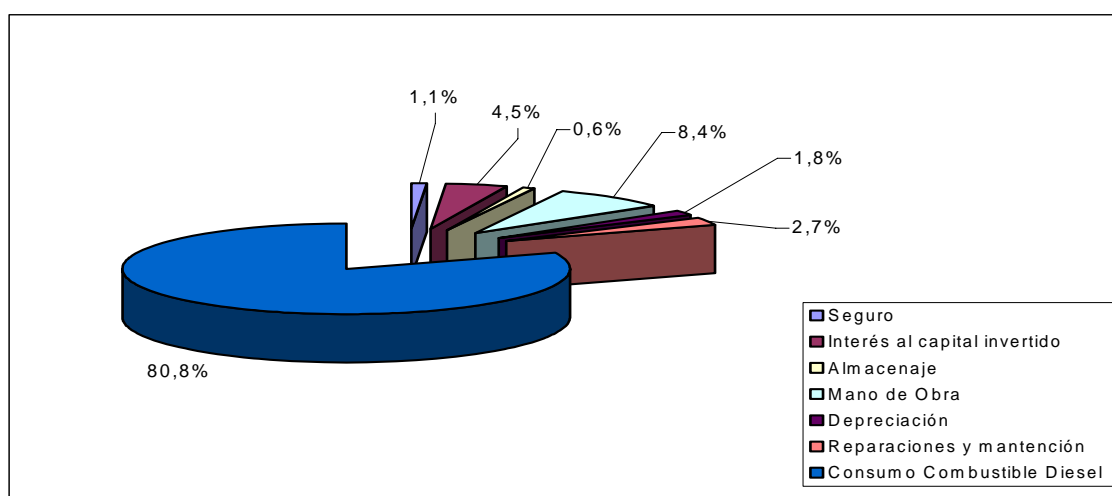


FIGURA 8 Principales costos para un tractor diesel con un alto uso anual.

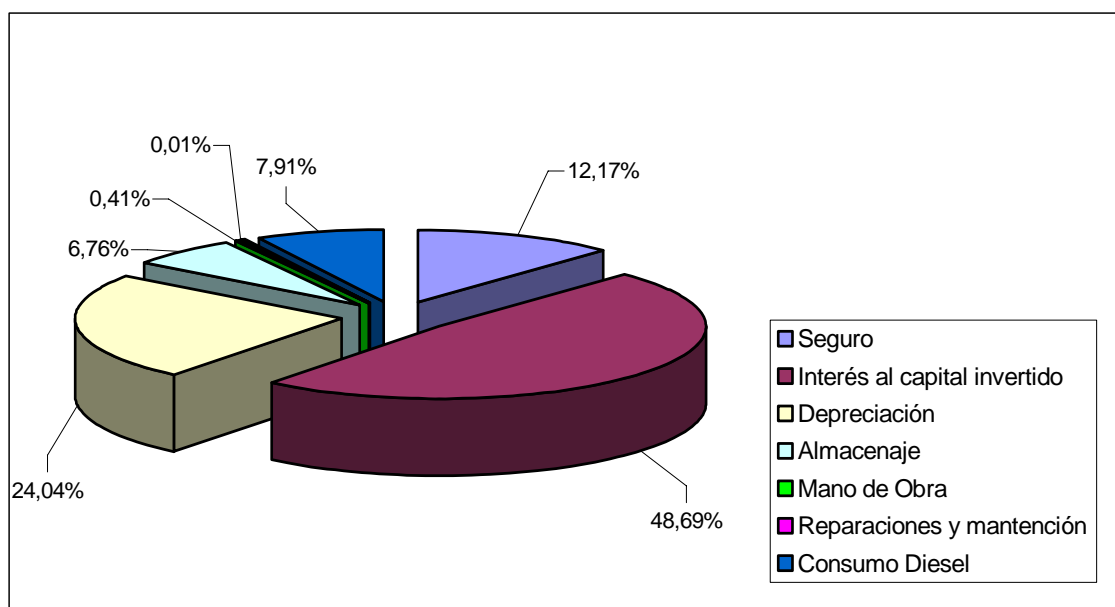


FIGURA 9 Principales costos para una cosechadora de grano con un bajo uso anual.

4.5 Modelo de Programación Lineal para el eficiente uso de la maquinaria.

Al construir una matriz de coeficientes se obtienen diversos indicadores que permiten interpretar aquellos valores producto de la optimización de los equipos. En este caso en particular corresponde a una minimización de costos, lo que explica que el programa Solver entregue por resultado la combinación de maquinarias propias, arrendadas y de mercado. Una vez desarrollada la Macro Solver (Anexo 17), ésta genera tres tipos de informes: límites de inclusión, respuestas y sensibilidad, los que son detallados en los puntos 4.5.1 al 4.5.3.2.

4.5.1 Informe de límites. Al observar el Cuadro 12, es posible apreciar que el programa selecciona 11 equipos propios (P), 4 de mercado (M) y 5 en arriendo (A), los cuales son denotados mediante un valor que representaría las horas necesarias para el desarrollo de todas sus labores dentro del predio por maquinaria, indicándose bajo la columna Igual. Para el caso de los implementos que no forman parte de la solución óptima, éstos valores son descritos con un valor cero.

CUADRO 12 Informe de limites.

Celda objetivo	Nombre	Igual	L.inferior	C.objetivo	L.superior	C.objetivo
	COSTO MINIMO [\$]	22.297.963				
Celdas cambiantes	Implemento	Igual [h]	[h]	[\$]	[\$]	[\$]
	Arado Rotativo P	136	136	22297963	187	23136924
	Rastra Offset P	190	190	22297963	242	22984464
	Encaladora P	18	18	22297963	216	25101053
	Rastra Tandem P	111	111	22297963	163	22914985
	Rastra Liviana P	0	0	22297963	52	22872650
	Rodon P	0	0	22297963	52	22887705
	Sembradora P	0	0	22297963	302	29541359
	Trompo P	0	0	22297963	203	24748404
	Pulverizadora P	0	0	22297963	308	25908520
	Chopper Forrajera P	27	27	22297963	140	24844675
	Sembradora de Papas P	0	0	22297963	302	44061713
	Regeneradora P	76	76	22297963	378	28678921
	Carro Purinero P	19	19	22297963	80	23658754
	Segadora P	157	157	22297963	269	23705374
	Rastrillo-Hilerador P	111	111	22297963	224	23535911
	Premarchitadora P	138	138	22297963	250	25250746
	Chopper Maicera P	0	0	22297963	113	28268170
	Automotriz P	0	0	22297963	113	36008869
	Cosechadora de Papas P	0	0	22297963	113	34693178
	Enfardadora P	42	42	22297963	155	25741009
	Arado Rotativo M	0	0	22297963	52	23356073
	Rastra Offset M	0	0	22297963	52	23196139
	Encaladora M	0	0	22297963	198	26522732
	Rastra Tandem M	0	0	22297963	52	23082066
	Rastra Liviana M	46	46	22297963	98	22984025
	Rodon M	25	25	22297963	77	23543296
	Sembradora M	38	38	22297963	340	30244678
	Trompo M	29	29	22297963	232	25515820
	Pulverizadora M	0	0	22297963	308	28138328
	Chopper Forrajera M	0	0	22297963	113	26926932
	Sembradora de Papas M	0	0	22297963	302	45952375
	Regeneradora M	0	0	22297963	302	37174752
	Carro Purinero M	0	0	22297963	61	24622175
	Segadora M	0	0	22297963	113	24112009
	Rastrillo-Hilerador M	0	0	22297963	113	24665827
	Premarchitadora M	0	0	22297963	113	28378383
	Chopper Maicera M	0	0	22297963	113	28702453
	Automotriz M	0	0	22297963	113	102962347
	Cosechadora de Papas M	0	0	22297963	113	29028529
	Enfardadora M	0	0	22297963	113	31568332
	Arado Rotativo A	0	0	22297963	52	23848142
	Rastra Offset A	0	0	22297963	52	23641452
	Encaladora A	0	0	22297963	198	25861513
	Rastra Tandem A	0	0	22297963	52	23434761
	Rastra Liviana A	0	0	22297963	52	23305580
	Rodon A	0	0	22297963	52	23202234
	Sembradora A	0	0	22297963	302	31951309
	Trompo A	0	0	22297963	203	25947153
	Pulverizadora A	116	116	22297963	424	24611713
	Chopper Forrajera A	0	0	22297963	113	27818471
	Sembradora de Papas A	7	7	22297963	309	35571313
	Regeneradora A	0	0	22297963	302	31649641
	Carro Purinero A	0	0	22297963	61	23815820
	Segadora A	0	0	22297963	113	24663895
	Rastrillo-Hilerador A	0	0	22297963	113	24438569
	Premarchitadora A	0	0	22297963	113	26804501
	Cosechadora de Papas A	8	8	22297963	121	25677866
	Chopper Maicera A	16	16	22297963	128	27029827
	Enfardadora A	0	0	22297963	113	32888326
	Automotriz A	14	14	22297963	126	26241183

A partir de estas respuestas, se generan límites inferiores y superiores los que representarían la mínima y máxima inclusión posible en horas de trabajo, contiguo a esto, la celda objetivo nos señalaría el valor que toma la función seleccionada generando a su vez la máxima cantidad a pagar, si se incluyese dentro del conjunto, las alternativas seleccionadas como aquellas no incluidas.

4.5.2 Informe de respuestas. El Cuadro 13, nos señala el valor que toma la función objetivo, la cual corresponde a la sumatoria de todos los costos multiplicados por el tamaño de las variables en la solución óptima. Determinándose para este estudio un costo mínimo de \$22.297.963, el cual representa el costo horario de todas las maquinarias que son parte de la solución.

Ejemplificando lo anteriormente señalado, para el caso del arado rotativo propio, el que necesitaría de 136 horas de uso anual para cumplir con todas las labores dentro del predio, en desmedro de las alternativas de mercado y arriendo las que al no ser parte del conjunto seleccionado son denotadas con un valor de cero.

En el Cuadro 14, que también corresponde al informe antes mencionado, se encuentra la sección restricciones, donde el programa señala dos conceptos obligatorio y opcional.

El primero de éstos indica que estamos en plena área de solución, lo que se expresa mediante un valor cero en la columna de divergencia. A su vez el término opcional nos permite aumentar las horas de nuestras actividades hasta divergencia que sería el límite máximo para que nuestros recursos sean restrictivos.

El nivel de divergencia ubicado también en el informe de respuestas sección restricciones, señala el grado de utilización de los recursos. Apareciendo en la solución sólo aquellos que no fueron agotados en el programa. Una cifra igual a cero significaría que el recurso fue totalmente utilizado.

CUADRO 13 Informe de respuestas.

Nombre	Valor original	Valor final
COSTO MINIMO [\$]	28.556.958	22.297.963
Nombre	Valor original	Valor final
Arado Rotativo P	136	136
Rastra Offset P	190	190
Encaladora P	18	18
Rastra Tandem P	111	111
Rastra Liviana P	0	0
Rodon P	0	0
Sembradora P	0	0
Trompo P	0	0
Pulverizadora P	0	0
Chopper Forrajera P	27	27
Sembradora de Papas P	0	0
Regeneradora P	76	76
Carro Purinero P	19	19
Segadora P	157	157
Rastrillo-Hilerador P	111	111
Premarchitadora P	138	138
Chopper Maicera P	0	0
Automotriz P	0	0
Cosechadora de Papas P	0	0
Enfardadora P	42	42
Arado Rotativo M	0	0
Rastra Offset M	0	0
Encaladora M	0	0
Rastra Tandem M	0	0
Rastra Liviana M	0	46
Rodon M	0	25
Sembradora M	0	38
Trompo M	0	29
Pulverizadora M	0	0
Chopper Forrajera M	0	0
Sembradora de Papas M	0	0
Regeneradora M	0	0
Carro Purinero M	0	0
Segadora M	0	0
Rastrillo-Hilerador M	0	0
Premarchitadora M	0	0
Chopper Maicera M	0	0
Automotriz M	0	0
Cosechadora de Papas M	0	0
Enfardadora M	0	0
Arado Rotativo A	0	0
Rastra Offset A	0	0
Encaladora A	0	0
Rastra Tandem A	0	0
Rastra Liviana A	0	0
Rodon A	0	0
Sembradora A	0	0
Trompo A	0	0
Pulverizadora A	0	116
Chopper Forrajera A	0	0
Sembradora de Papas A	0	7
Regeneradora A	0	0
Carro Purinero A	0	0
Segadora A	0	0
Rastrillo-Hilerador A	0	0
Premarchitadora A	0	0
Cosechadora de Papas A	0	8
Chopper Maicera A	0	16
Enfardadora A	0	0
Automotriz A	0	14

CUADRO 14 Informe de respuestas sección restricciones.

Restricciones			
Labor	Valor [ha-h]	Estado	Divergencia
Aradura	54,0	Obligatorio	0,0
Rastraje Offset	162,0	Obligatorio	0,0
Aplicación de Cal	38,0	Obligatorio	0,0
Rastraje Tandem	108,0	Obligatorio	0,0
Rastraje Liviano	108,0	Obligatorio	0,0
Rodonado	125,0	Obligatorio	0,0
Siembra	54,0	Obligatorio	0,0
Regeneración	66,0	Obligatorio	0,0
Fertilización	156,0	Obligatorio	0,0
Aplicación de Purines	36,0	Obligatorio	0,0
Pulverización	231,0	Obligatorio	0,0
Cosecha de praderas	40,0	Obligatorio	0,0
Siembra de Papas	4,0	Obligatorio	0,0
Segadura	213,0	Obligatorio	0,0
Rastrillado	213,0	Obligatorio	0,0
Acondicionamiento de forraje	176,0	Obligatorio	0,0
Soiling de maíz	6,0	Obligatorio	0,0
Cosecha de grano	12,0	Obligatorio	0,0
Cosecha de papas	4,0	Obligatorio	0,0
Enfardadura	37,0	Obligatorio	0,0
Tiempo max.Labranza	508,3	Opcional	51,7
Tiempo max.Siembra	122,3	Opcional	301,7
Tiempo max.Fertilización	29,3	Opcional	202,7
Tiempo max.Aplicación de Cal	18,0	Opcional	198,0
Tiempo max.Cosecha	511,3	Opcional	112,7
Tiempo max.Pulverización	115,5	Opcional	308,5
Tiempo max.Aplicación de Purines	19,3	Opcional	60,7

4.5.3 Análisis de sensibilidad. Éste procedimiento tiene por objetivo determinar la estabilidad de la solución óptima y se compone de dos partes, las que son presentadas en los cuadros 15 y 16.

En el primero de estos cuadros, encontramos que para cada celda cambiante existe una cifra, que es representada por el coeficiente objetivo, el cual expresa el costo que representa cada actividad.

Otro término lo constituye el gradiente reducido el que puede ser definido como aquel monto en que debiese bajar el costo, para ser incluido dentro de la solución final, éste solo tiene significado para aquellas actividades excluidas por el programa, ya que para aquellas incluidas siempre son denotadas con un valor igual a cero.

4.5.3.1 Aumento permisible de las celdas cambiantes. Éstos valores se obtienen para cada variable. Expresando la magnitud en que pueden aumentar o disminuir los costos sin que se produzca un cambio en la estructura del programa. Por ejemplo, para el arado rotativo el costo de su actividad sería de \$16.236, al restar la disminución permisible tendría el valor mínimo a cancelar sin que varíe la respuesta de la función objetivo.

Estos rangos así determinados indican que si son respetados, es decir si las posibles variaciones de los costos no sobrepasan el límite inferior o superior obtenidos en el rango para cada equipo, no se producirá la inclusión de nuevos implementos o la exclusión de otros, ya seleccionados en el modelo.

4.5.3.2 Aumento o disminución permitido en el lado derecho. En el Cuadro 16, sección restricciones se expresan los valores determinados por el modelo, dando a conocer el monto en que cada recurso puede ser aumentado o disminuido, antes que exista un cambio en el programa.

Por otra parte en la sección de las restricciones, para cada una de éstas, existe un valor llamado precio sombra, el cual indicaría la variación que es observada en la función objetivo, al señalar cuánto podríamos pagar al incrementar una unidad extra de cada recurso, siendo únicamente significativo para aquellos que han sido utilizados totalmente por el programa.

Para éste caso, la superficie fue ocupa en su totalidad a diferencia de las restricciones climáticas, como es el caso de labranza del suelo, ya que de las 560 horas disponibles, solo son necesarias para llevar a cabo el total de labores en el predio 508,33 horas, con respecto al aumento permisible, el valor infinito indica que mientras no se sobrepase las 51,67 horas de diferencia con las disponibles en el año, no constituiría una limitante restrictiva.

CUADRO 15 Informe de sensibilidad.

Nombre Implemento	Igual [h]	G.Reducido [\$]	C.Objetivo [\$]	D.Permisible [\$]	A.Permisible [\$]
Arado Rotativo P	136	0	16236	11592	16236
Rastra Offset P	190	0	13286	5602	13286
Encaladora P	18	0	14159	7094	14159
Rastra Tandem P	111	0	11941	3912	11941
Rastra Liviana P	0	1357	11122	1+E30	1357
Rodon P	0	1371	11413	1+E30	1371
Sembradora P	0	4855	24011	1+E30	4855
Trompo P	0	1973	12087	1+E30	1973
Pulverizadora P	0	821	11704	1+E30	821
Chopper Forrajera P	27	0	22605	105535	22605
Sembradora de Papas P	0	25875	72145	1+E30	25875
Regeneradora P	76	0	21152	5611	21152
Carro Purinero P	19	0	22413	14920	22413
Segadora P	157	0	12492	71	12492
Rastrillo-Hilerador P	111	0	10988	1022	10988
Premarchitadora P	138	0	26209	9771	26209
Chopper Maicera P	0	28749	52992	1+E30	28749
Automotriz P	0	93805	121698	1+E30	93805
Cosechadora de Papas P	0	89020	110020	1+E30	89020
Enfardadora P	42	0	30560	36156	30560
Arado Rotativo M	0	8530	20477	1+E30	8530
Rastra Offset M	0	5156	17382	1+E30	5156
Encaladora M	0	7123	21340	1+E30	7123
Rastra Tandem M	0	3744	15174	1+E30	3744
Rastra Liviana M	46	0	13277	1845	13277
Rodon M	25	0	24100	3291	24100
Sembradora M	38	0	26343	6676	26343
Trompo M	29	0	15872	3097	15872
Pulverizadora M	0	2840	18931	1+E30	2840
Chopper Forrajera M	0	33839	41087	1+E30	33839
Sembradora de Papas M	0	54806	78412	1+E30	54806
Regeneradora M	0	14837	49315	1+E30	14837
Carro Purinero M	0	15359	38281	1+E30	15359
Segadora M	0	91	16101	1+E30	91
Rastrillo-Hilerador M	0	1788	21017	1+E30	1788
Premarchitadora M	0	14656	53970	1+E30	14656
Chopper Maicera M	0	43415	56846	1+E30	43415
Automotriz M	0	669752	715977	1+E30	669752
Cosechadora de Papas M	0	52900	59740	1+E30	52900
Enfardadora M	0	44593	82284	1+E30	44593
Arado Rotativo A	0	19276	30000	1+E30	19276
Rastra Offset A	0	12985	26000	1+E30	12985
Encaladora A	0	6806	18000	1+E30	6806
Rastra Tandem A	0	7555	22000	1+E30	7555
Rastra Liviana A	0	8139	19500	1+E30	8139
Rodon A	0	5401	17500	1+E30	5401
Sembradora A	0	11140	32000	1+E30	11140
Trompo A	0	12044	18000	1+E30	12044
Pulverizadora A	116	0	7500	566	7500
Chopper Forrajera A	0	44091	49000	1+E30	44091
Sembradora de Papas A	7	0	44000	24606	44000
Regeneradora A	0	6499	31000	1+E30	6499
Carro Purinero A	0	9991	25000	1+E30	9991
Segadora A	0	6869	21000	1+E30	6869
Rastrillo-Hilerador A	0	7554	19000	1+E30	7554
Premarchitadora A	0	27203	40000	1+E30	27203
Cosechadora de Papas A	8	0	30000	127171	30000
Chopper Maicera A	16	0	42000	49808	42000
Enfardadora A	0	65126	94000	1+E30	65126
Automotriz A	14	0	35000	117705	35000

CUADRO 16 Informe de sensibilidad sección restricciones.

Labor	V.Igual [ha-h]	Precio Sombra [\$]	D.Permisible [\$]	A.Permisible [\$]
Aradura	54	40751	21	54
Rastraje Offset	162	15618	44	162
Aplicación de Cal	38	6716	417	38
Rastraje Tandem	108	12278	50	108
Rastraje Liviano	108	5680	121	108
Rodonado	125	4839	257	125
Siembra	54	18774	423	54
Regeneración	66	24501	260	66
Fertilización	156	2978	1081	156
Aplicación de Purines	36	12007	113	36
Pulverización	231	3750	617	231
Cosecha de praderas	40	15219	167	40
Siembra de Papas	4	81400	163	4
Segadura	213	9185	153	213
Rastrillado	213	5723	216	213
Acondicionamiento de forraje	176	20476	144	176
Soiling de maíz	6	109200	43	6
Cosecha de grano	12	40250	98	12
Cosecha de papas	4	60000	56	4
Enfardadura	37	34649	99	37
Tiempo max.Labranza	508	0	1+E 30	52
Tiempo max.Siembra	122	0	1+E 30	302
Tiempo max.Fertilización	29	0	1+E 30	203
Tiempo max.Aplicación de Cal	18	0	1+E 30	198
Tiempo max.Cosecha	511	0	1+E 30	113
Tiempo max.Pulverización	116	0	1+E 30	309
Tiempo max.Aplicación de Purines	19	0	1+E 30	61

Como resultado final la Macrosolver, seleccionó como maquinarias propias: el arado rotativo, rastras offset, tandem, regeneradora, carro purinero, encaladora, segadora, premarchitadora, chopper forrajera, rastrillo – hilerador y enfardadora.

Con respecto a aquellos equipos que formaron parte de la solución en condición de arriendo encontramos la sembradora y cosechadora de papas, chopper maicera, pulverizadora y la automotriz.

En cuanto a los implementos de mercado el programa consideró el distribuidor de fertilizantes, rastra liviana, rodon y la sembradora.

Otro factor importante de mencionar es la capacidad efectiva de trabajo, ya que al combinar la oportunidad de laboreo y costo, son seleccionadas aquellas maquinarias que permite realizar las actividades programadas, aunque encarezca el costo por hora.

En el Cuadro 17 se resumen los resultados finales obtenidos luego de la optimización de los equipos.

CUADRO 17. Optimización de la maquinaria.

Implemento	Superficie [ha]	Tiempo [h]	Velocidad [Km ^h ⁻¹]	Eficiencia [%]	Anchos Opt. [m]	Condición
Arado Rotativo	54	136	3	0,76	1,8	Propio
Rastra Offset	162	190	6	0,73	1,9	Propio
Rastra Tandem	108	111	6	0,73	2,2	Propio
Rastra Liviana	108	46	12	0,71	2,7	Mercado
Rodon	125	25	10	0,83	6,0	Mercado
Sembradora	54	38	6	0,77	3,1	Mercado
Sembradora de Papas	4	7	7	0,70	1,1	Arriendo
Regeneradora	66	76	6,5	0,70	1,9	Propio
Carro Purinero	36	19	14	0,67	2,0	Propio
Encaladora	38	18	11	0,65	2,9	Propio
Pulverizadora	231	116	6,2	0,58	5,6	Arriendo
Trompo	156	29	6,5	0,75	10,9	Mercado
Segadora	213	157	10	0,80	1,7	Propio
Premarchitadora	176	138	8	0,80	2,0	Propio
Cosechadora de Papas	4	8	3	0,75	2,2	Arriendo
Chopper Maicera	6	16	2,5	0,60	2,6	Arriendo
Chopper Forrajera	40	27	6	0,66	3,8	Propio
Rastrillo-Hilerador	213	111	12	0,70	2,3	Propio
Enfardadora	37	42	4,2	0,70	3,0	Propio
Automotriz	12	14	3	0,75	3,9	Arriendo

A luz de lo anteriormente señalado, se logró una efectiva reducción del uso anual de la maquinaria existente en el predio versus aquella seleccionada por el modelo, disminuyendo de 1498 a 1324 horas al año, lo que con llevaría a un evidente ahorro económico y a una mejor programación de las actividades planificadas.

5 CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente estudio, se puede concluir que:

La Programación Lineal constituye una herramienta de cálculo muy poderosa; sin embargo esta aplicación requiere una gran cantidad de tiempo para su ejecución, debido a la cantidad de iteraciones necesarias para conseguir una respuesta acorde con la planificación y no sólo cifras de carácter matemático.

A partir de la optimización, se logró reducir el uso anual de la maquinaria original en 147 horas / año.

En relación con el modelo climático; se puede indicar que para la realización de las labores de preparación de suelo en el predio, existen alrededor de 70 días en el año, a un nivel de probabilidad de 50 % y de 30 días para una probabilidad de 80%.

Con respecto a la aplicación de productos agroquímicos; se dispondría de 140 y 96,3 días a una probabilidad de un 50 y 80% respectivamente.

Las labores de siembra y cosecha, no presentaron limitaciones en cuanto a los posibles días de trabajo, sin embargo para aquellos utilizados como forraje invernal se determinó un reducido número, definiéndose 53 y 78 días a un nivel de probabilidad del 50 % para la realización de ambas faenas.

Entre los principales costos que generan la propiedad de los diversos implementos, se destacan la depreciación y el interés a la inversión y en aquellos en que el uso anual es más importante, serían determinantes el consumo de combustible y la mano de obra.

En consecuencia, un análisis de costos es indispensable en todo proceso de selección de maquinaria; sin embargo, deben considerarse diversos factores adicionales como: la superficie de trabajos, el rendimiento de cada equipo y el tiempo disponible para la realización de cada labor.

6 RESUMEN

Se realizó una evaluación de tipo estática a partir de la información generada por el predio Los Canelos Ñadi-Nochaco, ubicado en las coordenadas UTM, 5.471.450 m Norte y 678.750 m Este, con el propósito de optimizar la maquinaria agrícola existente mediante un modelo basado en Programación Lineal para la temporada agrícola 2004.

La matriz de programación estuvo constituida por 60 variables de decisión que consideraron equipos propios, de mercado y en arriendo, utilizando como coeficientes técnicos las distintas capacidades efectivas de trabajo de cada implemento. En cuanto a las restricciones, fueron consideradas 27 siendo representadas por las distintas actividades del predio, en relación con la superficie utilizada. Con respecto a los días disponibles para el desarrollo de cada actividad, fueron calculados mediante un análisis de frecuencia, encontrándose 70 días en el año para la realización de labores relacionadas con la preparación de suelo y 140 días para la aplicación de productos agroquímicos ambos a un nivel de probabilidad de un 50%.

Con respecto a la siembra y cosecha, sólo existió como limitante el reducido tiempo de trabajo en aquellos cultivos utilizados como forraje invernal, determinándose 53 y 78 días respectivamente a una probabilidad de 50% para la realización de estas faenas.

En relación con los costos, el modelo determinó que la depreciación y el interés a la inversión, contribuían en mayor porcentaje a éste ítem, debido principalmente al reducido uso anual, mientras que en los tractores del predio el consumo de combustible y la mano de obra alcanzaron mayor importancia.

SUMMARY

A static optimization of agricultural machinery work was carried out 2004. The information was generated with data of a farm located in UTM coordinates 5.471.450 m North and 678.750 m East.

The programming matrix was made up by 60 decision variables, which considered the machinery that was owned, that which was hired and that of the market, using the different effective work capacity of each equipment as technical coefficients. Twenty-seven restrictions were considered, represented mainly by the different activities in the farm in relation to the area used for each activity. The available days for the development of each activity were calculated through a frequency analysis, with the following results: 70 days per year for labours related to soil preparation and 140 days per year for the application of agrochemical products. Both results had a 50% level of probability.

With regard to the planting and crop, it only existed as restrictive the reduced time of work in those cultivations used as winter forage, being determined respectively 53 and 78 days to a probability of 50% for the realization of these tasks.

In relation to the costs, the model determined that the devaluation and the interest rates covered most of the percentage of this item, mainly due to the reduced annual use, while the use of fuel and working hand in the farm were the most significant factors.

7 BIBLIOGRAFÍA

- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. 1980. Agricultural Engineers Yearbook. Agricultural Management. St. Joseph, U.S.A. 1054 p.
- _____, 1995. Agricultural Engineers Yearbook. Agricultural Management. Nebraska, U.S.A. 875 p.
- _____, 1999. Agricultural Engineers Yearbook. Pest Control equipment. St. Joseph, U.S.A. 310 p.
- BENEDETTI, H. 1983. Aspectos Económicos del Uso de maquinaria agrícola. El Campesino (Chile) 64 (7): 18-31.
- BERTIN, P. 1986. Calculando los Costos de tracción en el predio. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Estación Experimental Remehue, Boletín Divulgativo 84 (4): 1-23.
- BENECKE, R. y WINTERBOER, R. 1984. Programación Lineal aplicación a la Agricultura, Traducido por Pares, J. y Ocaña, M. Barcelona. Aedos. 211 p.
- BOWERS, W. 1992. Machinery Management. In: How to select machinery to fit the reseed needs of farmer managers. Illinois. Deere Publishing. U.S.A. 206 p.
- BUCKMAN, H. 1966. Naturaleza y propiedades de los suelos. México, D.F. Hispano-Americana. 590 p.
- DANOK, A.; Mc CARL, B. y WHITE, T. 1980. Machinery selection modeling: incorporations of weather variability. American Journal of Agricultural Economics 62: 600-708.

- DENT, JB.; HARRISON, RS. y WOODFORD, BK. 1986. Farm planning with Linear Programming: Concept and Practice. Sydney. Butterworths. 209 p.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 1985. Datos climáticos para América Latina y el Caribe, Roma. Italia. 300 p.
- FRANK, R. 1977. Costos y Administración de la maquinaria agrícola. Buenos Aires. Hemisferio Sur. 385 p.
- FONTAINE, G. 1993. Arriendo de servicios agrícolas mecanizados. Agro-Económico (Chile) 18: 39-41.
- FORSYTHE, W. 1975. Física de suelos. Manual de Laboratorio. San José, Costa Rica. IICA. 212 p.
- FUENTES, F. 1983. Estados de consistencia de los principales suelos agrícolas de la décima región. Tesis Lic. Agr. Valdivia. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. 52 p.
- HASSAN, A. y BROUGHTON, R. 1983. Soil moisture criteria for tractability. Canadian Journal of Agricultural Engineering 17 (2): 124-129.
- HERRERO, M.; FAWEETT, RF. y DENT, JB. 1986. Bioeconomic evaluation of dairy farm management scenarios using integrated simulation and multiple-criteria models. Agricultural Systems 62: 169-188.
- HETZ, E. y RIQUELME, J. 1987. Tiempo disponible para ejecutar operaciones agrícolas mecanizadas en Ñuble Central. Agro-Ciencia (Chile) 4 (1): 59-65
- HETZ, E. 1990. Costos de operación de tractores y maquinaria agrícola. In: Anales del V Seminario Nacional de Mecanización Agrícola. Chillán. 26 p.

- HUNT, D. 1986. Farmer Power and Machinery Management. Iowa State. University Press, U.S.A. 319 p.
- HUNT, D. 1980. Engineering models for agricultural production. Avil. Connecticut, U.S.A. 260 p.
- INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA. 2003. Selección y Programación de la maquinaria agrícola. (On line).<<http://www.inta.gov.ar/>>. (26 agosto 2004).
- IBÁÑEZ, M. y ABARZUA, C. 1988. Capacidad de trabajo y eficiencia de campo de la maquinaria agrícola. Chillán. Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales, Departamento de Ingeniería Agrícola, Boletín de Extensión N°28. 35 p.
- IBÁÑEZ, M. y ROJAS, E. 1994. Costos de operación y producción por concepto de maquinaria agrícola. Chillán. Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales, Departamento de Ingeniería Agrícola, Boletín de Extensión N°26. 58 p.
- KÉZDI, A. 1980. Handbook of soil mechanics. Vol. 2. Soil testing. Elsevier Scientific Publishing Company. Budapest, Hungary. 258 p.
- LOPEZ, M. y HETZ, E. 1998a. Efectos del uso anual y del método de depreciación sobre los costos. Agro Sur (Chile) 2 (26): 63-69.
- LOPEZ, M. y HETZ, E. 1998b. Uso anual que justifica la propiedad de algunas maquinarias agrícolas de alto precio. Agro Sur (Chile) 2 (26): 44-52.
- MATTHEWS, G. 2000. Pesticide application methods. London, Blackwell Science. 432 p.

- MONSALVE, G. 1999. Hidrológica en la Ingeniería. 2ª ed. Bogotá. AlfaOmega, 382 p.
- NOLTE, B.; FAUSEY, N. y SKAGGS, R. 1982. Time available for field work in Ohio. T of the ASAE 27 (3): 82-207.
- ORTEGA, L. 2000. Diseño de drenaje superficial. In: Curso de formulación de proyectos de drenaje. Osorno. 12-30 junio. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Centro Regional de Investigaciones Remehue. 48 p.
- OSKOUI, K. 1983. The practical assessment of timeliness penalties for machinery. The Agricultural Engineer (England) 38 (1): 111-115.
- OZKAN, H.; HE, B. y HOLMES, R. 1990. Determining machinery timeliness cost in crop planting using drainmod. T of the ASAE 33 (3): 718-729.
- PANNELL, D. 1997. Introduction to practical Linear Programming. University of Western, Australia. Wiley. 333 p.
- POLIMENI, F. 1990. Contabilidad de Costos. México, D.F. Mc Graw- Hill. 790 p.
- REYES, W. 1991. Determinación y análisis del límite de contracción en siete series de suelos rojo arcilloso. Tesis Lic. Agr. Valdivia. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. 47 p.
- RIQUELME, J. 2003. Uso de maquinaria, los costos la gran incógnita. Revista del Campo (Chile) 27 (1407): 12-13.
- ROTZ, C.; BLACK, R. y SAVOIE, P. 1981. A machinery cost model which deals and economics. T of the ASAE 30 (2): 81-1513.

- SIERRA, C.; KALAZICH, J.; ROJAS, J. y GRANDON, M. 1989. Época de plantación de papa en la Xa región de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Estación Experimental Remehue. Boletín Técnico N° 145. 56 p.
- TAHA, H. 1998. Investigación de Operaciones. México, D.F. Mc Graw- Hill. 943 p.
- TAYLOR, D. 1972. Fundamentos de la mecánica de suelos. México, D.F. Continental. 782 p.
- TURNER, M. 1993. Depreciation rates for farm machinery. The Agricultural Engineer (England) 48 (3): 75-78.
- THUESEN, H. y FABRICKY, W. 1989. Engineers Economy. Englewood Cliffs, U.S.A. Prentice Hall. 719 p.
- TEUBER, N. 1985. Cultivo y utilización de la col forrajera en la Xa Región. Osorno. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Estación Experimental Remehue, Boletín Técnico 61(1): 1-40.
- UNIVERSIDAD DE CONCEPCION. 1990. Administración de maquinaria agrícola. Curso de capacitación. Facultad de Ingeniería Agrícola. Departamento de Mecanización y Energía. Chillán. Chile. 132 p.
- WIRES, K.C. 1985. The Casagrande method versus the drop-cone penetrometer method for determination of liquid limit. Can. J. Soil. 65: 297-300.
- WITNEY, B. 1995. Choosing and using farm machines. Land Technology. Scotland. 129-204 p.

ANEXOS

ANEXO 1 Vida útil, tiempo de servicio y uso anual de la maquinaria agrícola.

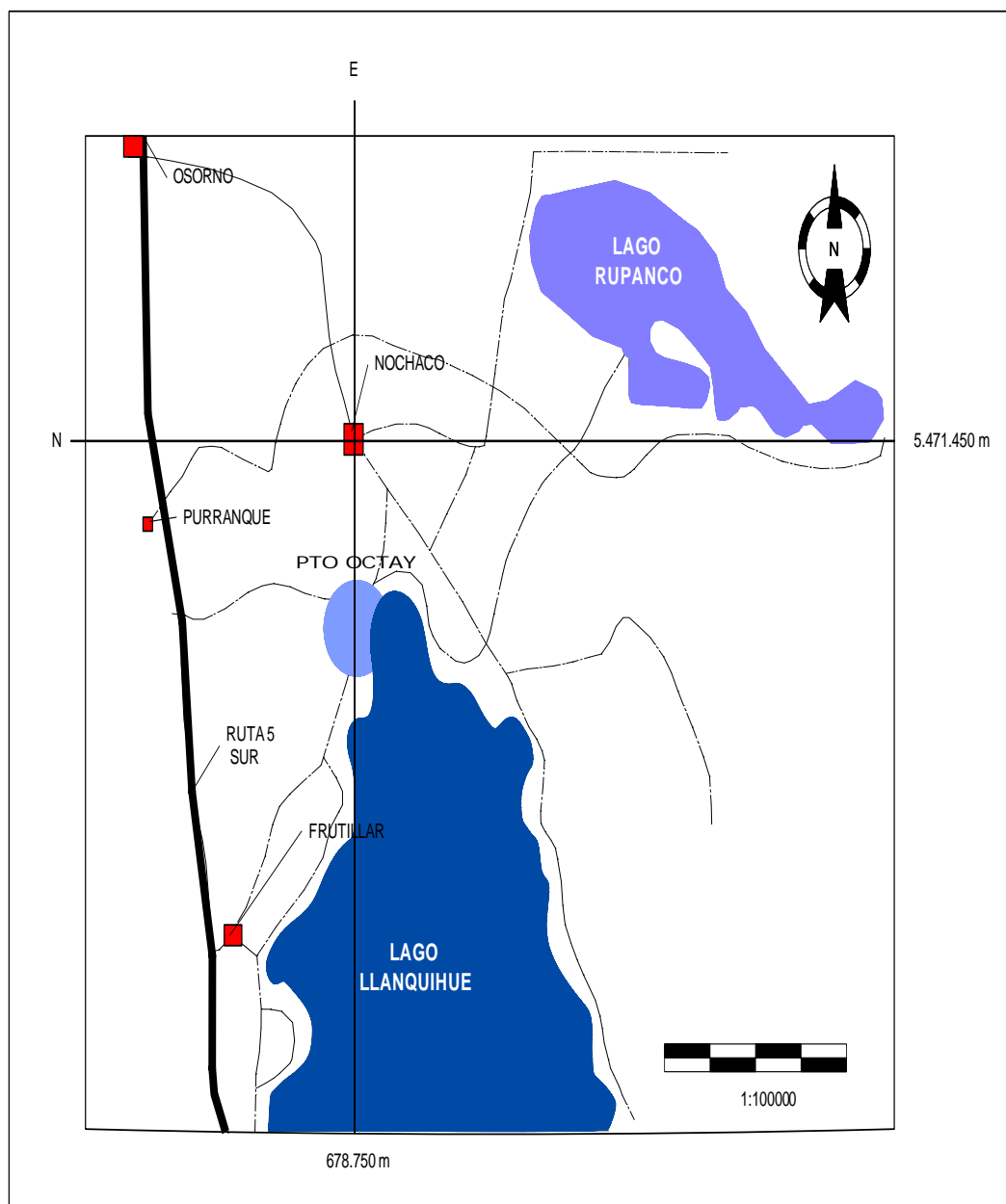
Labor	Equipo	Vida Útil [años]	T.Servicio [h]	U. Anual [h*año⁻¹]
Prep.Suelos	Arado Vertedera	10	3000	300
	Arado Disco	10	4000	400
	Arado Subsolador	15	1500	100
	Arado rotativo	12	1800	150
	Arado Cíncel	12	1500	125
	Rastra discos Offset	10	3000	300
	Rastra discos Tandem	10	3000	300
	Rastra combinada	10	1000	100
	Rastra de resortes	10	1000	100
	Rastra de Clavos	8	2500	313
	Vibrocultivador	10	2000	200
	Rodillo	15	1500	100
Siembra	Sembradora de cereales	10	2500	250
	Sembradora de maíz	10	1500	150
	Sembradora de precisión	10	1500	150
	Regeneradora	11	2100	191
	Sembradora de tarro	11	3500	318
Fertilización	Abonadora Centrifuga	12	2800	233
	Estercolera	10	2000	200
	Encaladora	13	2000	154
Control	Cultivador en hileras	13	3600	277
	Azadón rotativo	15	1500	100
	Pulverizador	10	1500	150
Cosecha de Forraje	Segadora de barra	12	3600	300
	Acondicionadora	12	3600	300
	Rastrillo	12	1800	150
	Enfardadora	10	1500	150
	Cosechadora (Chopper)	10	3000	300
Cosechadora de Granos	Segadora	10	2000	200
	Automotriz	10	4000	400

FUENTE: UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN (1990).

ANEXO 2. Mantenciones y reparaciones de implementos agrícolas en relación con su uso acumulado.

Labor	Equipo	Función por acumulación	
		a	b
Prep.Suelos	Arado Cincel	0,037	1,4
	Arado de Discos	0,012	1,714
	Arado Subsolador	0,037	1,4
	Arado de vertederas	0,36	1,81
	Arado Rotativo	0,38	1,9
	Rastra Tandem	0,012	1,714
	Rastra Offset	0,012	1,714
	Rodillo	0,0266	1,5
Siembra	Plantadora de papas	0,093	2,137
	Sembradora	0,089	2,626
	Regeneradora	0,090	2,5
Fertilización	Carro purinero	0,02	1,4
	Trompo	0,122	1,3
Control	Cultivador	0,037	1,4
	Pulverizadora	0,123	1,4
Cosecha de Forraje	Chopper	0,158	0,165
	Enfardadora	0,035	1,4
	Segadora	0,092	1,3
	Acondicionadora de forraje	0,0041	1,4
	Rastrillo-hilerador	0,0441	1,4
Cosecha de Granos	Automotriz	0,052	2,122
Cosecha de papas	Cosechadora de papas	0,0602	1,4
Arrastre	Tractor diesel	0,012	2,033

FUENTE: modificado de ASAE (1995).

ANEXO 3 Plano de Ubicación del predio.

ANEXO 4 Inventario de la maquinaria existente en el predio.

Labor	Equipo	Ancho [m]	Año de fabricación	Capacidad
Prep.Suelos	Arado rotativo	1,8	1990	
	Rastra Offset	2	1992	
	Rastra Tandem	2	1990	
	Rastra Liviana	2	1989	
	Rodon	2,5	1985	
Siembra	Plantadora de papas	1	1987	
	Sembradora	2	1985	
	Regeneradora	2	1985	
Fertilización	Carro purinero	1	1989	6000 L
	Encaladora	3	1989	400 kg
	Trompo	8	1984	400 kg
Control	Pulverizadora	8	1996	400 kg
Cosecha de Forraje	Chopper forrajera	1,2	1988	
	Chopper maicera	1,2	1993	
	Enfardadora	3	1990	
	Segadora	1,6	1994	
	Acondicionadora de forraje	2	1999	
	Rastrillo-hilerador	2	1993	
Cosechadora de Granos	Automotriz	3	1986	
Cosecha de papas	Cosechadora de papas	1,5	1991	
Arrastre	Tractor		1988	90 HP
	Tractor		1993	105 HP

ANEXO 5 Inventario de la maquinaria de mercado (Osorno).

Labor	Equipo	Ancho [m]	Año de fabricación	Capacidad
Prep.Suelos	Arado rotativo	1,3	2004	
	Rastra Offset	1,8	2004	
	Rastra Tandem	2,5	2004	
	Rastra Liviana	2,9	2004	
	Rodon	6	2004	
Siembra	Plantadora de papas	0,5	2004	
	Sembradora	2,5	2004	
	Regeneradora	2,5	2004	
Fertilización	Carro purinero	2	2004	4000 L
	Encaladora	3	2004	450 kg
	Trompo	14	2004	400 kg
Control	Pulverizadora	10	2004	450 kg
Cosecha de Forraje	Chopper forrajera	1,8	2004	
	Chopper maicera	0,8	2004	
	Enfardadora	3,5	2004	
	Segadora	2,05	2004	
	Acondicionadora de forraje	2,5	2004	
	Rastrillo-hilerador	3,5	2004	
Cosechadora de Granos	Automotriz	4,5	2004	
Cosecha de papas	Cosechadora de papas	0,5	2004	
Arrastre	Tractor		2004	85 HP
	Tractor		2004	105 HP

ANEXO 6 Inventario de maquinaria en arriendo de la zona en estudio.

Labor	Equipo	Precio (\$*h⁻¹)	Rendimiento (h*ha⁻¹)
Prep.Suelos	Arado rotativo	18.000	3,8
	Rastra Offset	14.000	1,2
	Rastra Tandem	12.000	0,85
	Rastra Liviana	10.000	0,5
	Rodon	5.500	0,4
Siembra	Plantadora de papas	20.000	0,9
	Sembradora	30.000	1,85
	Regeneradora	17.000	1
Fertilización	Carro purinero	12.500	0,8
	Encaladora	5.000	0,6
	Trompo	7.500	0,5
Control	Pulverizadora	5.000	0,5
Cosecha de Forraje	Chopper forrajera	8.000	0,65
	Chopper maicera	40.000	1,6
	Enfardadora	80.000	2
	Segadora	27.000	2,6
	Acondicionadora de forraje	35.000	3,1
	Rastrillo-hilerador	6.000	0,5
Cosechadora de Granos	Automotriz	35.000	1,2
Cosecha de papas	Cosechadora de papas	35.000	1,15
Arrastre	Tractor 80 HP	12.000	
	Tractor 100 HP	14.000	

ANEXO 7 Planilla de cálculo de la eficiencia de campo, para una preparación de suelos

n	T1	T2	T3	T4	T5	TTT	TET	Eficiencia de campo
1	4,333333	1,25	1,563	0,000	0,34722222	5,58333333	7,493	0,745

	Potrero (ha)	5,025
L	Largo del potrero (m)	335
f	Largo de una pasada (m)	260
A	Ancho del potrero (m)	150
a	Ancho de operación (m)	1,8
v	Velocidad de operación ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)	5
ve	Velocidad en las vueltas ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)	4
vf	Velocidad al final de la cabecera ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)	4,5

ANEXO 8 Planilla de cálculo de la eficiencia de campo, para equipos utilizados en operaciones complementarias.

Trompo		
a	ancho de trabajo (m)	7
v	velocidad de operación (km*h ⁻¹)	9
D	Dosis (kg*ha ⁻¹)	400
C	Capacidad (kg)	400
Tp	Tiempo de pérdida en c/relleno (h)	0,08
Td	Tiempo de descarga (min)	9,52

TTT	Tr	Eficiencia	Eficiencia de campo
0,15873	0,083	0,6557	0,68

ANEXO 9 Planilla de cálculo de la eficiencia de campo, para una cosechadora de forraje con dos colosos.

Y	Rendimiento ($t \cdot ha^{-1}$)	7,59
Ct	Capacidad de la tolva (t)	4,5
w	Ancho de trabajo (m)	1,2
sh	Velocidad de trabajo ($km \cdot h^{-1}$)	6,5
td1	Tiempo de descarga (h)	0,267
S	Trayecto (km)	1,0
vv	Velocidad del equipo cargado ($km \cdot h^{-1}$)	4
vc	Velocidad del equipo vacío ($km \cdot h^{-1}$)	10
td2	Tiempo de descarga (h)	0,167
Cc	Capacidad de cada coloso (t)	4,5
CT	Capacidad del total de colosos (t)	9

CICLO COSECHADORA	
Tdescarga1A	0,267
Tcosecha1A	0,845
Tdescarga1B	0,267
Tcosecha1B	0,845
Total ciclo	2,223

CICLO COLOSO (A y B)	
Tdescarga1	0,267
Tviaje cargado	0,250
Tviaje descargado	0,100
Tdescarga2	0,167
Te	?
Total ciclo	0,783 + Te

CICLO DESCARGADOR	
Tdescarga A	0,167
Tdescarga B	0,167
TeA	?
TeB	?
Total ciclo	0,333 + 2Te

Te en coloso	1,440
Te en descargador	0,945

CET [$ha \cdot h^{-1}$]	CTT [$ha \cdot h^{-1}$]	Eficiencia [%]
0,533	0,780	0,6839

ANEXO 10 Cálculo del Uso anual de la maquinaria en el predio.

Cultivo	Trabajo	Ancho [m]	Velocidad [km/h]	CTT	TTT	ef	CET	TET	pasadas	TET total	há	hrs/año	Días
Col forrajera	Rastraje Off-Set	2,0	6,0	1,20	0,83	0,71	0,85	1,18	3,0	3,53	5,0	17,63	2,20
	Arado Rotativo	1,8	3,0	0,54	1,85	0,75	0,40	2,49	1,0	2,49	5,0	12,43	1,55
	Rastraje Tandem	2,0	6,0	1,20	0,83	0,71	0,85	1,18	2,0	2,35	5,0	11,75	1,47
	Rastra liviana	2,0	12,0	2,40	0,42	0,68	1,63	0,61	2,0	1,23	5,0	6,13	0,77
	Sembradora Grano	2,0	6,0	1,20	0,83	0,70	0,84	1,19	1,0	1,19	5,0	5,95	0,74
	Calera	3,0	11,0	3,30	0,30	0,60	1,99	0,50	1,0	0,50	5,0	2,52	0,31
	Rodon	2,5	10,0	2,50	0,40	0,83	2,08	0,48	1,0	0,48	5,0	2,41	0,30
	Chopper forrajera 15-A	1,2	3,2	0,38	2,60	0,50	0,19	5,21	1,0	5,21	5,0	26,04	3,26
	Pulverizadora	8,0	6,2	4,96	0,20	0,57	2,83	0,35	1,0	0,35	5,0	1,77	0,22
	Trompo	8,0	6,5	5,20	0,19	0,60	3,14	0,32	1,0	0,32	5,0	1,59	0,20
Chopper forrajera 15-A	1,2	3,2	0,38	2,60	0,50	0,19	5,21	1,0	5,21	5,0	26,04	3,26	
Papa	Rastraje Off-Set	2,0	6,0	1,20	0,83	0,73	0,88	1,14	3,0	3,41	4,0	13,64	1,70
	Arado Rotativo	1,8	3,0	0,54	1,85	0,77	0,41	2,41	1,0	2,41	4,0	9,65	1,21
	Rastra liviana	2,0	12,0	2,40	0,42	0,72	1,73	0,58	2,0	1,15	4,0	4,62	0,58
	Rastraje Tandem	2,0	6,0	1,20	0,83	0,73	0,88	1,14	2,0	2,27	4,0	9,09	1,14
	Trompo	8,0	6,5	5,20	0,19	0,59	3,05	0,33	1,0	0,33	4,0	1,31	0,16
	Calera	3,0	11,0	3,30	0,30	0,65	2,13	0,47	1,0	0,47	4,0	1,88	0,23
	Pulverizadora	8,0	6,2	4,96	0,20	0,57	2,83	0,35	3,0	1,06	4,0	4,24	0,53
	Cosechadora de papas	1,5	3,0	0,45	2,22	0,78	0,35	2,84	1,0	2,84	4,0	11,36	1,42
	Sembradora de Papas	1,0	7,0	0,70	1,43	0,79	0,55	1,81	1,0	1,81	4,0	7,24	0,90
	Chopper forrajera 15-A	1,2	3,2	0,38	2,60	0,50	0,19	5,21	1,0	5,21	5,0	26,04	3,26
Maiz	Rastraje Off-Set	2,0	6,0	1,20	0,83	0,86	1,03	0,97	3,0	2,90	3,0	8,70	1,09
	Arado Rotativo	1,8	3,0	0,54	1,85	0,88	0,48	2,10	1,0	2,10	3,0	6,30	0,79
	Rastraje Tandem	2,0	6,0	1,20	0,83	0,86	1,03	0,97	2,0	1,93	3,0	5,80	0,73
	Rodon	2,5	10,0	2,50	0,40	0,83	2,08	0,48	2,0	0,96	3,0	2,89	0,36
	Rastra liviana	2,0	12,0	2,40	0,42	0,85	2,04	0,49	2,0	0,98	3,0	2,94	0,37
	Trompo	8,0	6,5	5,20	0,19	0,65	3,37	0,30	1,0	0,30	3,0	0,89	0,11
	Calera	3,0	11,0	3,30	0,30	0,65	2,13	0,47	1,0	0,47	1,0	0,47	0,06
	Pulverizadora	8,0	6,2	4,96	0,20	0,63	3,12	0,32	1,0	0,32	1,0	0,32	0,04
	Sembradora Grano	2,0	6,0	1,20	0,83	0,79	0,95	1,05	1,0	1,05	3,0	3,16	0,40
	Chopper maicera	1,00	2,8	0,28	3,57	0,74	0,21	4,83	1,0	4,83	3,0	14,48	1,81
Chopper maicera	1,00	2,8	0,28	3,57	0,74	0,21	4,83	1,0	4,83	3,0	14,48	1,81	
Avena	Rastraje Off-Set	2,0	6,0	1,20	0,83	0,64	0,76	1,31	3,0	3,93	12,0	47,14	5,89
	Arado Rotativo	1,8	3,0	0,54	1,85	0,68	0,37	2,73	1,0	2,73	12,0	32,80	4,10
	Rastraje Tandem	2,0	6,0	1,20	0,83	0,64	0,76	1,31	2,0	2,62	12,0	31,43	3,93
	Rodon	2,5	10,0	2,50	0,40	0,83	2,08	0,48	2,0	0,96	12,0	11,57	1,45
	Rastra liviana	2,0	12,0	2,40	0,42	0,63	1,52	0,66	2,0	1,32	12,0	15,79	1,97
	Sembradora Grano	2,0	6,0	1,20	0,83	0,73	0,88	1,14	1,0	1,14	12,0	13,70	1,71
	Trompo	8,0	6,5	5,20	0,19	0,70	3,63	0,28	1,0	0,28	12,0	3,31	0,41
	Pulverizadora	8,0	6,2	4,96	0,20	0,57	2,83	0,35	1,0	0,35	12,0	4,24	0,53
	Automotriz 2	3,0	3,0	0,90	1,11	0,77	0,69	1,44	1,0	1,44	12,0	17,32	2,16
	Segadora	1,6	10,0	1,60	0,63	0,85	1,36	0,74	1,0	0,74	12,0	8,82	1,10
Henilaje	Rastrillo	2,0	12,0	2,40	0,42	0,80	1,92	0,52	1,0	0,52	12,0	6,25	0,78
	Enfardadora	3,0	4,2	1,26	0,79	0,70	0,88	1,13	1,0	1,13	12,0	13,61	1,70

ANEXO 10 Cálculo del Uso anual de la maquinaria en el predio (continuación).

Cultivo	Trabajo	Ancho [m]	Velocidad [km/h]	CTT	TTT	ef	CET	TET	pasadas	TET total	há	hrs/año
Avena -Ballica Tama	Rastraje Off-Set	2	6	1,2	0,833	0,69	0,824	1,21	3	3,643	15	54,642
	Arado Rotativo	1,8	3	0,54	1,852	0,72	0,391	2,56	1	2,557	15	38,359
	Rastraje Tandem	2	6	1,2	0,833	0,69	0,824	1,21	2	2,429	15	36,428
	Calera	3	11	3,3	0,303	0,65	2,145	0,47	1	0,466	15	6,993
	Sembradora Grano	2	6	1,2	0,833	0,79	0,948	1,05	1	1,055	15	15,823
	Rastra liviana	2	12	2,4	0,417	0,68	1,641	0,61	2	1,219	15	18,285
	Trompo	8	6,5	5,2	0,192	0,70	3,628	0,28	1	0,276	15	4,135
	Rodon	2,5	10	2,5	0,400	0,83	2,075	0,48	2	0,964	15	14,458
Pulverizadora	8	6,2	4,96	0,202	0,57	2,827	0,35	2	0,707	15	10,611	
Soiling Avena-Ballica	Chopper forrajera 15-A	1,2	6,5	0,78	1,282	0,82	0,636	1,57	1	1,573	15	23,590
Soiling Avena-Ballica	Chopper forrajera 15-A	1,2	6,5	0,78	1,282	0,82	0,636	1,57	1	1,573	15	23,590
Ensilaje Avena-Ballica	Segadora	1,6	10	1,6	0,625	0,85	1,360	0,74	1	0,735	15	11,029
	Rastrillo	2	12	2,4	0,417	0,80	1,920	0,52	1	0,521	15	7,813
	Premarchitadora	2	8	1,6	0,625	0,80	1,280	0,78	1	0,781	15	11,719
Ensilaje Avena-Ballica	Segadora	1,6	10	1,6	0,625	0,85	1,360	0,74	1	0,735	15	11,029
	Rastrillo	2	12	2,4	0,417	0,80	1,920	0,52	1	0,521	15	7,813
	Premarchitadora	2	8	1,6	0,625	0,80	1,280	0,78	1	0,781	15	11,719
Henilaje Avena Ballica	Segadora	1,6	10	1,6	0,625	0,85	1,360	0,74	1	0,735	15	11,029
	Rastrillo	2	12	2,4	0,417	0,80	1,920	0,52	1	0,521	15	7,813
	Enfardadora	3	4,2	1,26	0,794	0,70	0,882	1,13	1	1,134	15	17,007
Mantencion B.Perenne	Regeneradora	2	6,5	1,3	0,769	0,70	0,910	1,10	1	1,099	30	32,967
	pulverizadora	8	6,2	4,96	0,202	0,57	2,827	0,35	2	0,707	30	21,222
	rodon	2,5	10	2,5	0,400	0,83	2,075	0,48	1	0,482	30	14,458
	Trompo	8	6,5	5,2	0,192	0,66	3,410	0,29	1	0,293	30	8,798
Ensilaje B.Perenne	Segadora	1,6	10	1,6	0,625	0,85	1,360	0,74	1	0,735	30	22,059
	Rastrillo	2	12	2,4	0,417	0,80	1,920	0,52	1	0,521	30	15,625
	Premarchitadora	2	8	1,6	0,625	0,80	1,280	0,78	1	0,781	30	23,438
Ensilaje B.Perenne	Segadora	1,6	10	1,6	0,625	0,85	1,360	0,74	1	0,735	30	22,059
	Rastrillo	2	12	2,4	0,417	0,80	1,920	0,52	1	0,521	30	15,625
	Premarchitadora	2	8	1,6	0,625	0,80	1,280	0,78	1	0,781	30	23,438

ANEXO 10 Calculo del Uso anual de la maquinaria en el predio (continuación).

Cultivo	Trabajo	Ancho [m]	Velocidad [km/h]	CTT	TTT	ef	CET	TET	pasadas	TET total	há	hrs/año
Ballica Tama	Arado rotativo	1,8	3	0,54	1,852	0,70	0,376	2,66	1	2,658	12	31,894
	Rastraje Off-set	2	6	1,2	0,833	0,69	0,824	1,21	3	3,643	12	43,713
	Rastraje Tandem	2	6	1,2	0,833	0,69	0,824	1,21	2	2,429	12	29,142
	Rastra liviana	2	12	2,4	0,417	0,68	1,641	0,61	2	1,219	12	14,628
	Trompo	8	6,5	5,2	0,192	0,70	3,628	0,28	1	0,276	12	3,308
	Rodon	2,5	10	2,5	0,400	0,83	2,075	0,48	2	0,964	12	11,566
	Sembradora Grano	2	6	1,2	0,833	0,79	0,948	1,05	1	1,055	12	12,658
	Pulverizadora	8	6,2	4,96	0,202	0,57	2,827	0,35	2	0,707	12	8,489
Calera	3	11	3,3	0,303	0,65	2,129	0,47	1	0,470	12	5,636	
Ensilaje B.Tama	Segadora	1,6	10	1,6	0,625	0,85	1,360	0,74	1	0,735	12	8,824
	Rastrillo	2	12	2,4	0,417	0,80	1,920	0,52	1	0,521	12	6,250
	Premarchitadora	2	8	1,6	0,625	0,80	1,280	0,78	1	0,781	12	9,375
Ensilaje B.Tama	Segadora	1,6	10	1,6	0,625	0,85	1,360	0,74	1	0,735	12	8,824
	Rastrillo	2	12	2,4	0,417	0,80	1,920	0,52	1	0,521	12	6,250
	Premarchitadora	2	8	1,6	0,625	0,80	1,280	0,78	1	0,781	12	9,375
Pradera Fertilizada	Trompo	8	6,5	5,2	0,192	0,65	3,355	0,30	2	0,596	10	5,962
	Carro purinero 1	2	10	2	0,500	0,67	1,333	0,75	1	0,750	10	7,500
	Regeneradora	2	6,5	1,3	0,769	0,70	0,910	1,10	1	1,099	10	10,989
	Pulverizadora	8	6,2	4,96	0,202	0,58	2,877	0,35	2	0,695	10	6,952
Ensilaje P.Fertilizada	Segadora	1,6	10	1,6	0,625	0,85	1,360	0,74	1	0,735	10	7,353
	Rastrillo	2	12	2,4	0,417	0,80	1,920	0,52	1	0,521	10	5,208
	Premarchitadora	2	8	1,6	0,625	0,80	1,280	0,78	1	0,781	10	7,813
Henilaje P.Fertilizada	Segadora	1,6	10	1,6	0,625	0,85	1,360	0,74	1	0,735	10	7,353
	Rastrillo	2	12	2,4	0,417	0,80	1,920	0,52	1	0,521	10	5,208
	Enfardadora	3	4,2	1,26	0,794	0,70	0,882	1,13	1	1,134	10	11,338
Pradera fertilizada	Trompo	8	6,5	5,2	0,192	0,65	3,355	0,30	2	0,596	26	15,500
	Carro Purinero 1	2	10	2	0,500	0,67	1,333	0,75	1	0,750	26	19,500
	Regeneradora	2	6	1,2	0,833	0,70	0,840	1,19	1	1,190	26	30,952
	Pulverizadora	8	6,5	5,2	0,192	0,58	3,016	0,33	2	0,663	26	17,241
Ensilaje P.Fertilizada	Segadora	1,6	10	1,6	0,625	0,85	1,360	0,74	1	0,735	26	19,118
	Rastrillo	2	12	2,4	0,417	0,80	1,920	0,52	1	0,521	26	13,542
	Premarchitadora	2	8	1,6	0,625	0,80	1,280	0,78	1	0,781	26	20,313
Ensilaje P.Fertilizada	Segadora	1,6	10	1,6	0,625	0,85	1,360	0,74	1	0,735	26	19,118
	Rastrillo	2	12	2,4	0,417	0,80	1,920	0,52	1	0,521	26	13,542
	Premarchitadora	2	8	1,6	0,625	0,80	1,280	0,78	1	0,781	26	20,313
Rabano Forrajero	Segadora	1,6	10	1,6	0,625	0,85	1,360	0,74	1	0,735	26	19,118
	Rastrillo	2	12	2,4	0,417	0,80	1,920	0,52	1	0,521	26	13,542
	Premarchitadora	2	8	1,6	0,625	0,80	1,280	0,78	1	0,781	26	20,313
	Rastraje Off-Set	2	6	1,2	0,833	0,78	0,933	1,07	3	3,214	3	9,642
	Arado Rotativo	1,8	3	0,54	1,852	0,79	0,425	2,35	1	2,354	3	7,063
	Rodon	2,5	10	2,5	0,400	0,83	2,075	0,48	2	0,964	3	2,892
	Rastra liviana	2	12	2,4	0,417	0,76	1,826	0,55	2	1,095	3	3,285
	Rastraje Tandem	2	6	1,2	0,833	0,78	0,933	1,07	2	2,143	3	6,428
	Sembradora Grano	2	6	1,2	0,833	0,80	0,960	1,04	1	1,042	3	3,125
	Calera	3	11	3,3	0,303	0,65	2,129	0,47	1	0,470	3	1,409
Pulverizadora	8	6,5	5,2	0,192	0,57	2,964	0,34	1	0,337	3	1,012	
Trompo	8	6,5	5,2	0,192	0,70	3,628	0,28	1	0,276	3	0,827	

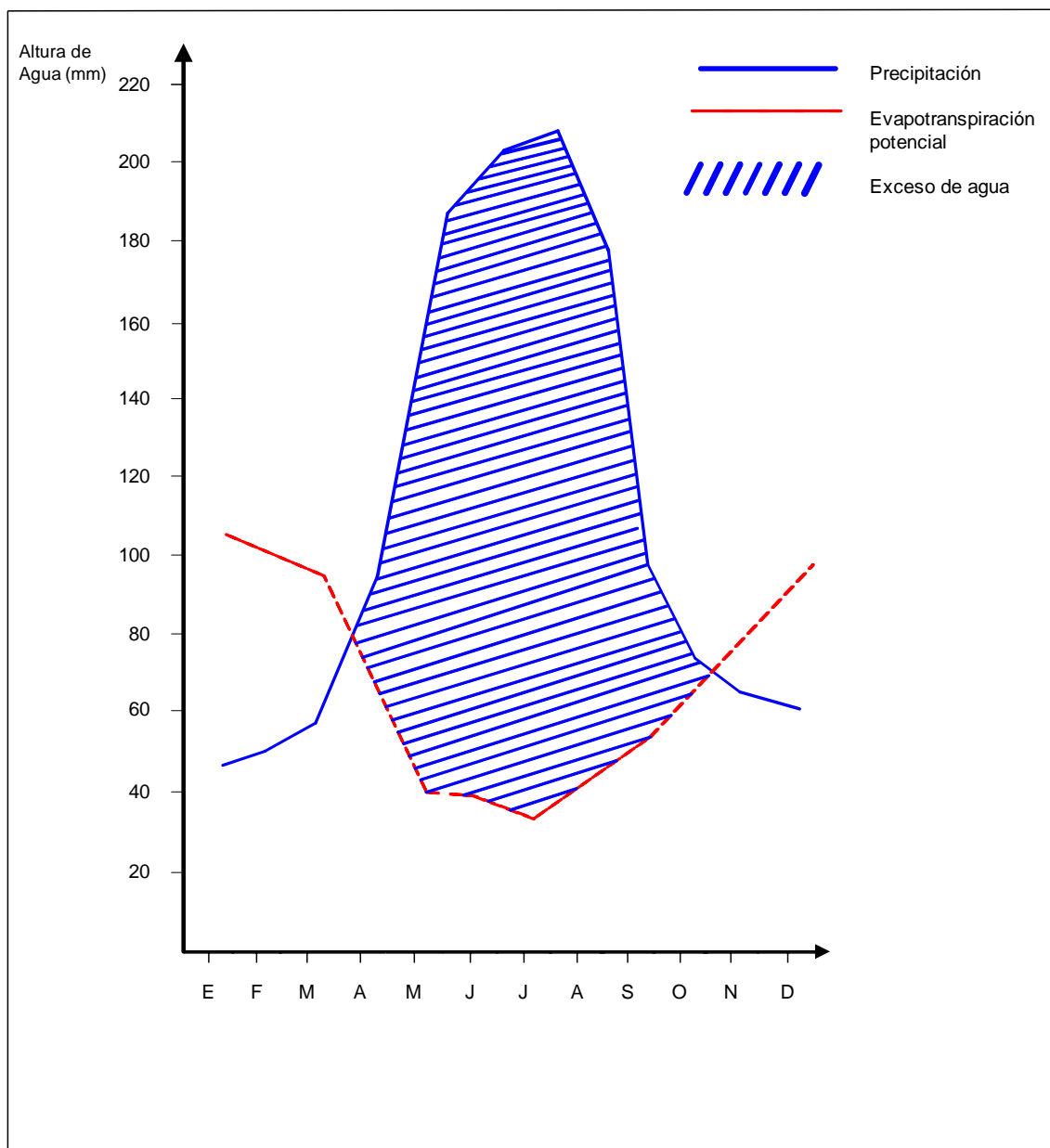
ANEXO 11. Planilla de costos de la segadora.

COSTOS DEL USO DE IMPLEMENTOS			
Maquinaria	SEGADORA ZWIGGERS		
Ancho	1,6	mts	
		US\$	570
		Valor en pesos(\$)	
	Valor inicial (Vi)	6205	\$ 3.536.850
	Valor residual (Vr)	1241	\$ 707.370
	Tasa bancaria (tb)	6%	
	Años de uso (N)	9	
	Horas de uso (n)	3800	
	Nivel de uso promedio (l)	422	
	Valor promedio (VP)	\$2.122.110	
	Horas de uso anual	136,189258	horas
COSTOS FIJOS			
Seguro	Se=%*Vi	0,7%	\$24.758
Interés al capital invertido	$((Vi+Vr)/2)*Tb$		\$ 127.327
Depreciación	Suma de años digitos $(L-n)*(P-S)/Y$		\$ 62.877
Almacenaje	Vi*0,005		\$17.684
Mano de Obra	\$(Uso Anual Acumulado)		\$68.095
TOTAL COSTOS FIJOS (\$)			\$300.741
TOTAL COSTOS FIJOS (\$/hr)			\$ 2.208
COSTOS VARIABLES			
Reparaciones y mantención	$Vi*(a*(X^b))$		\$ 24.366
TOTAL COSTOS VARIABLES (\$)			\$24.366
TOTAL COSTOS VARIABLES (\$/hr)			\$179
COSTO POR HECTAREA (\$/ha)			\$1.526
COSTO TOTAL (\$/año)			\$325.107
TOTAL DE COSTOS (\$/hr)			\$2.387

ANEXO 11. Planilla de costos tractor diesel (continuación).

COSTOS DEL USO DE TRACTOR			
Maquinaria	TRACTOR CASE 5000		
Potencia	90	HP	
Potencia	67,5	KW	
Disponble ETF	40,5	KW	
		US\$	570
		Valor en pesos(\$)	
	Valor inicial (Vi)	25100	\$ 14.307.000
	Valor residual (Vr)	5020	\$ 2.861.400
	Tasa bancaria (tb)	6%	
	Años de uso (N)	10	
	Horas de uso (n)	10000	
	Nivel de uso promedio (nr)	1.000	
	Valor promedio (VP)	\$8.584.200	
	Horas de uso anual acumulado	1284	horas
COSTOS FIJOS			
Seguro	Se= %Vi	0,9%	\$128.763
Interés al capital invertido	$((V_i+V_r)/2) \cdot T_b$		\$ 515.052
Depreciación	Suma de años dígitos $(L-n) \cdot (P-S) / Y$		\$ 208.102
Almacenaje	$V_i \cdot 0,005$		\$71.535
Mano de Obra	$\$(Uso Anual Acumulado)$		\$642.000
TOTAL COSTOS FIJOS (\$)			\$1.565.452
TOTAL COSTOS FIJOS (\$/hr)			\$ 1.219
COSTOS VARIABLES			
Reparaciones y mantención	$y = 1,2(x/1000)^2$	0,01978387	\$283.048
Consumo Combustible Diesel	$2,64 \cdot X + 3,91 - 0,2(738 \cdot x + 173) \cdot (1/2)$	0,53093643	\$ 11.126.732
TOTAL COSTOS VARIABLES (\$)			\$11.409.780
TOTAL COSTOS VARIABLES (\$/hr)			\$8.886
COSTO POR HECTAREA (\$/ha)			\$30.967
COSTO TOTAL (\$/año)			\$12.975.231
TOTAL DE COSTOS (\$/hr)			\$10.105

Nota: Incluye las horas de uso anual de los equipos, además de labores anexas diarias (acarreo de agua y forrajeo).

ANEXO 12 Balance hídrico estación meteorológica Remehue.

FUENTE: ORTEGA (2000).

ANEXO 13. Fechas óptimas de siembra.

Época de siembra		Nivel de probabilidad	
Cultivo	Fechas	50%	80%
Papa	8 octubre- 4 noviembre	13	6,6
Maíz	29 octubre-18 noviembre	9	4,7
Regeneración 10 ha	24 septiembre-14 noviembre	10	3,1
Regeneración 26 ha	24 septiembre-14 noviembre	10	3,1
Rábano forrajero	15 octubre-4 noviembre	11	3,2
Col forrajera	1 octubre-21 octubre	10	3,7
Avena grano	24 septiembre-21 octubre	13	6,7
Avena-Ballica Tama	19 febrero-11 marzo	3	0,7
Ballica Perenne	26 febrero-18 marzo	5	1,3
Ballica Tama	24 septiembre-14 octubre	9	5

ANEXO 14. Fechas óptimas de cosecha.

Época de cosecha		Nivel de probabilidad	
Cultivo	Fechas	50%	80%
Papa	5 marzo-1 abril	11	6,5
Maíz	29 enero-18 febrero, 26 febrero-18 marzo	20	11,2
Regeneración 10 ha	29 enero-18 febrero, 5 -18 noviembre	19	14
Regeneración 26 ha	1-21 enero, 29 octubre-18 noviembre	22	14,9
Rábano forrajero	1 enero-18 febrero	21	15,2
Col forrajera	30 abril-20 mayo, 30 julio-30 agosto	10	2,1
Avena grano	5 marzo-1 abril	13	7,9
Avena-Ballica Tama	12 marzo-1 abril, 28 mayo-17 junio, 27 agosto- 16 septiembre	20	10,7
Ballica Perenne	15 enero-4 febrero, 28 mayo-3 junio, 29 octubre-18 noviembre	24	15,3
Ballica Tama	15 enero-4 febrero, 28 mayo-3 junio, 12 noviembre-2 diciembre	25	15,7

ANEXO 15 Costos de la maquinaria presente en el predio.

Implementos propios	Costo tractor [\$/h-1]	Costo implemento [\$/h-1]	Total [\$/h-1]
Arado rotativo	12450	3786	16236
Rastra offset	12450	836	13286
Rastra tándem	10105	1836	11941
Rastra liviana	10105	1017	11122
Encaladora	10105	4054	14159
Trompo	10105	1982	12087
Sembradora	10105	13906	24011
Rodón	10105	1308	11413
Pulverizadora	10105	1599	11704
Chopper maicera	12450	40542	52992
Chopper forrajera	12450	10155	22605
Regeneradora	12450	8702	21152
Carro purinero	10105	12308	22413
Segadora	10105	2387	12492
Rastrillo	10105	883	10988
Semb.papas	12450	59695	72145
Cosechadora de papas	12450	97570	110020
Enfardadora	12450	18110	30560
Premarchitadora		26209	26209
Automotriz		121698	121698

ANEXO 16 Costos de la maquinaria de mercado.

Implementos propios	Costo tractor [\$/h-1]	Costo implemento [\$/h-1]	Total [\$/h-1]
Arado Rotativo	14182	6295	20477
Rastra Offset	14182	3200	17382
Rastra Tándem	11277	3897	15174
Rastra Liviana	11277	2000	13277
Encaladura	11277	10063	21340
Trompo	11277	4595	15872
Sembradora	11277	15066	26343
Rodón	11277	12823	24100
Pulverizadora	11277	7654	18931
Chopper Maicera	14182	42664	56846
Chopper Forrajera	14182	26905	41087
Regeneradora	14182	35133	49315
Carro Purinero	11277	27004	38281
Segadora	11277	4824	16101
Rastrillo	11277	9740	21017
Sembradora de	14182	64230	78412
Cosechadora de	14182	45558	59740
Enfardadora	14182	68102	82284
Premarchrtadora		53970	53970
Automotriz		715977	715977

ANEXO 17 Macrosolver.

En documento impreso. Biblioteca Central, Universidad Austral de Chile.