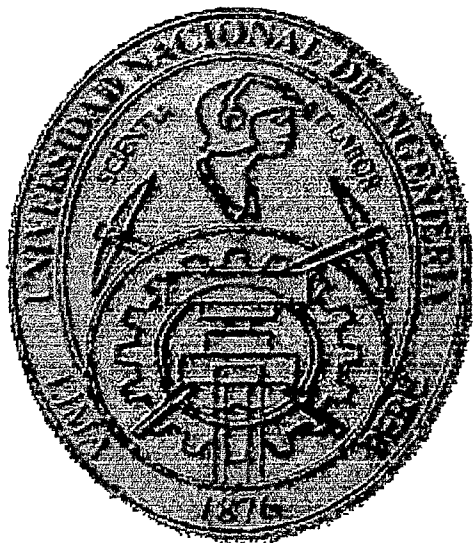


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



**“ OPTIMIZACION DE UNA CEDULA DE CULTIVO
MEDIANTE EL ALGORITMO DE KARMARKAR EN
EL SUBSECTOR DE RIEGO BAJO CAPLINA (TACNA) ”**

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

BACHILLER : FRANCISCO ARGUMEDO ESTAY

**LIMA - PERU
2001**

Digitalizado por:

**Consortio Digital del
Conocimiento MebLatam,
Hemisferio y Dalse**

AGRADECIMIENTO

Mis mas sinceros agradecimientos a mi asesor el CE Ing. Francisco Coronado del Aguila y al Profesor Leonardo Flores González por su apoyo y orientación.

Agradezco también al Licenciado de Matemáticas José A. Mayor Gallego de la Universidad de Sevilla-España y al Ing. Héctor Manuel Mora Escobar de la Universidad Nacional de Colombia por su colaboración y sus consejos.

Agradezco también a la Oficina de Información Agraria (OIA) del Ministerio de Agricultura.

“ ANHELANDO QUE ESTA MI TESIS SEA UNA DE MIS PRIMERAS METAS EN EL LARGO CAMINO COMO INGENIERO CIVIL LA CUAL TENDRA MUCHAS METAS POR DELANTE ”

DEDICO ESTA TESIS:

A mis padres, hermanas, y enamorada, quienes siempre me apoyan en cada paso importante de mi vida.

RESUMEN

La programación lineal empieza a desarrollarse realmente a partir de 1940 con la formulación de problemas lineales generales, y la creación del método del simplex por G.B.Dantzing en 1947.

En el método simplex, en cada iteración se comprueba un vértice de la región factible, definida por las restricciones lineales.

Si dicho vértice no es óptimo, el algoritmo obtiene otro, y así sucesivamente y así sucesivamente hasta llegar al óptimo, ya que el número de vértices es de tipo combinatorio, podría llegar a ser impracticable si se tuviera que comprobar una proporción grande de vértices.

La búsqueda de la región factible:

m ecuaciones lineales simultaneas en n incógnitas o variables ($m < n$).

Tipo combinatorio

$$C_m^n = \binom{n}{m} = \frac{n!}{m!(n-m)!}$$

El método Simplex tiene una limitación al ser de naturaleza exponencial; significa que conforme instancias de él son más grandes, el algoritmo más eficiente disponible para encontrar la solución óptima es tal, que su comportamiento es una función exponencial con el número de iteraciones.

Entonces a partir de esto se intentó encontrar un alternativo algoritmo para resolver los problemas de programación lineal con complejidad polinomial, se realizaron muchas investigaciones, pero fallaron en su intento, siendo menos efectivo que el método Simplex, entonces se paralizaron las investigaciones en programación lineal, hasta que en 1984 Narendra Karmarkar, un matemático

hindú de 28 años, egresado del Instituto de Tecnología en Bombay, del Instituto de Tecnología de California y de la Universidad de California en Berkeley, investigador de los laboratorios AT&T Bell, publicó el artículo *A New Polynomial-Time Algorithm for Linear Programming* que marcó un hito en la Programación Lineal. Karmarkar desarrollo un algoritmo de tiempo polinomial que corta a través del interior del espacio solución.

La idea principal es empezar desde un punto interior representado por el centro de la simplex y después avanzar en dirección del gradiente proyectado para determinar un nuevo punto solución. El nuevo punto debe ser estrictamente un punto interior, significando que todas sus coordenadas deben ser positivas, no debe estar en los límites de la simplex. Para garantizar este resultado, una esfera con su centro coincidiendo con el de la simplex se inscribe en forma ajustada en el interior de la simplex. La validez del algoritmo se basa en esta condición.

El nuevo punto solución será la intersección de la esfera con el sistema homogéneo $AX=0$. El nuevo punto de la solución ya no estará en el centro de la simplex. Para que el procedimiento sea iterativo, necesitamos encontrar una forma de llevar el nuevo punto de la solución hacia el centro de una simplex. Karmarkar satisface este requerimiento proponiendo una transformación proyectiva.

A partir del trabajo de Karmarkar se reactivó la investigación en Programación Lineal.

El interés es el de encontrar una aplicación de esta investigación a la carrera de Ingeniería Civil y aportar al desarrollo del país en el campo de la agricultura, que es una actividad básica de la economía y generadora de empleo a menor costo.

La costa de Tacna es una zona árida, desértica por lo cual sería fundamental optimizar el uso del agua para maximizar sus beneficios y minimizar sus pérdidas.

El sub-sector de riego Bajo Caplina con una superficie agrícola de 1 291,8 ha se ubica en el departamento de Tacna y constituye el entorno rural abastecedor de alimentos a la ciudad de Tacna, con una producción agrícola representada por

cultivos permanentes, transitorios y forrajeros. Las áreas agrícolas del sub-sector pertenecen a los distritos de Tacna, Pocollay, Calana y Pachía, y son irrigadas con las aguas del río Caplina, cuya disponibilidad se incrementará con la derivación Uchusuma en 0,343 m³/s, mediante la ejecución del Proyecto Vilavilani II etapa.

Los recursos como agua, suelos de buena calidad y capital en el sub-sector son escasos constituyendo limitantes para el productor agrícola y que se reflejan en la obtención de productos con bajos rendimientos y costos elevados en la producción. Para hacer un uso eficiente de estos recursos de tal manera de maximizar los beneficios netos de la producción se plantea en el presente estudio de investigación la optimización de la cédula de cultivo para las condiciones existentes en el sub-sector realizando la mejor asignación de recursos limitados a un número de actividades en competencia en una cédula de cultivo.

Para obtener la cédula óptima que maximice las utilidades netas se ha planteado ocho modelos de programación lineal considerando cédulas con y sin rotación de cultivos, teniendo como función objetivo la maximización de los beneficios netos de la producción, sujeto a restricciones de los recursos agua, suelo, mano de obra y mercado. Para resolver las ecuaciones lineales de los modelos planteados se ha utilizado como instrumento matemático de solución la técnica de Programación Lineal, utilizando el algoritmo de programación lineal de Karmarkar programado en MATLAB.

Los resultados obtenidos por el algoritmo Karmarkar son iguales a los obtenidos mediante el método simplex, la diferencia esta en la facilidad en el ingreso de datos que tiene el algoritmo de Karmarkar, su fácil programación, su rápida convergencia con problemas con mayor número de variables.

El algoritmo de Karmarkar es un interesante método alternativo para programación lineal y efectivo para programación lineal con gran cantidad de variables.

Como resultado se ha obtenido la cédula de cultivo óptima para las condiciones de:

Eficiencia de riego =46%, con aporte de la derivación Uchusuma y con rotación de cultivos. Con esta cédula se obtiene un beneficio neto de US\$ 955 540, 937.2 ha. con cultivos permanentes, transitorios y forrajeros.

El volumen de producción es de 25 343 TM con una utilidad neta de US\$ 955 540, que representan un incremento de 37% y 63% con respecto al volumen y utilidad actual respectivamente.

FACTORES	SIN OPTIMIZAR	OPTIMIZADO	INCREMENTO
UTILIDAD	US\$ 586 430	US\$ 955 540	63%
VOLUMEN DE PRODUCCION	18 486 TM	25 343 TM	37%

INDICE

RELACION DE CUADROS	XI
RELACION DE FIGURAS	XIV
RELACION DE ESQUEMAS	XIV
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 GENERALIDADES	1
1.2 OBJETIVOS	2
II. PROGRAMACIÓN LINEAL	2
III. METODO DE KARMARKAR	15
3.1 INTRODUCCIÓN	15
3.2 ALGORITMO DE KARMARKAR	17
3.3 ADAPTACION AL ALGORITMO DE KARMARKAR	52
IV. MODELOS DE OPTIMIZACION DE CEDULAS DE CULTIVO	63
5.1 OBJETIVO	63

V. METODOLOGÍA	64
5.1 ÁREA DEL PROYECTO	65
a. Ubicación	65
b. Clima	67
c. Vías de Comunicación	67
d. Geología y Geomorfología	73
e. Ecología y fisiografía	74
5.2 DIAGNOSTICO AGRO ECONÓMICO	76
a. Organización	76
b. Tenencia de la tierra	76
c. Cedula de cultivo actual	79
d. Rotación siembra y cosecha de cultivos	81
e. Rendimientos de los cultivos	83
f. Precios en chacra	85
g. Volumen y utilidad neta de la producción actual	85
5.3 RECURSO SUELO	88
a. Series y clases de suelos	88
b. Limitaciones y potencialidades del recurso suelo	94
5.4 RECURSO HÍDRICO	96
a. Disponibilidad del recurso hídrico	96
b. Demanda de agua de la cedula actual	96
c. Descripción del sistema de riego Caplina	102
d. Inventario y evaluación del estado de la infraestructura de riego	103

5.5	POBLACIÓN BENEFICIADA	105
5.6	COMERCIALIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA	105
5.7	REQUERIMIENTOS AGRO CLIMÁTICOS DE LOS CULTIVOS.	107
5.8	CULTIVOS PROPUESTOS.	117
5.9	FUNCIÓN OBJETIVO.	121
	a. Rentabilidad económica.	121
5.10	RESTRICCIONES DEL MODELO	123
	a. Agua	123
	b. Mano de obra	130
	c. Mercado	130
	d. Suelo	133
5.11	FORMULACIÓN DEL MODELO	134
5.12	PROGRAMACIÓN LINEAL	134
VI.	RESULTADOS Y DISCUSIONES	135
6.1	CEDULA OPTIMA DE CULTIVOS	135
6.2	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	142
VII.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	144
7.1	CONCLUSIONES	144
7.2	RECOMENDACIONES	146

VIII. BIBLIOGRAFÍA	148
ANEXOS	152
ANEXO 1 PROGRAMACIÓN EN MATLAB DEL ALGORITMO DE KARMAKAR	153
ANEXO 2 VARIABLES METEOROLÓGICAS	167
ANEXO 3 COSTOS DE PRODUCCIÓN	170
ANEXO 4 MODELOS	184
ANEXO 5 INGRESO DE DATOS Y RESULTADOS	193

RELACION DE CUADROS

- CUADRO N° 01 VARIABLES CLIMATICAS SUB-SECTOR DE RIEGO BAJO
CAPLINA.
- CUADRO N° 02 COBERTURA DE AREAS SEGÚN SUB-SECTOR DE RIEGO.
- CUADRO N° 03 CLASIFICACION DE LA TENENCIA DE LA TIERRA POR
RANGOS DE TAMAÑO SUB-SECTOR DE RIEGO BAJO
CAPLINA.
- CUADRO N° 04 CEDULA DE CULTIVO ACTUAL SUB-SECTOR DE RIEGO
BAJO CAPLINA.
- CUADRO N° 05 CALENDARIO DE CULTIVOS PARA CEDULA ACTUAL.
- CUADRO N° 06 COMPARATIVO DE LOS RENDIMIENTOS UNITARIOS DE
PRODUCCIÓN SUB-SECTOR DE RIEGO BAJO CAPLINA
Y VALLE DE TACNA.
- CUADRO N° 07 PRECIOS EN CHACRA DE PRODUCTOS SUB-SECTOR DE
RIEGO BAJO CAPLINA.
- CUADRO N° 08 VOLUMEN Y UTILIDAD NETA DE LA PRODUCCIÓN DE LA
CEDULA ACTUAL SUB-SECTOR DE RIEGO BAJO
CAPLINA.
- CUADRO N° 09 CLASIFICACION DE LOS SUELOS SEGÚN SERIES Y
CLASE DE APTITUD PARA EL RIEGO SEGÚN SUB-
SECTOR DE RIEGO UCHUSUMA – CAPLINA.
- CUADRO N° 10 DESCARGAS MEDIAS MENSUALES RIO CAPLINA.

- CUADRO N° 11 CALCULO DE LA EVAPORACION POTENCIAL METODO DE PENMAN.
- CUADRO N° 12 DEMANDA DE AGUA PARA LA CEDULA DE CULTIVO ACTUAL SUB-SECTOR DE RIEGO BAJO CAPLINA.
- CUADRO N° 13 BALANCE HIDRICO PARA LA SITUACION ACTUAL SUB-SECTOR DE RIEGO BAJO CAPLINA.
- CUADRO N° 14 INVENTARIO DEL CANAL CAPLINA.
- CUADRO N° 15 REQUERIMIENTOS EDAFICOS Y CLIMATICOS DE LOS CULTIVOS.
- CUADRO N° 16 CALENDARIO DE CULTIVOS PARA CEDULA SIN ROTACION DE CULTIVOS.
- CUADRO N° 17 CALENDARIO DE CULTIVOS PARA CEDULA CON ROTACION DE CULTIVOS.
- CUADRO N° 18 DETERMINACION DEL VALOR NETO DE LA PRODUCCION DE CULTIVOS CONSIDERADOS.
- CUADRO N° 19 DISPONIBILIDAD HIDRICA PARA USO AGRICOLA CON Y SIN DERIVACION UCHUSUMA.
- CUADRO N° 20 DEMANDA DE AGUA PARA LA CEDULA SIN ROTACION DE CULTIVOS SUB-SECTOR DE RIEGO BAJO CAPLINA (EFICIENCIA = 46%).

- CUADRO N° 21 DEMANDA DE AGUA PARA LA CEDULA CON ROTACION DE CULTIVOS SUB-SECTOR DE RIEGO BAJO CAPLINA (EFICIENCIA = 46%).
- CUADRO N° 22 DEMANDA DE AGUA PARA LA CEDULA SIN ROTACION DE CULTIVOS SUB-SECTOR DE RIEGO BAJO CAPLINA (EFICIENCIA = 31%).
- CUADRO N° 23 DEMANDA DE AGUA PARA LA CEDULA CON ROTACION DE CULTIVOS SUB-SECTOR DE RIEGO BAJO CAPLINA (EFICIENCIA = 31%).
- CUADRO N° 24 REQUERIMIENTOS DE MANO DE OBRA PARA CEDULA SIN ROTACION DE CULTIVOS.
- CUADRO N° 25 REQUERIMIENTOS DE MANO DE OBRA PARA CEDULA CON ROTACION DE CULTIVOS.
- CUADRO N°28 CEDULAS OPTIMIZADAS SIN ROTACION DE CULTIVOS.
- CUADRO N°29 CEDULAS OPTIMIZADAS SIN ROTACION DE CULTIVOS.
- CUADRO N°30 VOLUMEN Y UTILIDAD NETA DE LA PRODUCCION DE LAS CEDULAS OPTIMIZADAS SIN ROTACION DE CULTIVOS.
- CUADRO N°31 VOLUMEN Y UTILIDAD NETA DE LA PRODUCCION DE LAS CEDULAS OPTIMIZADAS CON ROTACION DE CULTIVOS.
- CUADRO N° 32 BALANCE HIDRICO PARA LA CEDULA OPTIMA DEL MODELO N°2.

RELACION DE FIGURAS

- FIG. N° 01: PLANO DE UBICACION SUB-SECTOR DE RIEGO BAJO CAPLINA.
- FIG. N° 02: PRECIPITACION MEDIA MENSUAL ESTACION CALANA.
- FIG. N° 03: VARIACION DE LA TEMPERATURA ESTACION CALANA.
- FIG. N° 04: HUMEDAD RELATIVA MEDIA MENSUAL ESTACION CALANA.
- FIG. N° 05: VELOCIDAD DEL VIENTO MEDIA MENSUAL ESTACION CALANA.

RELACION DE ESQUEMAS

- ESQUEMA. N°01 CENTROS DE ORIGEN DEL ABASTECIMIENTO DE PRODUCTOS AGROPECUARIOS A TACNA.

I. INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

La producción agrícola del área de estudio se basa en un patrón de cultivo heterogéneo, conformado por cultivos permanentes (vid negra corriente), transitorios (papa, maíz amiláceo, hortalizas, maíz choclo, ají, tomate, haba y arveja), forrajeros (alfalfa y maíz chala) y forestales.

Existe cierta vocación ganadera, razón por la cual la mayoría de los predios dedican parte de su área cultivada a la producción de cultivos forrajeros.

El sub-sector de riego Bajo Caplina se tipifica como una zona de menor desarrollo relativo con tendencia al estancamiento principalmente en las áreas de minifundio; sin embargo, su potencial agro ecológico es un factor determinante para impulsar complejos frutihortícolas con fines agroindustriales y para el consumo humano directo.

La programación Lineal es un método de asignación de recursos que busca la mejor asignación de recursos limitados a un número de actividades en competencia.

En el sub-sector de riego Bajo Caplina, con el presente trabajo se pretende alcanzar una cedula optima de cultivo a los usuarios, mediante el uso eficiente de los recursos agua, suelo, mano de obra, capital, entre otros; esta cedula como todas las cedulas de cultivo son dinámicas, dependiendo su evolución de las condiciones de mercado y disponibilidad de recursos.

1.2 OBJETIVOS

Optimizar la cedula de cultivos acorde con las condiciones agro climáticas y económicas del sub-sector de riego Bajo Caplina, mediante la formulación de modelos de programación lineal, utilizando el algoritmo de programación lineal de Karmarkar programado en MATLAB, además de dejar un método que pueda servir para realizar trabajos de optimización de estructuras metálica, desarenadores, represas, otros.

La investigación busca incentivar al alumnado de nuestra Universidad a investigar sobre los nuevos métodos de programación lineal así como se hace en otras Universidades adelantadas del mundo.

II. PROGRAMACIÓN LINEAL

La programación lineal es un instrumento matemático útil para analizar y resolver ciertos tipos de problema de decisión.

La programación lineal - minimización de una función lineal sujeta a restricciones de tipo lineal, en el cual, todas las operaciones se pueden aproximar, mediante ecuaciones lineales (líneas rectas) - empieza a desarrollarse realmente a partir de 1940 con la formulación de problemas lineales generales, y la creación del método del simplex por G.B.Dantzing en 1947.

En el método simplex, en cada iteración se comprueba un vértice de la región factible, definida por las restricciones lineales.

Si dicho vértice no es óptimo, el algoritmo obtiene otro, y así sucesivamente y así sucesivamente hasta llegar al óptimo, ya que el número de vértices es de tipo combinatorio, podría llegar a ser impracticable si se tuviera que comprobar una proporción grande de vértices.

La búsqueda de la región factible:

m ecuaciones lineales simultaneas en n incógnitas o variables ($m < n$).

Tipo combinatorio

$$C_m^n = \binom{n}{m} = \frac{n!}{m!(n-m)!}$$

El método Simplex tiene una limitación al ser de naturaleza exponencial; significa que conforme instancias de él son más grandes, el algoritmo más eficiente disponible para encontrar la solución óptima es tal, que su comportamiento es una función exponencial con el número de iteraciones.

EL MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL

Las dos partes de un modelo lineal de optimización (PL) son la función objetivo y las restricciones.

La función que se desea minimizar se acostumbra a llamar función objetivo o función económica y se denota generalmente por Z . Si las n variables son x_1, x_2, \dots, x_n entonces la función lineal Z se puede escribir

$$Z = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_n x_n$$

donde c_1, c_2, \dots, c_n son constantes.

Si se tiene un problema de maximización, este se puede convertir en uno de minimización cambiando el signo de todos los coeficientes c_j , por esta razón siempre se puede suponer que todos los problemas de programación lineal son problemas de minimización.

Las restricciones pueden adoptar la forma de desigualdades o igualdades, tanto la función objetivo como las restricciones deben ser lineales y todas las variables desconocidas deben ser no negativas.

Una restricción es lineal cuando es de alguna de las de las siguientes formas:

$$a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{in}x_n = b_i$$

$$a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{in}x_n \geq b_i$$

$$a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{in}x_n \leq b_i$$

donde $a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in}, b_i$ son constantes.

$$x_j \geq 0$$

Un modelo de programación lineal puede ser expresado de diferentes maneras según la forma de la función objetivo y de las restricciones.

Algunas formas del modelo surgen casi en forma natural debido a las características particulares del sistema en estudio, por ejemplo, al estudiar las ganancias en un sistema de producción, es muy posible que la función objetivo tenga que ser maximizada sujeta a un conjunto de restricciones estructurales de la forma “ \leq ” debido a la limitación de los recursos.

En algunos sistemas será necesario incluir restricciones estructurales del tipo “ $=$ ” o “ \geq ”.

Cuando en un problema todas las variables son no negativas, y el objetivo es maximizar una función lineal sujeta a restricciones estructurales exclusivamente de la forma “ \leq ” se dice que el problema está en la forma canónica.

$$\max \quad Z = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_n x_n$$

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

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

.....

.....

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

$$x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0$$

En el modelo de la programación lineal hay n actividades cuyos niveles (valores de las incógnitas) están representadas por x_1, x_2, \dots, x_n .

Existen también m recursos cuyas disponibilidades máximas están dadas por b_1, b_2, \dots, b_m . Cada unidad de actividad j consume una actividad del recurso j .

Esto quiere decir que la cantidad $\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j$ representa el uso total del recurso i que hacen todas las n actividades y por lo tanto no puede exceder a b_i .

La función objetivo $\sum_{j=1}^n c_j x_j$ representa una medida de la contribución de las diversas actividades.

En el caso de la maximización, c_j representa el costo por unidad.

Notamos que el "valor" de una actividad no se puede juzgar sólo en términos del coeficiente objetivo c_j , el consumo que hace la actividad de los recursos limitados es asimismo un factor importante.

Como todas las actividades del modelo compiten por recursos limitados, la contribución relativa de una actividad (con respecto a otras actividades) depende de su coeficiente objetivo c_j y su consumo de los recursos a_{ij} .

Por lo tanto, una actividad con una utilidad unitaria muy alta puede permanecer en el nivel cero debido a su uso excesivo de recursos limitados.

Que se puede escribir de manera matricial

$$\max \quad Z = [c_1 \cdot \cdot \cdot c_n] \begin{bmatrix} x_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ x_n \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} a_{11} & \cdot & \cdot & a_{1n} \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & & \cdot & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ a_{m1} & \cdot & \cdot & a_{mn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ x_n \end{bmatrix} \leq \begin{bmatrix} b_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ b_m \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ x_n \end{bmatrix} \geq \begin{bmatrix} 0 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ 0 \end{bmatrix}$$

y de manera mas compacta

$$\max \quad Z = c^t X$$

$$AX \leq b$$

$$X \geq 0$$

Una desigualdad siempre se puede convertir en una igualdad sumando o restando una nueva variable no negativa llamada variable de holgura.

Cuando en un problema todas las variables son no negativas, y el objetivo es maximizar una función lineal sujeta a restricciones estructurales exclusivamente de la forma “ = ” se dice que el problema esta en la forma estándar.

$$\max \quad Z = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_n x_n$$

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

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

.....

.....

$$a_{m1} x_1 + a_{m2} x_2 + \dots + a_{mn} x_n = b_m$$

$$x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0$$

que se puede escribir de manera matricial

$$\max \quad Z = [c_1 \cdot \cdot \cdot c_n] \begin{bmatrix} x_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ x_n \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} a_{11} & \cdot & \cdot & \cdot & a_{1n} \\ \cdot & \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & \cdot & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot & \cdot \\ a_{m1} & \cdot & \cdot & \cdot & a_{mn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ x_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ b_m \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ x_n \end{bmatrix} \geq \begin{bmatrix} 0 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ 0 \end{bmatrix}$$

y de manera mas compacta

$$\begin{aligned} \max \quad & Z = c^t X \\ & AX = b \\ & X \geq 0 \end{aligned}$$

Donde A es una matriz $m \times n$, es decir, un arreglo de numeros compuesto por m filas(horizontales) y por n columnas(verticales).

X es un vector columna $n \times 1$.

b es un vector columna $m \times 1$.

c es un vector columna $n \times 1$.

c^t es el traspuesto de c y por lo tanto es un vector fila $1 \times n$.

PROBLEMA DUAL

Podemos asociar a cualquier problema (A, b, c) de programación lineal otro problema (A^t, c, b) . Este problema se llama problema dual del original. Por ejemplo, el problema:

$$\text{Maximizar : } 3x_1 - 2x_2$$

$$7x_1 + x_2 \leq 18$$

$$-3x_1 + 5x_2 \leq 25$$

$$6x_1 - x_2 \leq 13$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

Tiene el siguiente problema dual :

$$\text{Minimizar : } 18\lambda_1 + 25\lambda_2 + 13\lambda_3$$

$$7\lambda_1 - 3\lambda_2 + 6\lambda_3 \geq 3$$

$$\lambda_1 + 5\lambda_2 - \lambda_3 \geq -2$$

$$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3 \geq 0$$

TEOREMA 1

Si X es un punto factible del problema de programación lineal (A, b, c) , y si λ es un punto factible del problema dual (A^t, c, b) , entonces

$$c^t X \leq \lambda^t A X \leq b^t \lambda$$

Si la igualdad se cumple en este caso, entonces X y λ son soluciones de sus respectivos problemas.

Demostración

Los puntos X y λ satisfacen :

$$X \geq 0 \quad A X \leq b \quad \lambda \geq 0 \quad A^t \lambda \geq c \quad \text{ó} \quad c \leq A^t \lambda$$

De ahí que

$$c^t X \leq (A^t \lambda)^t X = \lambda^t A X \leq \lambda^t b = b^t \lambda$$

Los valores ν_1 , ν_2 de los dos problemas deben por consiguiente satisfacer :

$$\begin{aligned} c^t X &\leq \nu_1 \leq b^t \lambda \\ -b^t \lambda &\leq \nu_2 \leq -c^t X \end{aligned}$$

Si $c^t X = b^t \lambda$, está claro que $c^t X = \nu_1 = b^t \lambda = -\nu_2$.

El teorema precedente se utiliza con frecuencia para estimar el valor ν_1 de un problema de programación lineal.

Si se conoce un punto factible X , y se conoce un punto factible λ del problema dual, entonces $c^t X \leq \nu_1 \leq b^t \lambda$ define un intervalo que contiene a ν_1 .

TEOREMA 2

Si un problema de programación lineal y su dual tienen puntos factibles, entonces ambos problemas tienen solución, siendo el valor de una solución el negativo de la otra.

Demostración

De acuerdo con el teorema 1, es suficiente con demostrar que hay una X y una λ tales que :

$$X \geq 0 \quad A X \leq b \quad \lambda \geq 0 \quad A^t \lambda \geq c \quad c^t X \geq b^t \lambda$$

Ciertamente, un par (X, λ) de este tipo nos proporciona una solución X para el problema original, y una solución λ para su dual.

Nuestra tarea es demostrar que el siguiente sistema de desigualdades lineales es consistente :

$$\begin{bmatrix} A & 0 \\ 0 & -A^t \\ -c^t & b^t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ \lambda \end{bmatrix} \leq \begin{bmatrix} b \\ -c \\ 0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} X \\ \lambda \end{bmatrix} \geq \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Supongamos que el sistema es inconsistente y tratemos de deducir una contradicción.

El siguiente sistema es consistente :

$$\left\{ \begin{array}{l} \begin{bmatrix} A^t & 0 & -c \\ 0 & -A & b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \\ h \end{bmatrix} \geq \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} b^t & -c^t & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \\ h \end{bmatrix} < 0 \\ \begin{bmatrix} u \\ v \\ h \end{bmatrix} \geq 0 \end{array} \right.$$

En las formulas anteriores u y v son vectores y h una constante.

Supongamos que (u, v, h) satisface a este sistema. En tal caso :

$$\begin{array}{lll} A^t u - \lambda c \geq 0 & -A v + \lambda b \geq 0 & b^t u - c^t v < 0 \\ u \geq 0 & v \geq 0 & h \geq 0 \end{array}$$

Si $h > 0$, entonces $h^{-1}v$ es factible para el problema (A, b, c) y $h^{-1}u$ lo es para el problema dual, (A^t, c, b) .

En consecuencia, por el teorema 1 tenemos que $c^t(h^{-1}v) \leq b^t(h^{-1}u)$ y $b^t u - c^t v \geq 0$, lo que constituye una contradicción.

Si $h = 0$, entonces $A^t u \geq 0 \geq A v$.

Tomando un punto factible X del primer problema y un punto factible λ del problema dual, contradecimos una desigualdad previa:

$$c^t v \leq (A^t \lambda)^t v = \lambda^t A v \leq 0 \leq (A^t u)^t X = u^t (A X) \leq u^t b = b^t u$$

TEOREMA 3

Si un problema de programación lineal o su dual tiene solución, también el otro la tiene.

Demostración

Como el dual del dual es el problema original, solo es necesario demostrar uno de los dos casos. Suponga que el problema dual (A^t, c, b) tiene una solución λ_0 . En este caso el sistema de desigualdades

$$A^t \lambda \geq c \quad \lambda \geq 0 \quad b^t \lambda_0 \geq b^t \lambda$$

Es inconsistente. El sistema que se obtiene al omitir la tercera desigualdad es, por razones obvias, consistente. Escribamos el sistema inconsistente en la forma :

$$\begin{bmatrix} A^t \\ I \end{bmatrix} \lambda \geq \begin{bmatrix} c \\ 0 \end{bmatrix} \quad b^t \lambda_0 \geq b^t \lambda$$

Aplicando el teorema no homogéneo de Farkas, concluimos que el sistema

$$[A \quad I] \begin{bmatrix} x \\ u \end{bmatrix} = b \quad [x^t \quad u^t] \begin{bmatrix} c \\ 0 \end{bmatrix} \geq b^t \lambda_0 \quad \begin{bmatrix} x \\ u \end{bmatrix} \geq \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

es consistente. Por consiguiente,

$$Ax + u = b \quad x^t c \geq b^t \lambda_0 \quad x \geq 0 \quad u \geq 0$$

Se sigue que

$$Ax \leq b \quad c^t x \geq b^t \lambda_0 \quad x \geq 0$$

Por el teorema 1, x es una solución del problema original.

TEOREMA 4

Sean X y λ , respectivamente, puntos factibles de un problema de programación lineal y su dual. Estos puntos son soluciones de sus correspondientes problemas sí y solo sí $(AX)_i = b_i$ para cada índice i tal que $\lambda_i > 0$ y $(A^t \lambda)_i = c_i$ para cada índice i tal que $X_i > 0$.

Demostración

Si X y λ son soluciones, entonces por los teoremas 1 y 2,

$$\lambda^t b = b^t \lambda = \lambda^t AX = c^t X = X^t c$$

Esto nos da la ecuación $\lambda^t (b - AX) = 0$. como $\lambda \geq 0$ y $b - AX \geq 0$, concluimos que $\lambda_i (b_i - (AX)_i) = 0$ para cada índice i . De este modo, $(AX)_i = b_i$ siempre que $\lambda_i > 0$.

La otra condición se alcanza con un argumento de simetría.

A la inversa, suponga que:

$$\lambda_i (b_i - (AX)_i) = 0 \text{ y } X_i (c_i - (A^t \lambda)_i) = 0 \text{ para todo índice } i.$$

Tenemos que :

$$b^t \lambda = \lambda^t b = \lambda^t AX = X^t A^t \lambda = X^t c = c^t X$$

Por el teorema 1, X y λ son soluciones de sus respectivos problemas.

III. METODO DE KARMARKAR

3.1 INTRODUCCIÓN

El método del simplex, como es sabido, realiza su estudio sobre la frontera de la región factible en vez de aproximarse al óptimo de una forma más directa.

Esto originó, ya desde el principio de la programación lineal, que se intentara desarrollar métodos capaces de cruzar el interior de dicha región con la finalidad de aumentar la rapidez en la búsqueda del óptimo. Los primeros trabajos de esta naturaleza se debieron a Von Neumann (1947), Hoffmam et al.(1953), Tompkins (1955) y Frisch (1957). Sin embargo, ninguno de los métodos desarrollados en estos trabajos se mostró competitivo en rapidez al compararlo con el método del simplex, siendo su principal dificultad el gran volumen de cálculo asociado a cada iteración.

Desde el punto de vista teórico, se intentó encontrar un algoritmo para resolver los problemas de programación lineal con complejidad polinomial, es decir, con el número de operaciones necesarias para obtener el óptimo, acotado por un polinomio en el tamaño del problema.

En 1979, este problema quedó resuelto cuando el matemático soviético Khachian presentó un método basado en geometría no lineal de reducción de elipsoides, con complejidad polinomial. A pesar de ello, este método se ha revelado, en la práctica, mucho menos efectivo que el del simplex, por dos principales razones. Primera, porque, a pesar de la complejidad polinomial, el número de iteraciones necesarias tiende a ser muy grande, superando con creces al número medio de iteraciones necesarias en el método del simplex y segunda, porque el número de operaciones a realizar

en cada iteración también es muy superior a las requeridas en el simplex.

En 1984 Narendra Karmarkar, un matemático hindú de 28 años, egresado del Instituto de Tecnología en Bombay, del Instituto de Tecnología de California y de la Universidad de California en Berkeley, investigador de los laboratorios AT&T Bell, publicó el artículo *A New Polynomial-Time Algorithm for Linear Programming* que marcó un hito en la Programación Lineal.

A partir del trabajo de Karmarkar se reactivó la investigación en Programación Lineal.

Después del trabajo de Karmarkar, aparecen en la literatura una gran cantidad de trabajos teóricos y prácticos en programación lineal relacionados con el trabajo de Karmarkar.

Algunos de esos trabajos contienen nuevas ideas, otros solo contienen ligeras modificaciones y el resto solo presentan nuevas demostraciones a resultados ya conocidos.

Un factor importante para los métodos de puntos interiores generados luego del trabajo de Karmarkar, es que permite que algunos métodos sean aplicados a problemas de optimización no lineal.

KARMAKAR

El método propuesto por Karmarkar para la resolución de problemas programación lineal, llamado también "Método Proyectivo", está basado en el método de los elipsoides que fue desarrollado por Khachiyan en 1979. Su complejidad es polinomial y menor que la del algoritmo del elipsoide.

La técnica de Karmarkar ha sido utilizada en problemas con miles de variables y condiciones y ha presentado una rápida convergencia, muy superior a la obtenida por el método simplex en esos mismos casos.

El método de KARMARKAR se puede aplicar a problemas de programación lineal que tienen una forma especial, llamada la forma canónica de KARMARKAR **FCK**. Cuando un problema de programación lineal no está en la **FCK** entonces es necesario hacer algunas transformaciones (considerar el dual, introducir variables de holgura, pasarlo a un problema de factibilidad) para obtener un problema más grande en la **FCK** pero equivalente al inicial.

3.2 ALGORITMO DE KARMARKAR

Este algoritmo está basado en la aplicación repetida de transformaciones proyectivas y de minimizaciones sobre una esfera.

Un problema de programación lineal está en la forma canónica de Karmarkar, FCK, si se puede expresar

$$\begin{aligned} \min \quad & Z = c^t X \\ & A X = 0 \\ & e^t X = 1 \\ & X \geq 0 \end{aligned}$$

Donde A es una matriz $m \times n$, $m \leq n$.

c , X , e son vectores columna de n componentes

$$e = [1 \ 1 \ \dots \ 1]^t \in \mathbb{R}^n$$

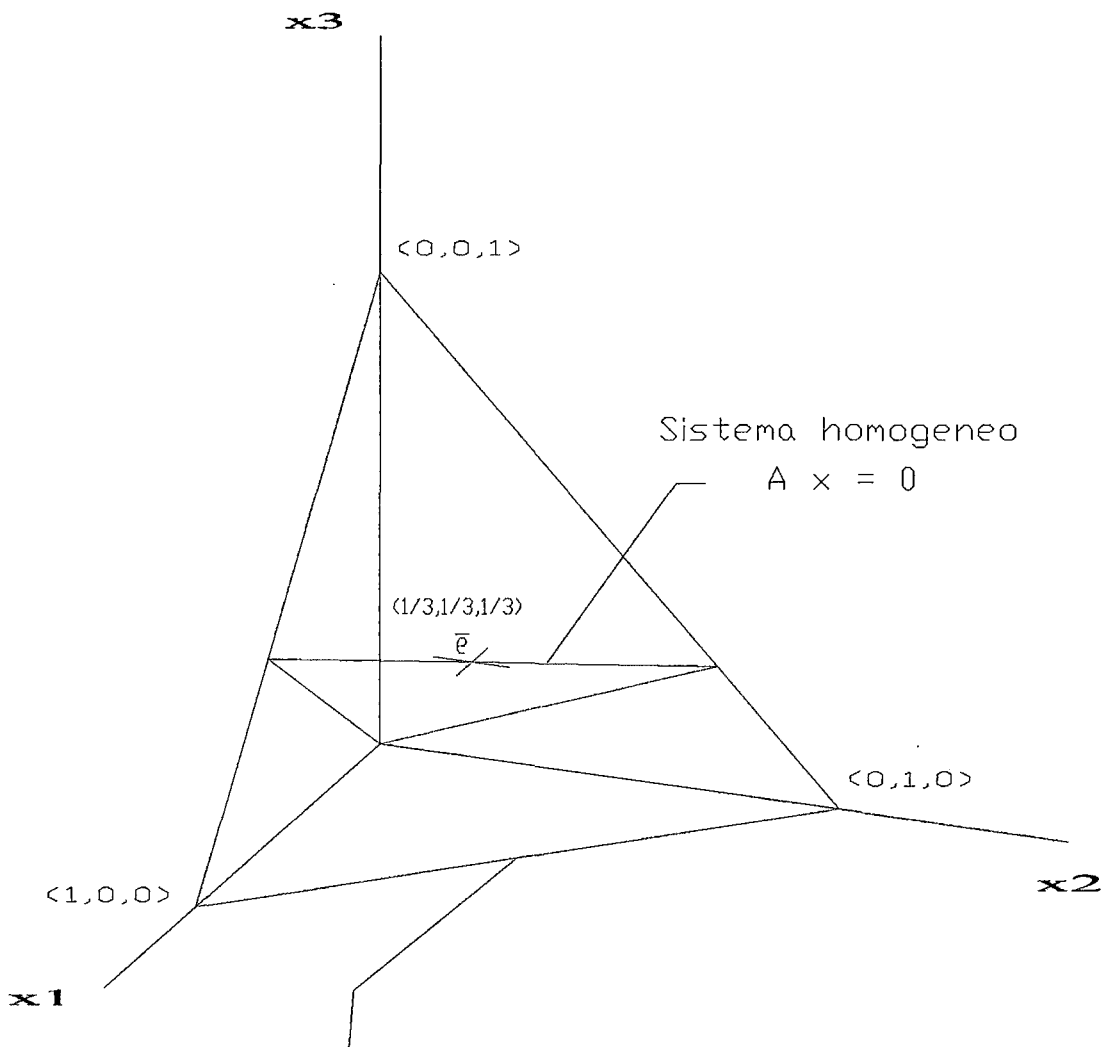
X es el vector columna de incógnitas del problema

y además se cumplen las siguientes condiciones:

- 1) El valor optimo de Z es nulo: $Z^* = 0$
- 2) $\bar{e} = \frac{1}{n} e$ es un punto admisible, es decir $A \bar{e} = 0$
y además $c^t \bar{e} > 0$ (Si $c^t \bar{e} = 0$, \bar{e} es optimo).

Utilicemos la siguiente notación

$$\Omega = \{ X \mid AX = 0 \}$$



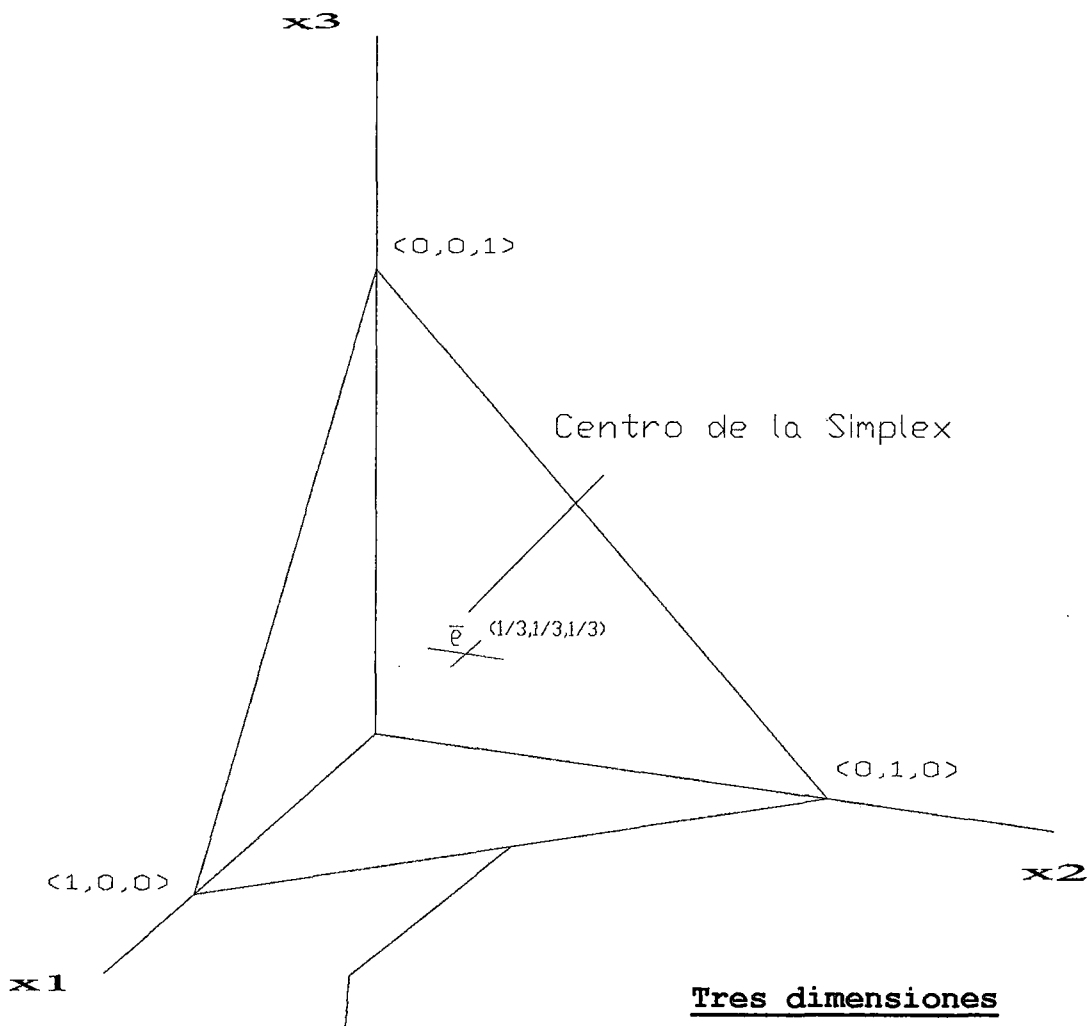
Region de la Simplex
 $e^t x = 1$, $x_1 + x_2 + x_3 = 1$

Definimos la simplex como el conjunto de puntos que cumple:

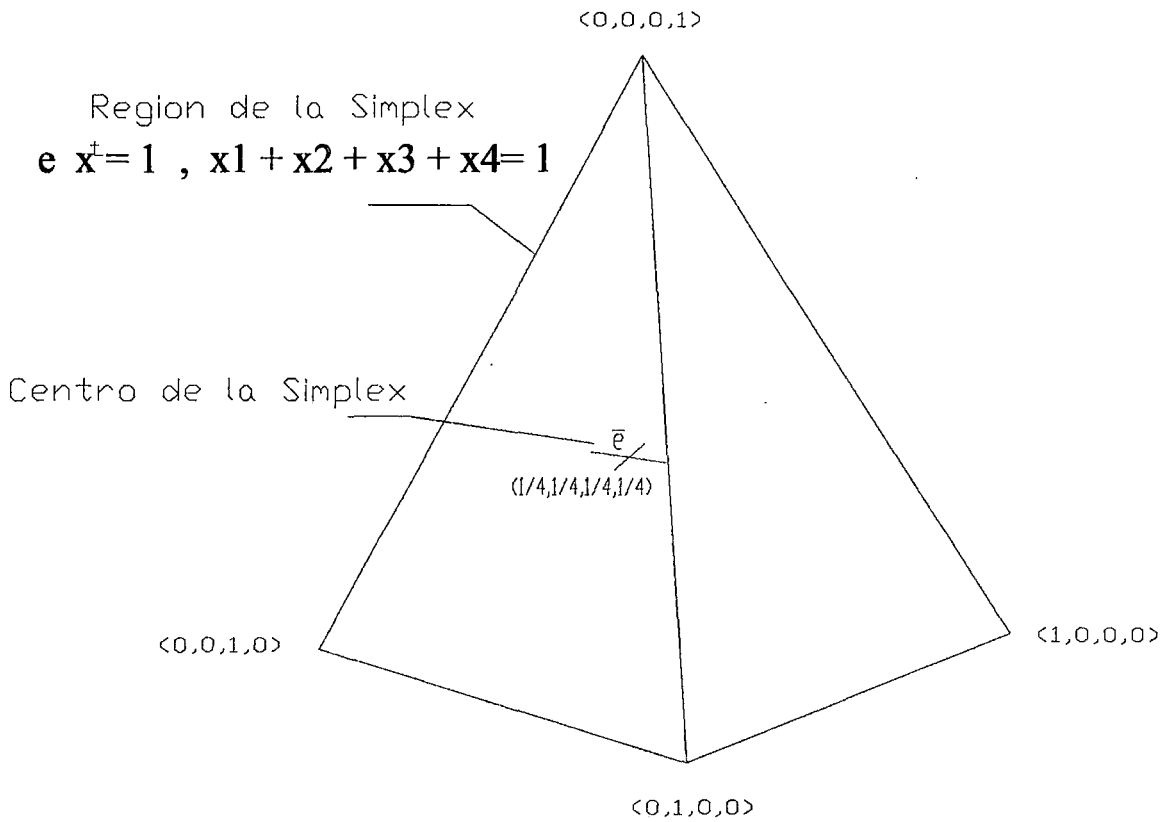
$$\Delta = \{e^t X = 1, X \geq 0\}$$

$$\overset{\circ}{\Delta} = \{X \mid e^t X = 1, X > 0\}, \text{ interior relativo de } \Delta$$

- ❖ Ω es un subespacio vectorial de \mathbb{R}^n
- ❖ Para $n = 2$, Δ es el segmento de recta que une los puntos $(1,0)$ y $(0,1)$ y $\overset{\circ}{\Delta}$ es el mismo segmento sin los dos puntos extremos.
- ❖ Para $n = 3$, Δ es el triangulo cuyos vértices son los puntos $(1,0,0)$, $(0,1,0)$ y $(0,0,1)$ y $\overset{\circ}{\Delta}$ es el mismo triangulo sin los vértices ni los lados.
- ❖ Los vértices de Δ son: $(1,0,\dots,0)$, $(0,1,0,\dots,0)$, $(0,0, \dots, 0,1)$.
- ❖ \bar{e} es el "centro" de Δ .



Region de la Simplex
 $e^t x = 1, x_1 + x_2 + x_3 = 1$



Cuatro dimensiones

$$\Phi = \Omega \cap \Delta$$

$$\dot{\Phi} = \Omega \cap \dot{\Delta}, \text{ interior relativo de } \Phi$$

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ x_n \end{bmatrix} \equiv (x_1, x_2, \dots, x_n) \in \mathbb{R}^n$$

$D(X)$ = matriz diagonal $n \times n$, cuyos elementos diagonales son las n componentes de X , vector columna $n \times 1$.

$$D(X) = \begin{bmatrix} x_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & x_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cdot & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cdot & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x_n \end{bmatrix} \dots\dots\dots(1)$$

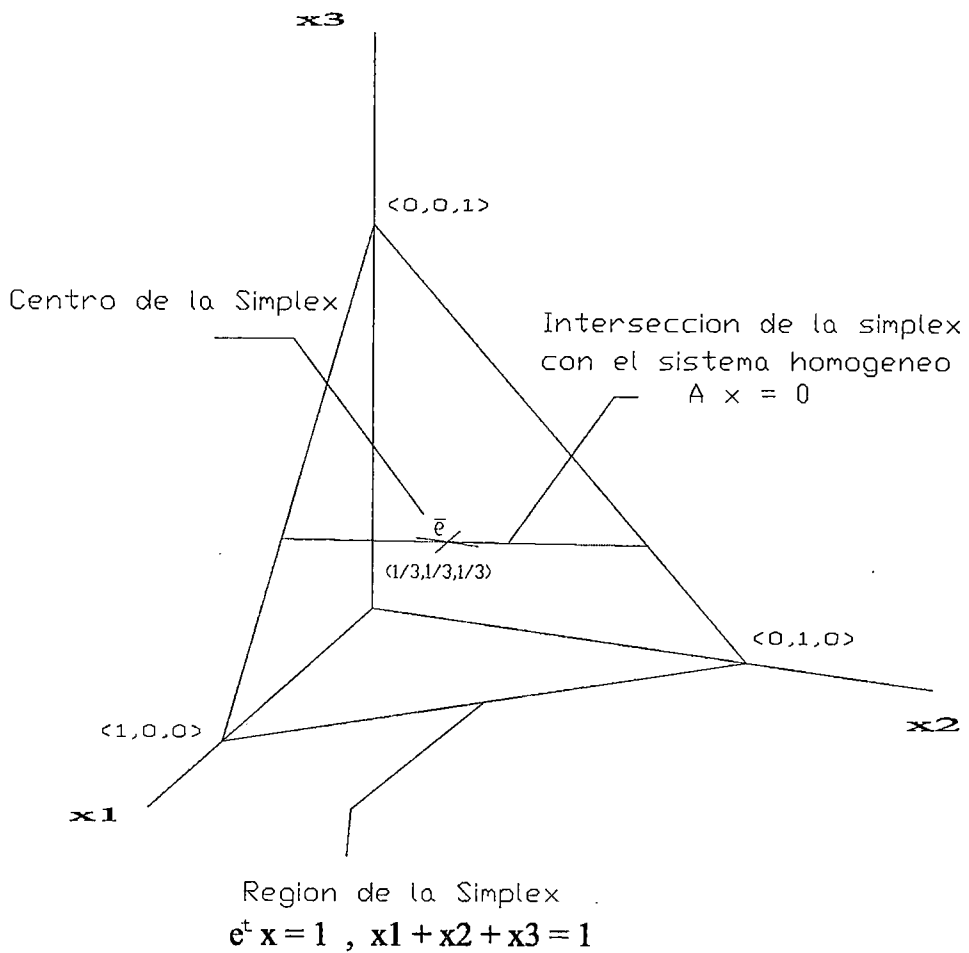
$$D^i(x) = D\left(\frac{1}{x_1}, \dots, \frac{1}{x_n}\right) \text{ si } x_i \neq 0 \text{ para todo } i.$$

un problema de programación lineal esta en la FCK sí:

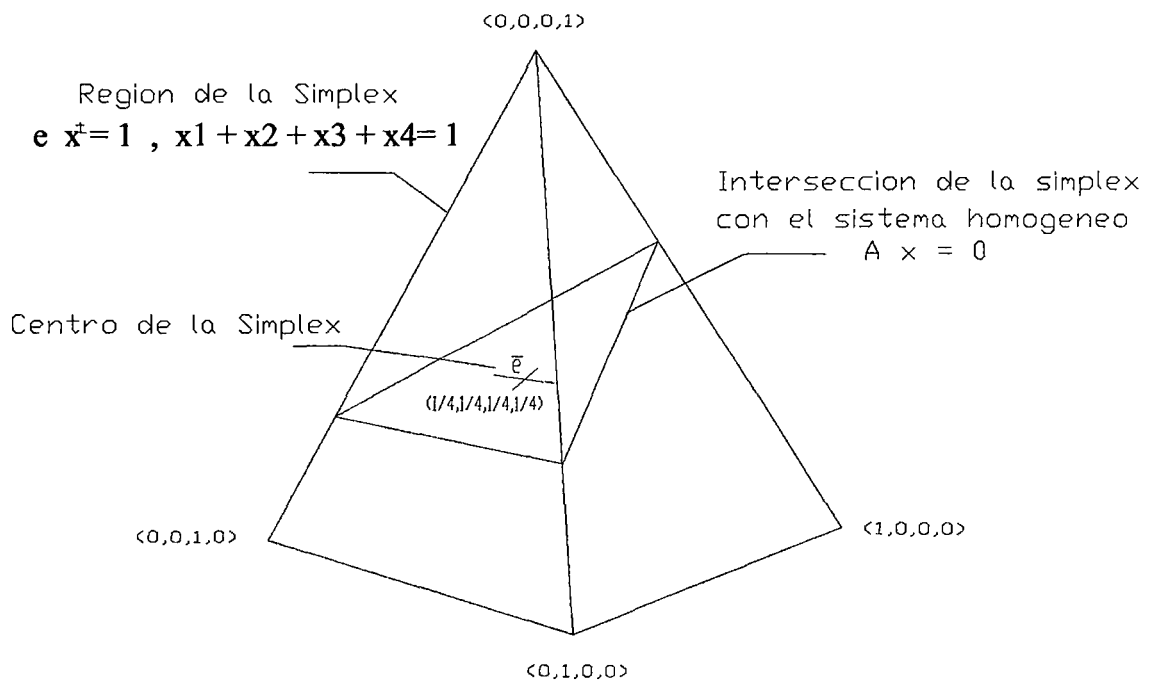
$$\begin{aligned} \text{PCK1} \quad & \min \quad Z = c^t X \\ & X \in \Phi \end{aligned}$$

Es decir

$$AX = 0, e^t X = 1, X \geq 0.$$



Tres dimensiones



Cuatro dimensiones

El método de Karmarkar está basado en transformaciones proyectivas definidas de la siguiente manera: sea \mathcal{X} un punto fijo de $\overset{\circ}{\Phi}$, es decir:

$$A\mathcal{X} = 0, e^t \mathcal{X} = 1, \mathcal{X} > 0$$

Sea T_ξ una transformación de Δ en Δ que envía vértices en vértices.

$$T_\xi : \Delta \rightarrow \Delta$$

$$\mathcal{X} \rightarrow T_\xi(\mathcal{X}) = \frac{\mathcal{D}_\xi^{-1} \mathcal{X}}{e^t \mathcal{D}_\xi^{-1} \mathcal{X}}$$

$$\mathcal{D}_\xi = \mathcal{D}(\mathcal{X})$$

Como $\mathcal{X} > 0$, entonces \mathcal{D}_ξ es invertible.

T_ξ cumple las siguientes propiedades:

- ❖ Para todo $\mathcal{X} \in \Delta$ se cumple que $T_\xi(\mathcal{X})$ está definido y $T_\xi(\mathcal{X}) \in \Delta$, es decir, T_ξ está bien definida.
- ❖ T_ξ es una función uno a uno y admite función inversa.
- ❖ $\mathcal{Y} = T_\xi(\mathcal{X}) \quad \mathcal{X} = T_\xi^{-1}(\mathcal{Y}) = \frac{\mathcal{D}_\xi \mathcal{Y}}{e^t \mathcal{D}_\xi \mathcal{Y}}$
- ❖ Si ν es un vértice de Δ entonces $T_\xi(\nu)$ también es vértice de Δ .
- ❖ $T_\xi(\mathcal{X}) = \bar{e}$ es decir, T_ξ envía a \mathcal{X} en el "centro" de Δ .

\mathcal{X} que se toma inicialmente, entonces:

$$T_\xi(\mathcal{X}) = \frac{\mathcal{D}_\xi^{-1} \mathcal{X}}{e^t \mathcal{D}_\xi^{-1} \mathcal{X}} = \frac{e}{e^t e} = \frac{e}{n} = \bar{e}$$

- ❖ Las restricciones $A\mathcal{X} = 0$ se convierten en $\tilde{A}\mathbf{y} = 0$

$$A\mathcal{X} = AT_{\xi}^{-1}(\mathbf{y}) = A \frac{\mathcal{D}_{\xi}\mathbf{y}}{e^t\mathcal{D}_{\xi}\mathbf{y}} = \frac{A\mathcal{D}_{\xi}\mathbf{y}}{e^t\mathcal{D}_{\xi}\mathbf{y}} = 0$$

Entonces $A\mathcal{D}_{\xi}\mathbf{y} = 0$ que se puede denotar por $\tilde{A}\mathbf{y} = 0$

$$\tilde{A} = A\mathcal{D}_{\xi} \dots\dots\dots(2)$$

- ❖ Sea $\tilde{\Omega} = T_{\xi}(\Omega)$, $\tilde{\Omega} = \{\mathbf{y} \mid \tilde{A}\mathbf{y} = 0\}$, donde $\tilde{A} = A\mathcal{D}(\mathcal{X})$, es decir, la imagen de Ω es un conjunto definido de manera semejante a Ω .
- ❖ Sea $\tilde{\Phi} = T_{\xi}(\Phi)$, entonces $\tilde{\Phi} = \tilde{\Omega} \cap \Delta$ es decir, la imagen de Φ es un conjunto definido de manera semejante a Φ .
- ❖ $\tilde{A}\bar{e} = 0$, es decir, \bar{e} esta en $\tilde{\Phi}$.
- ❖ La función objetivo $Z = c^t\mathcal{X}$ se convierte en $\tilde{c}^t\mathbf{y}$

$$c^t\mathcal{X} = c^t T_{\xi}^{-1}(\mathbf{y}) = c^t \frac{\mathcal{D}_{\xi}\mathbf{y}}{e^t\mathcal{D}_{\xi}\mathbf{y}} = \frac{c^t\mathcal{D}_{\xi}\mathbf{y}}{e^t\mathcal{D}_{\xi}\mathbf{y}}$$

Entonces $c^t\mathcal{D}_{\xi}\mathbf{y}$ que se puede denotar por $\tilde{c}^t\mathbf{y} = 0$

$$\tilde{c} = \mathcal{D}_{\xi}c \dots\dots\dots(3)$$

- ❖ Sí \mathcal{X} esta en $\overset{\circ}{\Delta}$ entonces $T_{\xi}(\mathcal{X})$ esta en $\overset{\circ}{\Delta}$.
- ❖ Si \mathcal{X} esta en $\overset{\circ}{\Phi}$ entonces $T_{\xi}(\mathcal{X})$ esta en $\overset{\circ}{\tilde{\Phi}}$.
- ❖ Sí \mathbf{y} esta en $\overset{\circ}{\tilde{\Phi}}$ entonces $T_{\xi}^{-1}(\mathbf{y})$ esta en $\overset{\circ}{\Phi}$.

Sea $\tilde{c} = \mathcal{D}_\xi c$, consideremos un problema análogo al problema **PK1**, llamado **PK2**

$$\begin{aligned}
 \text{PK2} \quad & \min \quad \tilde{Z} = \tilde{c}^t y \\
 & \tilde{A} y = 0 \\
 & e^t y = 1 \\
 & y \geq 0
 \end{aligned}$$

Los dos problemas **PK1** y **PK2** son equivalentes en el siguiente sentido:

\mathcal{X}^* es solución óptima de **PK1** si y solamente si $T_\xi(\mathcal{X}^*)$ es solución óptima de **PK2**, o, y^* es solución óptima de **PK2** si y solamente si $T_\xi^{-1}(y^*)$ es solución óptima de **PK1**.

Resolver el problema **PK1** tiene exactamente el mismo grado de dificultad que resolver el problema **PK2**, ó sea, hasta ahora no se gana nada. En el método karmarkar se resuelve, en cada iteración, un problema más sencillo pero que ya no es exactamente equivalente a **PK1**.

Para $n = 3$ es fácil ver que se puede inscribir un círculo S en el triángulo Δ , su centro es \bar{e} "centro" de Δ y su radio es $r = \sqrt{1/6}$.

Este círculo corresponde simplemente a tomar la bola o esfera E con centro en \bar{e} y radio r e interceptarla con él triángulo Δ .

Usando la norma euclidiana $\|X\| = \sqrt{x_1^2 + \dots + x_n^2}$, estas ideas se generalizan para otros valores de n así:

$$r = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)}}$$

$$E = \{X \in \mathbb{R}^n \mid \|X - \bar{e}\| \leq r\}$$

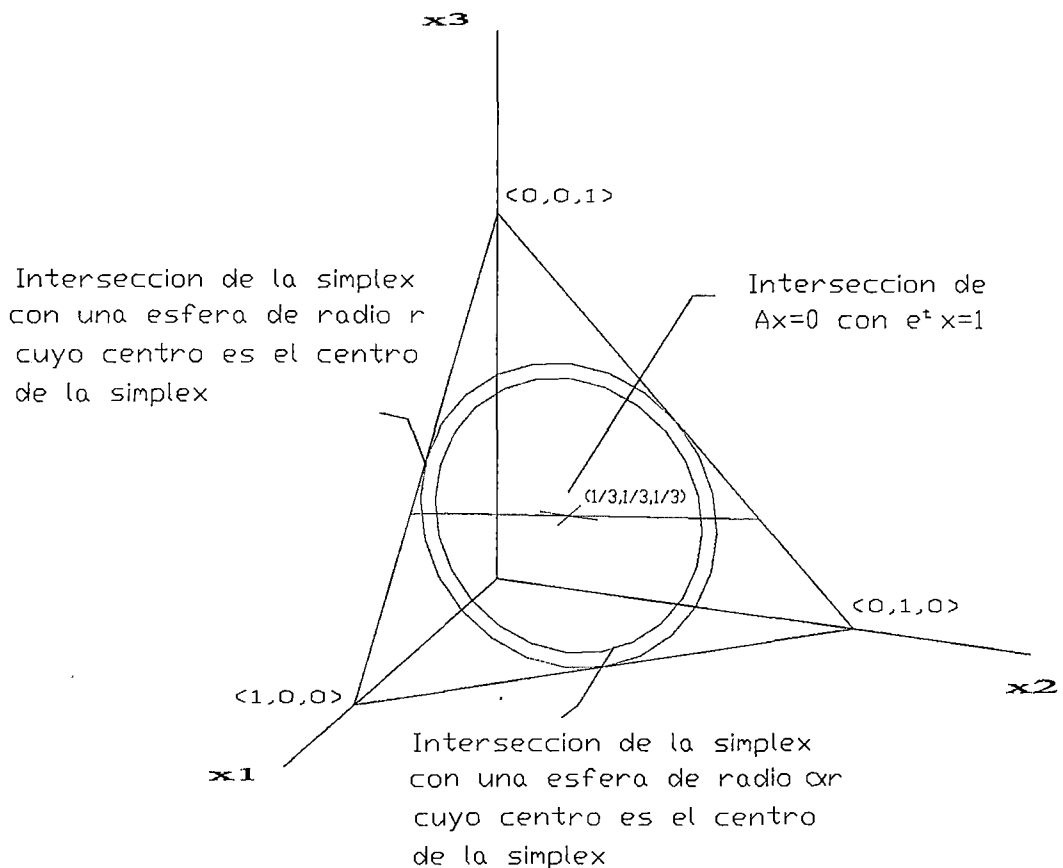
$$S = E \cap \Delta$$

Como S esta inscrito en Δ entonces necesariamente toca los lados ó "caras" de Δ . Si se construye un círculo un poco más pequeño este no toca las caras de Δ .

Sea $0 < \alpha < 1$

$$E_\alpha = \{X \in \mathbb{R}^n \mid \|X - \bar{e}\| \leq \alpha r\}$$

$$S_\alpha = E_\alpha \cap \Delta$$



Consideremos ahora una simplificación del problema **PK2** cambiando el conjunto factible $\tilde{\Phi}$ por un subconjunto propio y llamemos a este problema simplificado **PK3**:

$$\begin{array}{ll}
 \text{PK3} & \min \quad Z = \tilde{c}^t y \\
 & \tilde{A}y = 0 \\
 & y \in S_\alpha
 \end{array}$$

Sea u^* solución óptima del problema **PK3** como el conjunto factible del problema **PK3** es un subconjunto propio factible del problema **PK2** y la función objetivo es la misma para los dos problemas, entonces el punto u^* (que también esta en $\tilde{\Phi}$) posiblemente no es tan bueno como y^* , o dicho de otra forma

$$\tilde{c}^t y^* \leq \tilde{c}^t u^*$$

pero el problema **PK3** es más fácil de resolver. Veamos a continuación algunos detalles.

El problema **PK3** se puede escribir

$$\begin{array}{ll}
 \text{PK3} & \min \quad Z = \tilde{c}^t y \\
 & \tilde{A}y = 0 \\
 & e^t y = 1 \\
 & \| y - \bar{e} \| \leq \alpha r \\
 & y \in (\bar{e}, \alpha r)
 \end{array}$$

$$W = \begin{bmatrix} \tilde{A} \\ e^t \end{bmatrix} \dots\dots\dots(4)$$

Si $W = \begin{bmatrix} \tilde{A} \\ e^t \end{bmatrix}$ y $g = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$ entonces **PK3** se puede escribir como:

$$\begin{array}{ll} \text{PK3} & \min \quad Z = \tilde{c}^t y \\ & W y = g \\ & \| y - \bar{e} \| \leq \alpha r \end{array}$$

La región admisible de este problema es la intersección de una esfera y un espacio afín que es de nuevo una esfera de dimensión inferior; entonces el minimizador de la función lineal se encuentra en la frontera, es decir, la desigualdad esta activa ó saturada para el minimizador.

Como la función \tilde{Z} es lineal entonces el minimizador debe estar necesariamente en la frontera de la esfera E_α o sea que se debe tener necesariamente la igualdad.

$$\begin{array}{ll} \text{PK3} & \min \quad Z = \tilde{c}^t y \\ & W y = g \\ & \| y - \bar{e} \| = \alpha r \end{array}$$

Consideremos ahora un problema supersencillo **PK4**:

$$\begin{array}{ll} \text{PK4} & \min \quad \hat{Z} = \hat{c}^t y \\ & \| y - \bar{e} \| = \alpha r \end{array}$$

Para minimizar una función lineal en la frontera de una esfera basta con desplazarse a partir del centro \bar{e} en la dirección contraria a \hat{c} hasta llegar a la frontera, o lo que es lo mismo, desplazarse una distancia αr en la dirección unitaria $-\frac{\hat{c}}{\|\hat{c}\|}$, o sea, si q^* es el minimizador de **PK4** entonces

$$q^* = \bar{e} - \alpha r \frac{\hat{c}}{\|\hat{c}\|}$$

El cálculo se vuelve mucho más complejo cuando se tiene en cuenta la restricción $W y = g$.

En este caso hay que proyectar \tilde{c} sobre el espacio nulo de la matriz W (el conjunto de vectores tales que $W X = 0$).

$$p = (I - W^t(WW^t)^{-1}W) \tilde{c} \dots\dots\dots(5)$$

y este p se considera como el \hat{c} del problema **PK4** en la fórmula del cálculo de q^*

$$u^* = \bar{e} - \alpha r \frac{p}{\|p\|} \dots\dots\dots(6)$$

El punto obtenido u^* es apenas una aproximación de y^* entonces al regresar mediante T_ξ^{-1} al problema **PK1**, se obtiene $T_\xi^{-1}(u^*) \in \overset{\circ}{\Phi}$, aproximación de X^* .

$$X = T_\xi^{-1}(y) = \frac{D_\xi y}{e^t D_\xi y} \dots\dots\dots(7)$$

En resumen: se desea resolver **PK1**, se toma X punto interior admisible de **PK1**, mediante T_ξ se construye el problema **PK2**, se construye un problema **PK3** más sencillo y se obtiene su solución u^* aproximación de y^* (solución de **PK2**), mediante T_ξ^{-1} se obtiene $T_\xi^{-1}(u^*)$, punto interior admisible de **PK1**, aproximación de X^* (solución de **PK1**). Este proceso se repite varias veces hasta obtener una aproximación de la solución con la precisión deseada.

Conocidos el vector columna c , la matriz A , ε valor positivo muy pequeño utilizado para "medir" la precisión y $0 < \alpha < 1$, el algoritmo del método de Karmarkar se puede esquematizar así:

$$X \leftarrow \bar{e}$$

Mientras $c^t X > \varepsilon$ hacer

$$D \leftarrow \mathcal{D}(X)$$

$$\tilde{A} \leftarrow AD$$

$$\tilde{C} \leftarrow Dc$$

$$W \leftarrow \begin{bmatrix} \tilde{A} \\ e^t \end{bmatrix}$$

$$p \leftarrow (I - W^t(WW^t)^{-1}W) \tilde{C}$$

$$u^* \leftarrow \bar{e} - \alpha r \frac{p}{\|p\|}$$

$$X \leftarrow \frac{Du^*}{e^t Du^*}$$

Fin mientras

El vector columna \mathcal{X} siempre “contiene”, la mejor aproximación (de la solución \mathcal{X}) obtenida, es decir, la última aproximación calculada.

La parte más costosa del tiempo es la construcción de p , es en esta parte donde la adecuada o inadecuada implementación, la relación entre m y n , la densidad de A , la forma de A , la clase de coeficientes a_{ij} inciden mucho en el tiempo total de la solución del problema. El proceso iterativo se acaba cuando $c^t \mathcal{X}$ es casi cero.

En el algoritmo de Karmarkar, el punto \mathcal{X} nunca está en las “caras” ó lados de Φ , siempre está en $\overset{\circ}{\Phi}$, interior relativo de Φ , por esta razón se dice que el método de Karmarkar es un método de punto interior.

Los otros puntos obtenidos también serán puntos interiores. Si el óptimo está en la frontera el método hace tender los puntos hacia él óptimo en la frontera sin llegar nunca exactamente a la frontera. En todo problema de programación lineal con óptimo finito el minimizador siempre está en la frontera. Mas aun, siempre hay un minimizador en un vértice.

Teóricamente el método de Karmarkar nunca encuentra la solución exacta (que está en la frontera), pero se acerca mucho a ella (tanto como se desee).

Metodo de Karmarkar para "n" variables

$$\text{MAX } c^t x$$

$$A x = 0 \quad \text{Sistema homogéneo}$$

$$e^t x = 1 \quad \text{Definición geométrica del espacio de la simplex}$$

$$x \geq 0$$

Ingrese la matriz de restricciones A :

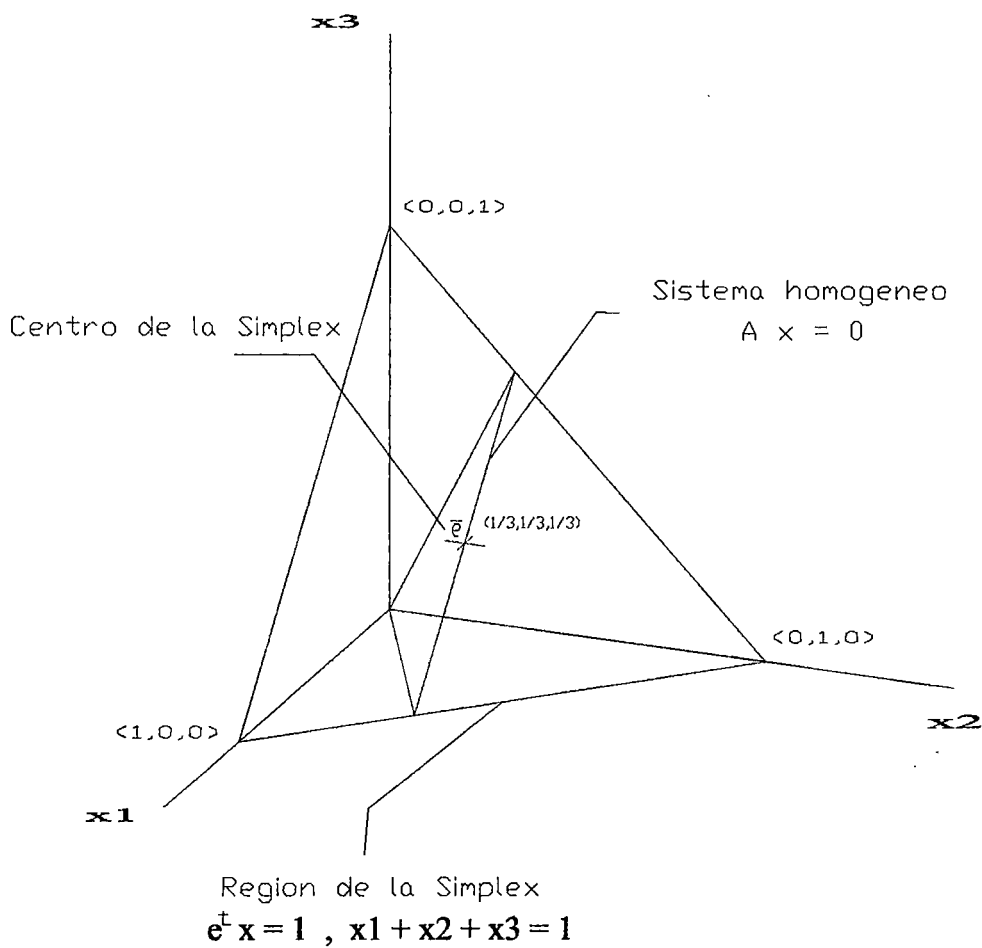
$$A = [1 \ -2 \ 1]$$

Ingrese el vector columna de coeficientes de la función objetivo c :

$$c = [-1 \ 2 \ 0]$$

$$\text{MAX } -x_1 + 2x_2$$

$$x_1 - 2x_2 + x_3 = 0$$



DEFINIENDO VALORES INICIALES

$\alpha = 0.9$

$\bar{e} = \left(\frac{1}{3}, \frac{1}{3}, \frac{1}{3}\right)$

Centro de la simplex

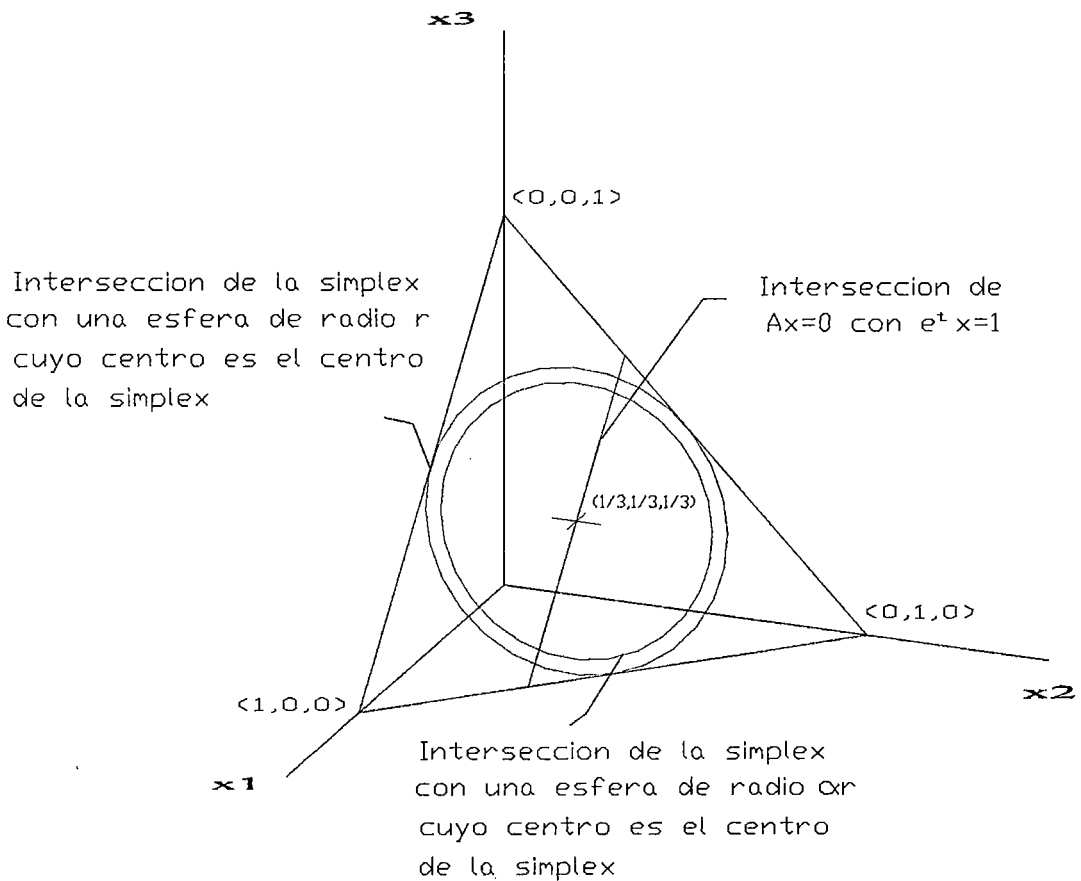
$x = \begin{matrix} 0.3333 \\ 0.3333 \\ 0.3333 \end{matrix}$

Dado un punto factible x que cumpla $Ax = 0$
 $x_1 - 2x_2 + x_3 = 0$
 $0.33333 - 0.66666 + 0.33333 = 0$, cumple entonces $\left(\frac{1}{3}, \frac{1}{3}, \frac{1}{3}\right)$
 es un punto factible.

$r = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{1}{6}} = 0.40825$

$Z = 0.33333$

La intersección de los sistemas $Ax = 0$ y $e^t x = 1$ será la región factible donde se encuentra la solución.



Primera iteración

$$D = \begin{bmatrix} x_1 & 0 & 0 \\ 0 & x_2 & 0 \\ 0 & 0 & x_3 \end{bmatrix}$$

$$D = \begin{matrix} 0.3333 & 0 & 0 \\ 0 & 0.3333 & 0 \\ 0 & 0 & 0.3333 \end{matrix}$$

$$\tilde{A} \leftarrow AD$$

$$\tilde{A} = \begin{matrix} 0.33333 & -0.66666 & 0.33333 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{matrix}$$

$$\tilde{C} \leftarrow Dc$$

$$\tilde{C} = \begin{matrix} -0.33333 \\ 0.66666 \\ 0 \end{matrix}$$

$$W \leftarrow \begin{bmatrix} \tilde{A} \\ e^t \end{bmatrix}$$

$$W = \begin{matrix} 0.33333 & -0.66666 & 0.33333 \\ 1.00000 & 1.00000 & 1.00000 \end{matrix}$$

$$p \leftarrow (I - W^t(WW^t)^{-1}W) \tilde{C}$$

$$p = \begin{matrix} 0.166666 \\ 0.000000 \\ -0.166666 \end{matrix}$$

$$y = \begin{matrix} 0.593141 \\ 0.333333 \\ 0.073525 \end{matrix}$$

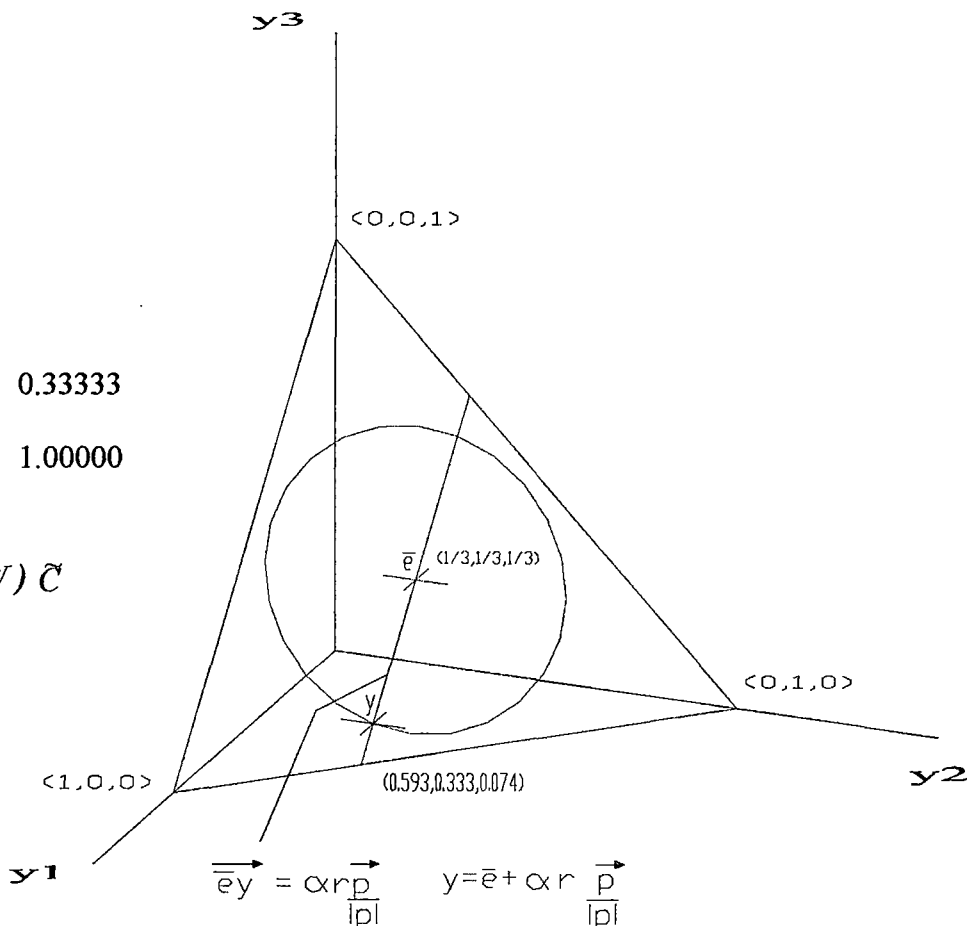
La idea principal de Karmarkar es empezar desde un punto interior representado por el centro de la simplex y después avanzar en dirección de la gradiente proyectada para determinar un nuevo punto de la solución. El punto debe ser estrictamente un punto interior, no debe estar en los límites de la simplex. Para garantizar este resultado, una esfera con su centro coincidiendo con el de la simplex se inscribe en forma ajustada en el interior de la simplex. Ahora una esfera más pequeña con radio αr ($0 < \alpha < 1$) será un subconjunto de la esfera y cualquier punto en la intersección de la esfera más pequeña con el sistema homogéneo $Ax = 0$ será un punto interior. Por consiguiente podemos avanzar en este espacio restringido a lo largo del gradiente proyectado, para determinar el nuevo punto solución, necesariamente mejorado.

Para que el procedimiento sea iterativo, necesitamos encontrar una forma de llevar el punto de la solución hacia el centro de una simplex. Karmarkar satisface este requerimiento proponiendo una transformación proyectiva

$$y = T(x) = \frac{D^t x}{e^t D^t x}$$

la transformación traza el espacio

x sobre el espacio y y únicamente. El problema transformado tiene el mismo formato que el problema original. Por consiguiente podemos empezar con el centro simplex.



\vec{p} es el vector en la dirección del gradiente de la función objetivo \tilde{C} proyectado sobre el espacio nulo de W

$$x = 0.593141$$

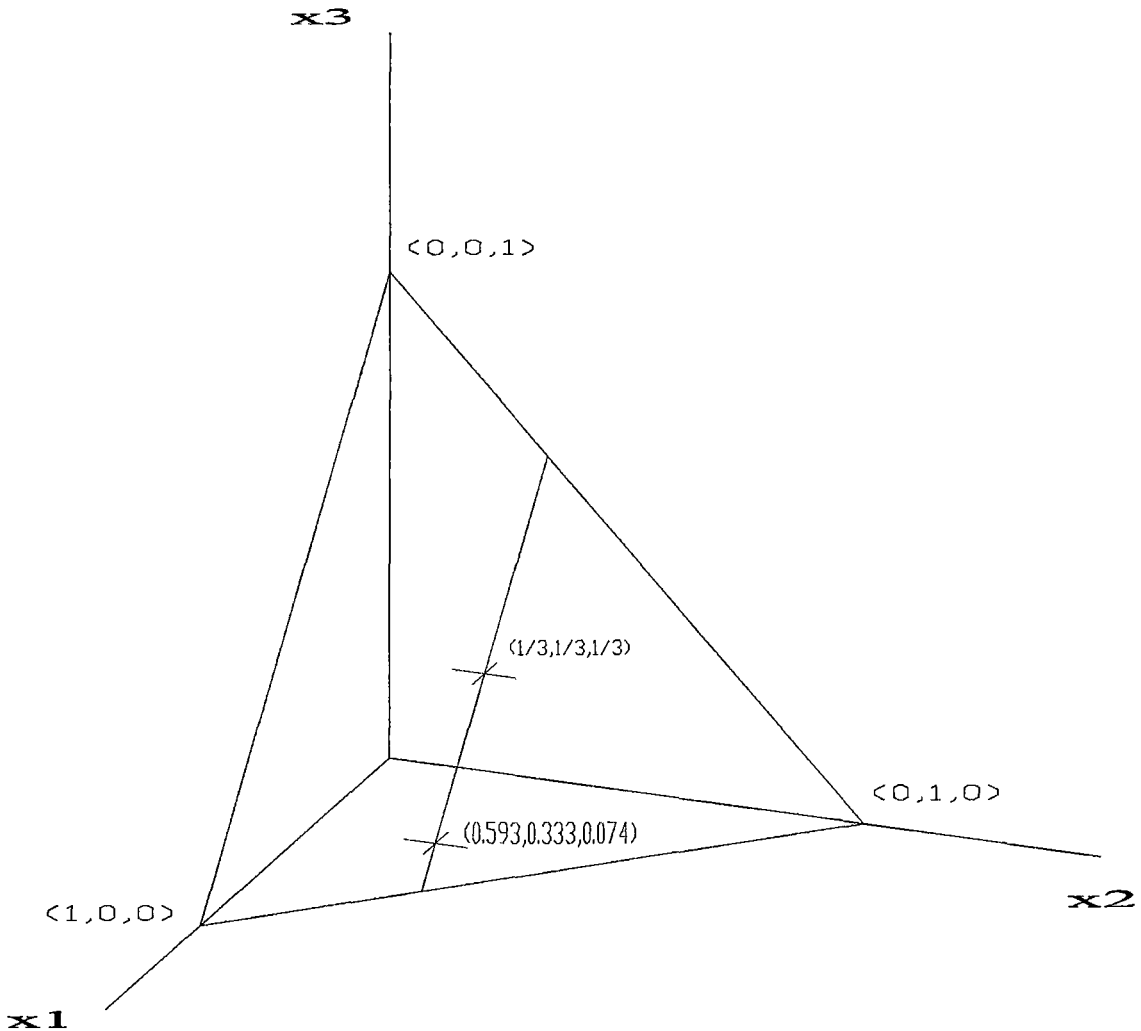
$$0.333333$$

$$0.073526$$

$$Z = 0.073526$$

Después de cada iteración, podemos calcular los valores de las variables x originales a partir de la solución y , realizando una transformación inversa, obtendremos un valor x que mejora la función objetivo Z .

$$x = \frac{Dy}{e^t Dy}$$



El nuevo punto de la solución ya no estará en el centro de la simplex. Para que el procedimiento sea iterativo, necesitamos llevar el nuevo punto de la solución hacia el centro de una simplex. Karmarkar satisface este requerimiento proponiendo una transformación proyectiva

$$y = T(x) = \frac{D^{-1}x}{e^t D^{-1}x}, \text{ la transformación traza el espacio } x \text{ sobre el espacio } y \text{ y unicamente.}$$

Segunda iteracion

$$D = \begin{bmatrix} x_1 & 0 & 0 \\ 0 & x_2 & 0 \\ 0 & 0 & x_3 \end{bmatrix}$$

$$D = \begin{matrix} 0.593141 & 0 & 0 \\ 0 & 0.33333 & 0 \\ 0 & 0 & 0.073526 \end{matrix}$$

$$\tilde{A} \leftarrow AD$$

$$\tilde{A} = \begin{matrix} 0.593141 & -0.666666 & 0.073526 \\ 1.00000 & 1.00000 & 1.00000 \end{matrix}$$

$$\tilde{C} \leftarrow Dc$$

$$\tilde{C} = \begin{matrix} -0.593141 \\ 0.666666 \\ 0 \end{matrix}$$

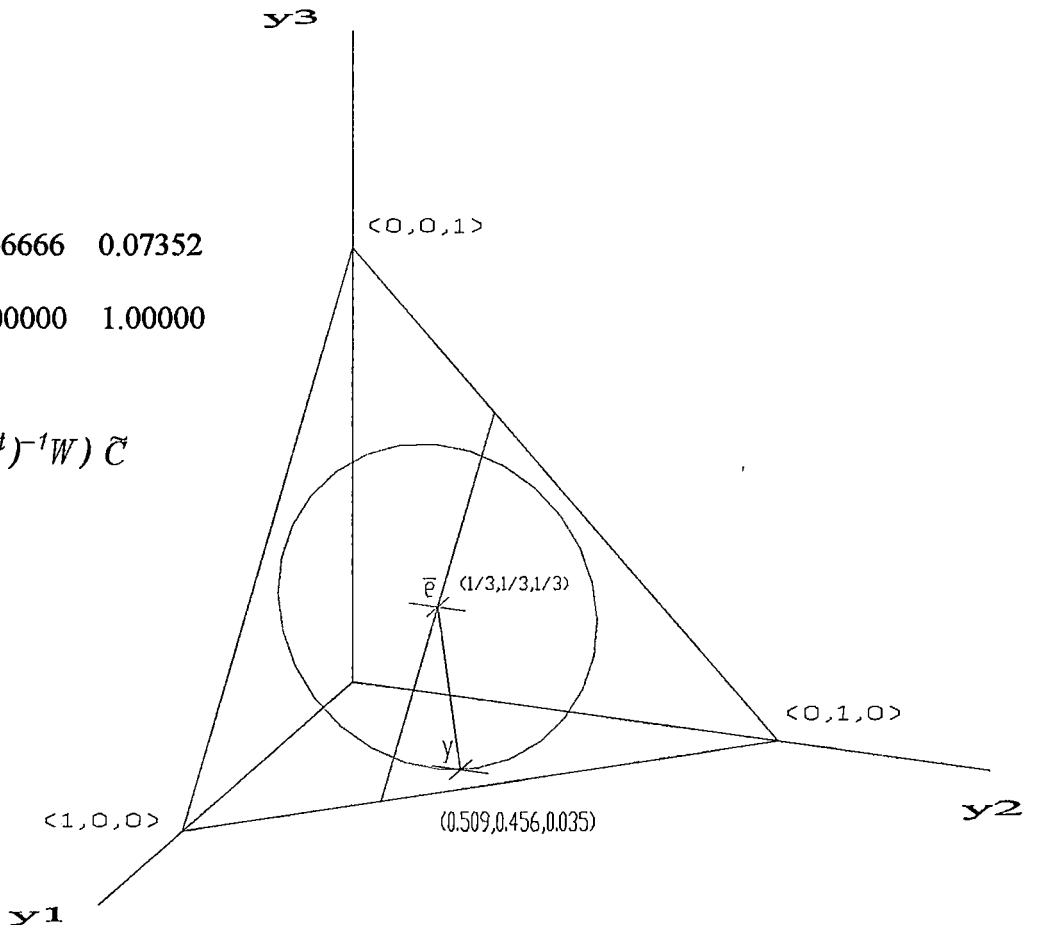
$$W \leftarrow \begin{bmatrix} \tilde{A} \\ e^t \end{bmatrix}$$

$$W = \begin{matrix} 0.59314 & -0.66666 & 0.07352 \\ 1.00000 & 1.00000 & 1.00000 \end{matrix}$$

$$p \leftarrow (I - W^t(WW^t)^{-1}W) \tilde{C}$$

$$p = \begin{matrix} 0.028508 \\ 0.020013 \\ -0.048521 \end{matrix}$$

$$y = \begin{matrix} 0.508703 \\ 0.456443 \\ 0.034855 \end{matrix}$$

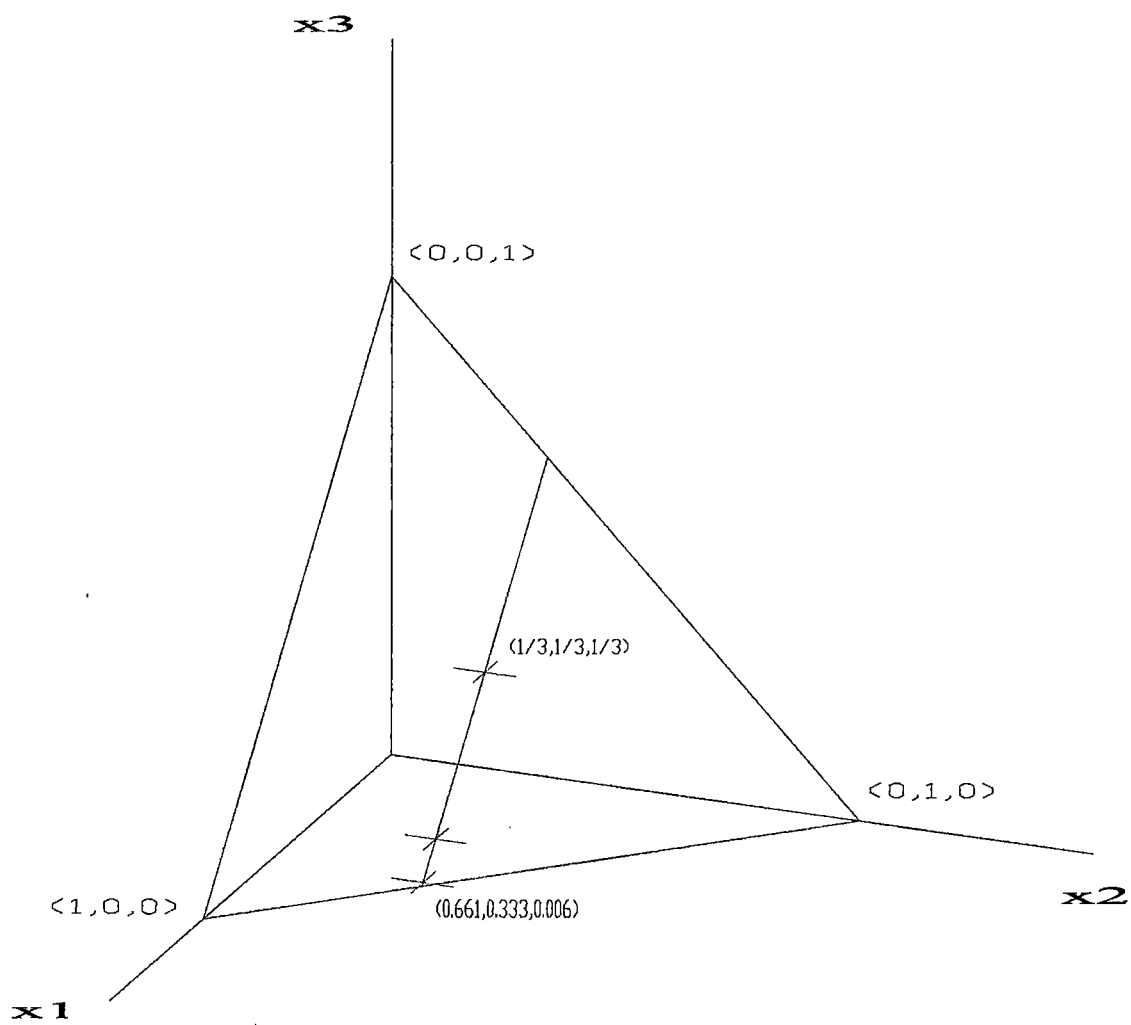


$$x = 0.661052$$

$$0.333333$$

$$0.005615$$

$$Z = 0.0056145$$



Tercera iteracion

$$D = \begin{bmatrix} x_1 & 0 & 0 \\ 0 & x_2 & 0 \\ 0 & 0 & x_3 \end{bmatrix}$$

$$D = \begin{matrix} 0.6610522 & 0 & 0 \\ 0 & 0.333333 & 0 \\ 0 & 0 & 0.005615 \end{matrix}$$

$$\tilde{A} \leftarrow AD$$

$$\tilde{A} = \begin{matrix} 0.6610522 & -0.666666 & 0.005615 \end{matrix}$$

$$\tilde{C} \leftarrow Dc$$

$$\tilde{C} = \begin{matrix} -0.6610522 \\ 0.6666666 \\ 0 \end{matrix}$$

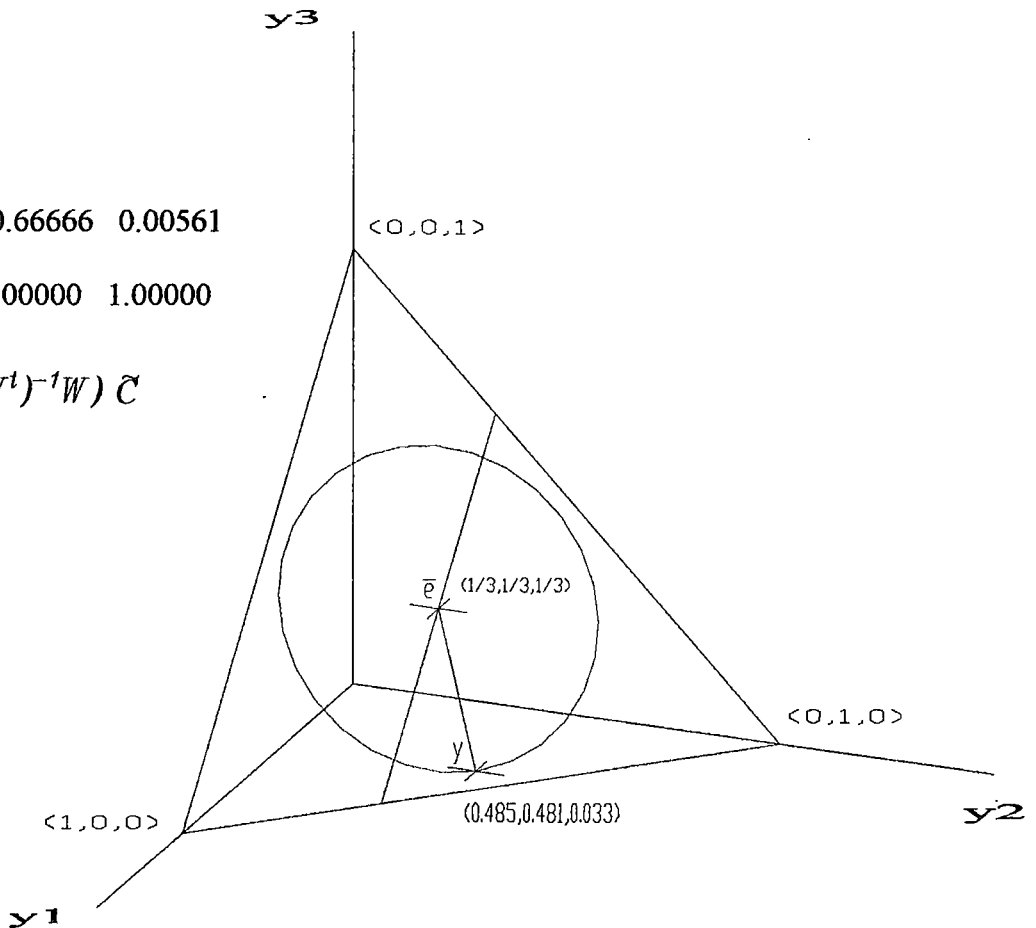
$$W \leftarrow \begin{bmatrix} \tilde{A} \\ e^t \end{bmatrix}$$

$$W = \begin{matrix} 0.661052 & -0.666666 & 0.00561 \\ 1.000000 & 1.000000 & 1.000000 \end{matrix}$$

$$p \leftarrow (I - W^t(WW^t)^{-1}W) \tilde{C}$$

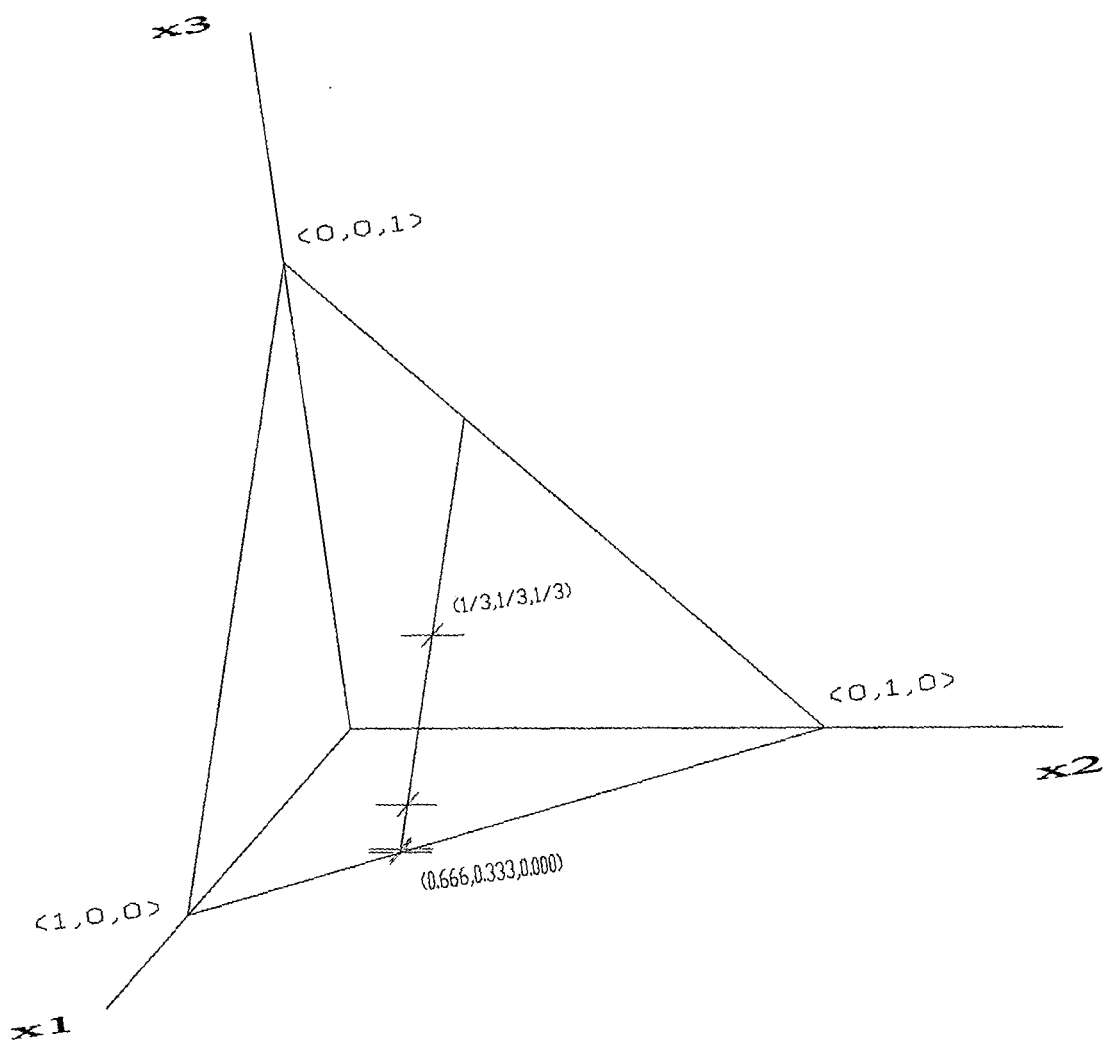
$$p = \begin{matrix} 0.001895 \\ 0.001848 \\ -0.003743 \end{matrix}$$

$$y = \begin{matrix} 0.4852322 \\ 0.4814265 \\ 0.0333414 \end{matrix}$$



$c = 0.6662778$
 0.3333333
 0.0003888

$Z = 3.888347779250623e-004$



Cuarta iteración

$$D = \begin{bmatrix} x_1 & 0 & 0 \\ 0 & x_2 & 0 \\ 0 & 0 & x_3 \end{bmatrix}$$

$$D = \begin{matrix} 0.666277 & 0 & 0 \\ 0 & 0.33333 & 0 \\ 0 & 0 & 0.00038 \end{matrix}$$

$$\tilde{A} \leftarrow AD$$

$$\tilde{A} = \begin{matrix} 0.666277 & -0.66666 & 0.00038 \\ 0.666666 & & \\ 0 & & \end{matrix}$$

$$\tilde{C} \leftarrow Dc$$

$$\tilde{C} = \begin{matrix} -0.666277 \\ 0.666666 \\ 0 \end{matrix}$$

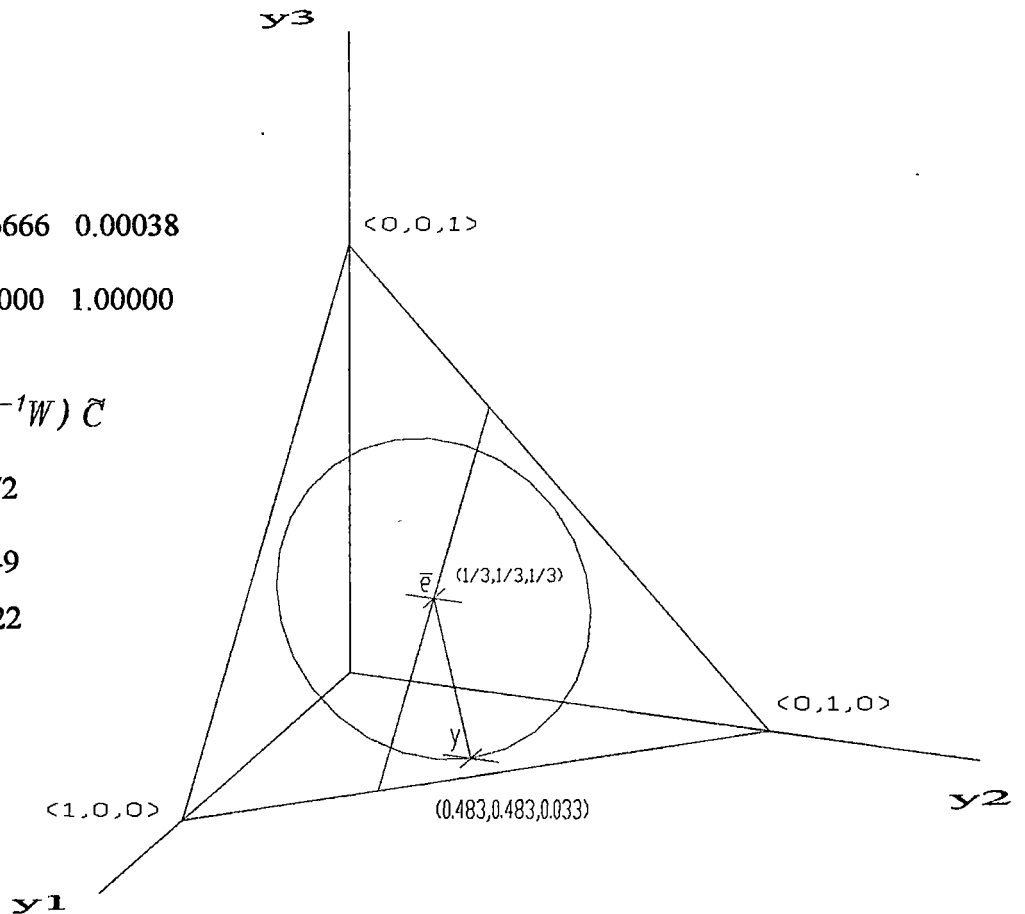
$$W \leftarrow \begin{bmatrix} \tilde{A} \\ e^t \end{bmatrix}$$

$$W = \begin{matrix} 0.666277 & -0.66666 & 0.00038 \\ 1.00000 & 1.00000 & 1.00000 \end{matrix}$$

$$p \leftarrow (I - W^t(WW^t)^{-1}W) \tilde{C}$$

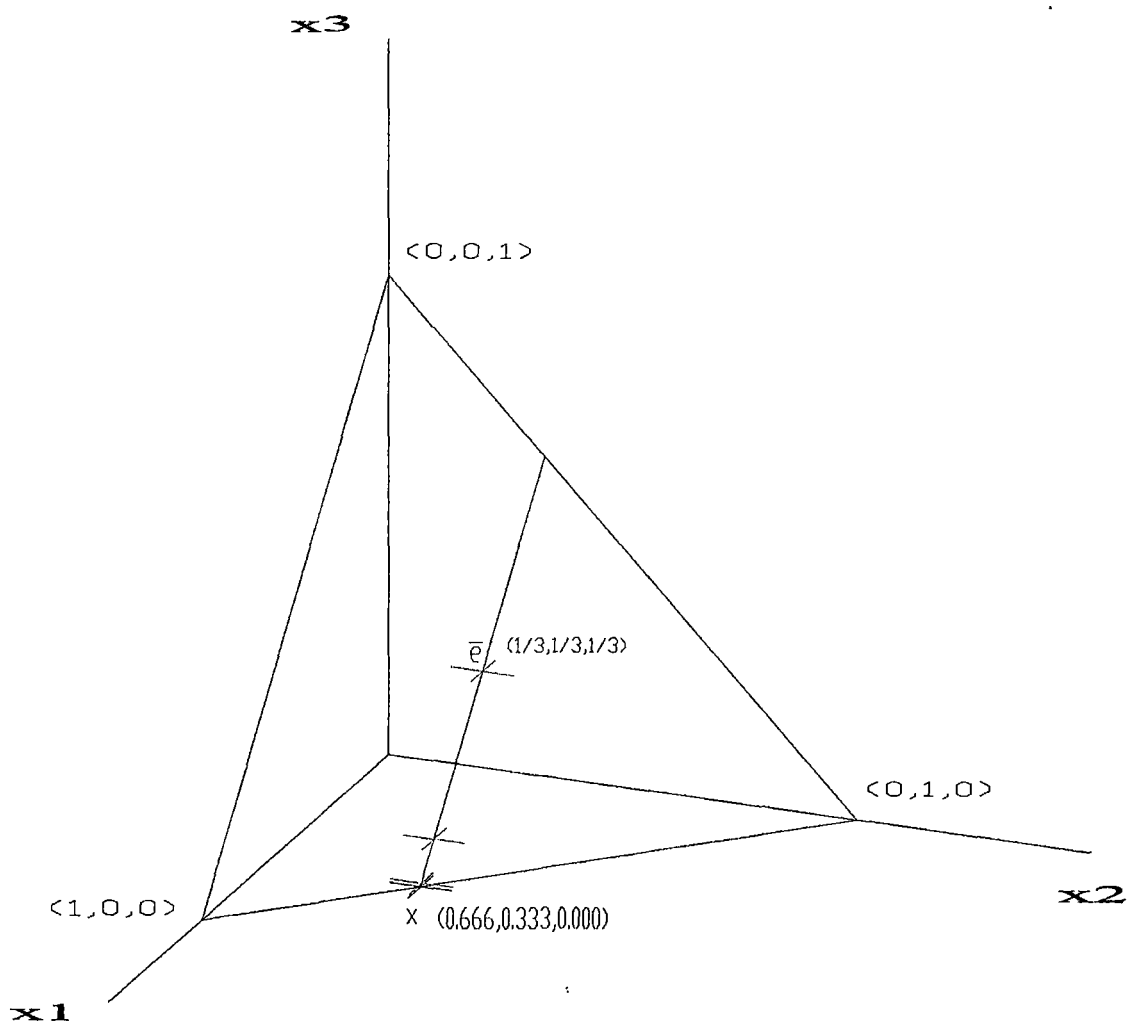
$$p = \begin{matrix} 1.0e-003 * 0.12972 \\ 0.12949 \\ -0.25922 \end{matrix}$$

$$y = \begin{matrix} 0.483465 \\ 0.483202 \\ 0.033333 \end{matrix}$$



$x = 0.666665$
 0.333333
 0.000002

$Z = 2.682350849925186e-006$



N.	x	F
1	$6.666648e-001$	$6.666648e-001$
2	$3.333333e-001$	$-6.666667e-001$
3	$1.849932e-006$	0

Ejemplo:

$$\min Z = -4x_1 + 4x_2 + 6x_3 + x_4$$

$$x_1 + x_2 - x_3 - x_4 = 0$$

$$2x_1 + 3x_2 - 5x_4 = 0$$

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 1$$

$$x \geq 0$$

$$c = \begin{bmatrix} -4 \\ 4 \\ 6 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & -1 & -1 \\ 2 & 3 & 0 & -5 \end{bmatrix}$$

$$r = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{1}{12}} = 0.288675134$$

Inicio del algoritmo

$$e = [1 \ 1 \ \dots \ 1]^t \in \mathbb{R}^n$$

$$x \leftarrow \bar{e} = \frac{1}{n} e$$

$$x = \begin{bmatrix} 0.25 \\ 0.25 \\ 0.25 \\ 0.25 \end{bmatrix}$$

$$c^t X = 1.75$$

$$D = \begin{bmatrix} 0.25 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.25 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.25 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.25 \end{bmatrix}$$

$$\tilde{A} \leftarrow AD$$

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} 0.25 & 0.25 & -0.25 & -0.25 \\ 0.50 & 0.75 & 0 & -1.25 \end{bmatrix}$$

$$\tilde{C} \leftarrow Dc$$

$$\tilde{C} = \begin{bmatrix} -1.000 \\ 1.000 \\ 1.500 \\ 0.250 \end{bmatrix}$$

$$W \leftarrow \begin{bmatrix} \tilde{A} \\ e^t \end{bmatrix}$$

$$W = \begin{bmatrix} 0.25 & 0.25 & -0.25 & -0.25 \\ 0.50 & 0.75 & 0.00 & -1.25 \\ 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 \end{bmatrix}$$

$$p \leftarrow (I - W^t(WW^t)^{-1}W) \tilde{C}$$

$$p = \begin{bmatrix} -0.8413 \\ 0.8413 \\ -0.1683 \\ 0.1683 \end{bmatrix}$$

$$u^* \leftarrow \bar{e} - \alpha r \frac{p}{\|p\|}$$

$$u^* = \begin{bmatrix} 0.4301 \\ 0.0699 \\ 0.286 \\ 0.214 \end{bmatrix}$$

$$\mathcal{X} \leftarrow \frac{Du^*}{e^t Du^*}$$

$$\mathcal{X} = \begin{bmatrix} 0.431 \\ 0.0699 \\ 0.286 \\ 0.214 \end{bmatrix}$$

Primera iteración

$$c^t \mathcal{X} = 0.489$$

$$D = \begin{bmatrix} 0.4301 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.0699 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.286 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.214 \end{bmatrix}$$

$$\tilde{A} \leftarrow AD$$

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} 0.431 & 0.0699 & -0.286 & -0.214 \\ 0.8603 & 0.2096 & 0 & -1.0699 \end{bmatrix}$$

$$\tilde{C} \leftarrow Dc$$

$$\tilde{C} = \begin{bmatrix} -1.721 \\ 0.279 \\ 1.716 \\ 0.214 \end{bmatrix}$$

$$W \leftarrow \begin{bmatrix} \tilde{A} \\ e^t \end{bmatrix}$$

$$W = \begin{bmatrix} 0.430 & 0.069 & -0.286 & -0.213 \\ 0.860 & 0.209 & 0.000 & -1.069 \\ 1.000 & 1.000 & 1.000 & 1.000 \end{bmatrix}$$

$$p \leftarrow (I - W^t(WW^t)^{-1}W) \tilde{C}$$

$$p = \begin{bmatrix} -0.1699 \\ 0.3556 \\ -0.1186 \\ -0.067 \end{bmatrix}$$

$$u^* \leftarrow \bar{e} - \alpha r \frac{p}{\|p\|}$$

$$u^* = \begin{bmatrix} 0.3559 \\ 0.0285 \\ 0.3239 \\ 0.2918 \end{bmatrix}$$

$$X \leftarrow \frac{Du^*}{e^t Du^*}$$

$$X = \begin{bmatrix} 0.4936 \\ 0.0064 \\ 0.2987 \\ 0.2013 \end{bmatrix}$$

Segunda iteración

$$c^t X = 0.0449$$

$$D = \begin{bmatrix} 0.4936 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.0064 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.2987 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.2013 \end{bmatrix}$$

$$\tilde{A} \leftarrow AD$$

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} 0.4936 & 0.0064 & -0.2987 & -0.2013 \\ 0.9872 & 0.0192 & 0 & -1.0064 \end{bmatrix}$$

$$\tilde{C} \leftarrow Dc$$

$$\tilde{C} = \begin{bmatrix} -1.974 \\ 0.026 \\ 1.792 \\ 0.201 \end{bmatrix}$$

$$W \leftarrow \begin{bmatrix} \tilde{A} \\ e^t \end{bmatrix}$$

$$W = \begin{bmatrix} 0.494 & 0.006 & -0.298 & -0.201 \\ 0.987 & 0.019 & 0.000 & -1.006 \\ 1.000 & 1.000 & 1.000 & 1.000 \end{bmatrix}$$

$$p \leftarrow (I - W^t(WW^t)^{-1}W) \tilde{C}$$

$$p = \begin{bmatrix} -0.0116 \\ 0.0336 \\ -0.0112 \\ -0.0108 \end{bmatrix}$$

$$u^* \leftarrow \tilde{e} - \alpha r \frac{p}{\|p\|}$$

$$u^* = \begin{bmatrix} 0.3278 \\ 0.0250 \\ 0.3252 \\ 0.3220 \end{bmatrix}$$

$$\mathcal{X} \leftarrow \frac{Du^*}{e^t Du^*}$$

$$\mathcal{X} = \begin{bmatrix} 0.4995 \\ 0.0005 \\ 0.2999 \\ 0.2001 \end{bmatrix}$$

Tercera iteración

$$c^t X = 0.0035$$

$$D = \begin{bmatrix} 0.4995 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.0005 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.2999 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.2001 \end{bmatrix}$$

$$\tilde{A} \leftarrow AD$$

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} 0.4995 & 0.0005 & -0.2999 & -0.2001 \\ 0.9990 & 0.0015 & 0 & -1.0005 \end{bmatrix}$$

$$\tilde{C} \leftarrow Dc$$

$$\tilde{C} = \begin{bmatrix} -1.998 \\ 0.002 \\ 1.799 \\ 0.200 \end{bmatrix}$$

$$W \leftarrow \begin{bmatrix} \tilde{A} \\ e^t \end{bmatrix}$$

$$W = \begin{bmatrix} 0.499 & 0.000 & -0.299 & -0.200 \\ 0.999 & 0.001 & 0.000 & -1.000 \\ 1.000 & 1.000 & 1.000 & 1.000 \end{bmatrix}$$

$$p \leftarrow (I - W^t(WW^t)^{-1}W) \bar{C}$$

$$p = \begin{bmatrix} -0.0009 \\ 0.0026 \\ -0.0009 \\ -0.0009 \end{bmatrix}$$

$$u^* \leftarrow \bar{e} - \alpha r \frac{P}{\|p\|}$$

$$u^* = \begin{bmatrix} 0.3252 \\ 0.0250 \\ 0.3250 \\ 0.3248 \end{bmatrix}$$

$$X \leftarrow \frac{Du^*}{e^t Du^*}$$

$$X = \begin{bmatrix} 0.4999 \\ 0.0000 \\ 0.2999 \\ 0.2000 \end{bmatrix}$$

Cuarta iteración

$$c^t X = 0.00026673$$

$$D = \begin{bmatrix} 0.4999 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.0000 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.2999 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.2000 \end{bmatrix}$$

$$\tilde{A} \leftarrow A\mathcal{D}$$

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} 0.4999 & 0.0000 & -0.2999 & -0.2000 \\ 0.9999 & 0.0001 & 0 & -1.0000 \end{bmatrix}$$

$$\tilde{C} \leftarrow \mathcal{D}c$$

$$\tilde{C} = \begin{bmatrix} -1.999 \\ 0.000 \\ 1.799 \\ 0.200 \end{bmatrix}$$

$$W \leftarrow \begin{bmatrix} \tilde{A} \\ e^t \end{bmatrix}$$

$$W = \begin{bmatrix} 0.500 & 0.000 & -0.300 & -0.200 \\ 1.000 & 0.000 & 0.000 & -1.000 \\ 1.000 & 1.000 & 1.000 & 1.000 \end{bmatrix}$$

$$p \leftarrow (\mathbf{I} - W^t(WW^t)^{-1}W) \tilde{C}$$

$$p = 1.0e^{-003} \begin{bmatrix} -0.0667 \\ 0.2000 \\ -0.0667 \\ -0.0667 \end{bmatrix}$$

$$u^* \leftarrow \bar{e} - \alpha r \frac{p}{\|p\|}$$

$$u^* = \begin{bmatrix} 0.3250 \\ 0.0250 \\ 0.3250 \\ 0.3250 \end{bmatrix}$$

$$x \leftarrow \frac{Du^*}{e^t Du^*}$$

$$x = \begin{bmatrix} 0.500 \\ 0.000 \\ 0.300 \\ 0.200 \end{bmatrix} \quad \text{Solución final}$$

3.3 ADAPTACIÓN AL ALGORITMO DE KARMARKAR

La mayoría de los problemas de PL (programación lineal) no esta en la FCK. Es entonces necesario poder obtener un problema equivalente en la FCK. Los problemas de PL se pueden expresar de varias formas: general, mixta, canónica y estándar.

Las dos ultimas formas son las mas usadas en PL, la canónica en dualidad y la estándar en el método simplex. Hay varios métodos para obtener la FCK, uno de ellos es el primal-dual. Este método requiere factibilidad y optimo acotado.

Consideremos el siguiente problema de PL en su forma primal.

$$\begin{aligned} \text{PL} \quad & \min \quad Z = c^t X \\ & A X \geq b \\ & X \geq 0 \end{aligned}$$

Donde A es una matriz $m \times n$.

X es un vector columna $n \times 1$.

b es un vector columna $m \times 1$.

c es un vector columna $n \times 1$.

El problema dual asociado es:

$$\begin{aligned} \max \quad & h = b^t \lambda \\ & A^t \lambda \leq c \\ & \lambda \geq 0 \end{aligned}$$

Por teoremas de dualidad se sabe que si X , λ son soluciones factibles (del primal y dual respectivamente) y además tienen el mismo valor para la función objetivo, entonces son soluciones optimas.

$$\min c^t X = \max b^t \lambda$$

$$c^t X = b^t \lambda$$

$$c^t X - b^t \lambda = 0$$

A partir de lo cual puede plantearse el problema lineal siguiente:

$$AX \geq b$$

$$A^t \lambda \leq c$$

$$c^t X - b^t \lambda = 0$$

$$X, \lambda \geq 0$$

Introduciendo las variables de holgura correspondientes X_h, λ_h

$$AX - X_h = b$$

$$A^t \lambda + \lambda_h = c$$

$$c^t X - b^t \lambda = 0$$

$$X, \lambda, X_h, \lambda_h \geq 0$$

Expresando matricialmente lo anterior se tiene :

$$\begin{bmatrix} A_{(m,n)} & 0_m & -I_{(m)} & 0_{(m,n)} \\ 0_{(n)} & A_{(n,m)}^t & 0_{(n,m)} & I_{(n)} \\ c_{(1,n)} & -b_{(1,m)}^t & 0_{(1,m)} & 0_{(1,n)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{(n,t)} \\ \lambda_{(m,t)} \\ X_{h(m,t)} \\ \lambda_{h(n,t)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{(m,t)} \\ c_{(n,t)} \\ 0_{(1,t)} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} X_{(n,1)} \\ \lambda_{(m,1)} \\ X_{h(m,1)} \\ \lambda_{h(n,1)} \end{bmatrix} \geq 0$$

Es decir se tiene el siguiente problema de factibilidad estandar **PL1**:

$$\begin{aligned} \text{PL1} \quad & A' X' = b' \\ & X' \geq 0 \end{aligned}$$

Donde A' es una matriz de tamaño $(m+n+1) \times (2m+2n)$.

La aplicación del algoritmo de Karmarkar requiere el conocimiento de un punto inicial factible estrictamente positivo, para comenzar las iteraciones.

Sea $q \in \mathbb{R} > 0$ Consideremos el siguiente problema de programación lineal.

$$\begin{aligned} \min \quad & k \\ & A' X' + (b' - A' q)k = b' \\ & X', k \geq 0 \end{aligned}$$

Que se puede escribir como:

$$\begin{aligned} \text{PL2} \quad & \min Z' = c'^t X'' \\ & A'' X'' = b' \\ & X'' \geq 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Donde} \quad & c'^t = [0 \ 0 \ \dots \ 0 \ 1]_{(1, 2m+2n+1)} \\ & X'' = [X'_1 \ X'_2 \ \dots \ X'_n \ k]^t_{(1, 2m+2n+1)} \\ & A'' = [A' \ b' - A' q]_{(m+n+1, 2m+2n+1)} \end{aligned}$$

Obviamente $\mathcal{X}' = q, k = 1$ es una solución factible del problema anterior verificando:

$$\mathcal{X}'' = \begin{bmatrix} q \\ 1 \end{bmatrix}$$

a) (q, k) es estrictamente positiva.

b) Si existe una solución factible " \mathcal{X}' ", el valor óptimo de la función objetivo es $k = 0$.

Con $q = [1 \ 1 \ \dots \ 1]_{(1, 2m+2n)}^t$, este problema se convierte en un problema de minimización **PL2**, factible y con óptimo nulo.

Sea $a = (a_1, a_2, \dots, a_{2m+2n+1})^t > 0$ una solución factible de **PL2**, o sea:

$$a = \mathcal{X}'' = \begin{bmatrix} q \\ 1 \end{bmatrix} = [1 \ 1 \ \dots \ 1]_{(1, 2m+2n+1)}^t$$

Suponemos que el valor óptimo de la función objetivo vale cero.

Consideremos la transformación T_ξ definida del siguiente modo:

$$D(a) = \text{diagonal de } a = \begin{bmatrix} a_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & . & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & . & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & a_{2m+2n+1} \end{bmatrix}$$

$$e = [1 \ 1 \ \dots \ 1]^t \in \mathbb{R}^{2m+2n+1}$$

$$Y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ \vdots \\ Y_{2m+2n+1} \end{bmatrix} = \frac{\mathcal{D}^{-1}(\mathbf{a})\mathcal{X}''}{e^t \mathcal{D}^{-1}(\mathbf{a})\mathcal{X}'' + 1}$$

$$Y_{2m+2n+2} = 1 - e^t Y$$

Que esta bien definida en el conjunto factible.

$$\mathcal{X}'' = \mathcal{D}(\mathbf{a}) Y (e^t \mathcal{D}^{-1}(\mathbf{a})\mathcal{X}'' + 1)$$

$$\mathcal{X}'' = \frac{\mathcal{D}(\mathbf{a}) Y}{Y_{2m+2n+2}}$$

Reemplazando en PL2

$$\begin{aligned} \text{PL2} \quad \min Z' &= c'^t \mathcal{X}'' \\ A'' \mathcal{X}'' &= b' \\ \mathcal{X}'' &\geq 0 \end{aligned}$$

$$\min Z' = c'^t \frac{\mathcal{D}(\mathbf{a}) Y}{Y_{2m+2n+2}}$$

$$A'' \frac{\mathcal{D}(\mathbf{a}) Y}{Y_{2m+2n+2}} = b'$$

$$\sum_1^{2m+2n+2} Y_i = 1$$

$$Y, Y_{2m+2n+2} \geq 0$$

Agrupando adecuadamente

$$Y' = \begin{bmatrix} Y \\ Y_{2m+2n+2} \end{bmatrix}$$

$$\min Z' = [c' \ a_1 \ c' \ a_2 \ \dots \ c' \ a_{2m+2n+1} \ a_{2m+2n+1} \ 0] Y'$$

$$A'' \mathcal{D}(a) Y - Y_{2m+2n+2} b' = 0$$

$$e^t Y' = 1$$

$$Y' \geq 0$$

Es decir:

$$\text{PL3} \quad \min Z' = c''^t Y'$$

$$A''' Y' = 0$$

$$e^t Y' = 1$$

$$Y' \geq 0$$

Donde $c'' = \begin{bmatrix} \mathcal{D}(a)c' \\ 0 \end{bmatrix}_{(2m+2n+2)}$

$$A''' = \begin{bmatrix} A'' \mathcal{D}(a) & -b' \end{bmatrix}_{(m+n+1, 2m+2n+2)}$$

PL3 esta en la forma canónica de Karmarkar FCK.

De esta forma, la resolución del problema **PL** pasa por dos fases, una primera llamada de factibilidad, en la que se genera un punto factible estrictamente positivo, y una segunda fase, de optimalidad, en la que se aplica el algoritmo al problema original.

Obtenida una buena aproximación de la solución óptima de este problema de Karmarkar, es necesario utilizar la transformación para pasar de Y a X' para regresar al problema **PL2**; para esto basta con dividir las primeras $2n+2m+1$ componentes de la solución por la última componente (la número $2n+2m+2$). Las primeras n componentes serán la solución del problema inicial.

Obtenida una buena aproximación de la solución óptima de este problema de Karmarkar, es necesario utilizar la transformación para pasar de Y a X' para regresar al problema **PL2**; para esto basta con dividir las primeras $2n+2m+1$ componentes de la solución por la última componente (la número $2n+2m+2$). Las primeras n componentes serán la solución del problema inicial.

Ejemplo:

$$\min Z = -x_1 - 1.4 x_2$$

$$x_1 + x_2 \leq 400$$

$$x_1 + 2x_2 \leq 580$$

$$x_1 \leq 300$$

$$x \geq 0$$

Que convertido a la forma canónica de minimización se expresa mediante c , A , b .

$$c = \begin{bmatrix} -1 \\ -1.4 \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} -1 & -1 \\ -1 & -2 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$b = \begin{bmatrix} -400 \\ -580 \\ -300 \end{bmatrix}$$

Para el problema **PL1** los coeficientes de la matriz son:

$$A' = \begin{bmatrix} A_{(m,n)} & O_m & -I_{(m)} & O_{(m,n)} \\ O_{(n)} & A_{(n,m)}^t & O_{(n,m)} & I_{(n)} \\ C_{(l,n)} & -b_{(l,m)}^t & O_{(l,m)} & O_{(l,n)} \end{bmatrix}$$

Los coeficientes de la matriz A'' son :

$$A'' = [A' \quad b' - A'q]_{(m+n+1, 2m+2n+1)}$$

$$A'' = \begin{bmatrix} -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -397 \\ -1 & -2 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & -596 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & -298 \\ 0 & 0 & -1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & -2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0.6 \\ -1 & -1.4 & 400 & 580 & 300 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1227.6 \end{bmatrix}$$

$$b' = \begin{bmatrix} -400 \\ -580 \\ -300 \\ -1 \\ -1.4 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Finalmente para el problema **PL3**

$$c'' = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Los coeficientes de la matriz A'''' son :

$$\begin{bmatrix} -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -397 & 400 \\ -1 & -2 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & -596 & 580 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & -298 & 300 \\ 0 & 0 & -1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & -2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0.6 & 1.4 \\ -1 & -1.4 & 400 & 580 & 300 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -12776 & 0 \end{bmatrix}$$

La solución es:

$$Y' = [0.45643055 \quad 0.37344311 \quad \dots \quad 0.00207469]^t$$

y dividiendo las dos primeras componentes por 0.00207469 se obtiene.

$$X = [2.1999999 \quad 1.7999999 \quad \dots]^t$$

Los valores de la solución exacta del problema inicial son :

$$x_1 = 2.2$$

$$x_2 = 1.8$$

La programación en MATLAB del algoritmo de Karmarkar con sus variantes y una descripción de los ficheros *.m del algoritmo se encuentra en el Anexo N° 1.

IV. MODELOS DE OPTIMIZACION DE CEDULAS DE CULTIVO

4.1 OBJETIVO

La razón para utilizar la programación lineal en la determinación del patrón de cultivos es que la programación lineal es el medio más sencillo de reunir, de manera realista y sistemática, las consideraciones que influyen en la decisión del productor agrícola respecto de los cultivos que explotará.

Específicamente, es posible reunir elementos tan diversos como los siguientes:

- ❖ Establecer si los cultivos tienen un alto o un bajo valor para el productor agrícola.
- ❖ Las restricciones de tierra, agua, mano de obra, fertilizantes, maquinaria y otros insumos agrícolas.
- ❖ Las restricciones relacionadas con la facilidad de aprendizaje de los productores agrícolas respecto de la incorporación de nuevos cultivos.
- ❖ Las restricciones del mercado, así como también de la infraestructura de procesamiento, almacenamiento y transporte.
- ❖ Las consideraciones de aversión a los cultivos riesgosos.
- ❖ Las restricciones de crédito.
- ❖ Las consideraciones relativas al autoconsumo en la explotación y la rotación de cultivos.

Todo esto se puede relacionar con un área de proyecto con diferentes tipos de suelo, con distintos tamaños de explotación, con diferencias en la capacidad de administración y en el acceso a insumos básicos y con otras características que hacen variar fundamentalmente las posibilidades productivas de las explotaciones.

En el valle viejo de Tacna el recurso hídrico es muy escaso, siendo necesario optimizar su uso mediante un modelo de optimización de programación lineal utilizando algoritmos de Karmarkar programado en MATLAB.

Con el modelo se pretende maximizar los beneficios del área del proyecto, sujeto a restricciones de agua, suelo, mercado, mano de obra, entre otros, obteniendo una cedula de cultivo optima; con cultivos económicamente rentables y la cantidad de áreas a ser instaladas en una campaña agrícola.

V. METODOLOGIA

La metodología empleada para la optimización de la cedula de cultivo es la siguiente:

- Recopilación de información agroeconómica, suelo, disponibilidad de agua, requerimientos agroclimáticos de los cultivos y otros.
- Definición de cultivos a considerar teniendo en cuenta su adecuación al clima, demanda del producto en el mercado, rentabilidad, requerimiento de agua, en otros. A cada cultivo se le asigna una variable.

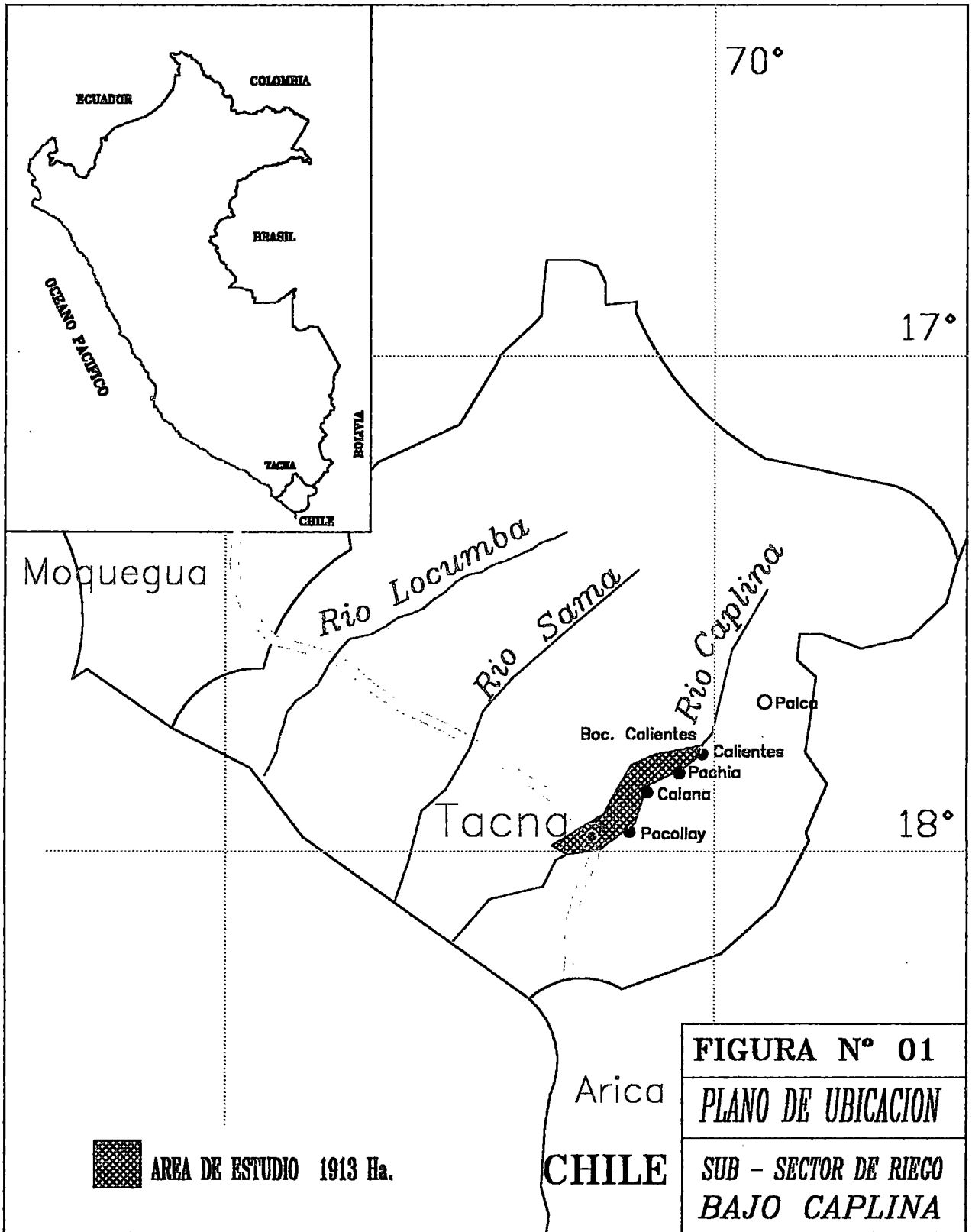
- Formulación de las funciones objetivo de los modelos que maximicen los beneficios de la producción, mediante la rentabilidad económica de los cultivos.
- Definición de las restricciones de los modelos como demanda y disponibilidad de agua, mano de obra requerida, demanda de mercado y disponibilidad de suelo.
- Formulación de los modelos.
- Obtención de la cedula optimizada mediante la técnica de Karmarkar en Programación Lineal.

5.1 ÁREA DEL PROYECTO

a. Ubicación

El área de estudio esta ubicado en la cuenca media del río Caplina (Figura N°1) y constituye el entorno rural abastecedor de alimentos de la ciudad Tacna, sede de la Subregión Tacna, localizada en la zona extrema meridional de la costa sur del país comprendido entre los paralelos 17°45' y 18°21' y los meridianos 69°45' y 70°38' de longitud de Greenwich.

El área de estudio esta delimitado por la superficie bajo riego permanente y eventual de los distritos de Tacna, Pocollay, Calana y Pachia, que es irrigada con las aguas superficiales provenientes del río Caplina. El sub-sector de riego Bajo Caplina se inicia en la bocatoma calientes y termina en Para Grande, con una superficie total catastrada de 1913 ha.



b. Clima

El clima es seco y templado con escasez de lluvias, siendo la precipitación total promedio anual de 13,1 mm para el periodo de registro 1964-2000; la temperatura promedio anual para el periodo de registro 1964-2000 es de 16,8°C, observándose promedios máximos de 28,0°C en Febrero y promedios mínimos de 3,2°C en el mes de julio; de igual forma la humedad relativa promedio anual es de 75,4%.(Ver cuadro N°1, Ver Anexo N°2).

Las figuras del N°2 al N°5, muestran la variación de las variables climáticas (precipitación, temperatura, humedad, horas de sol, velocidad del viento y nubosidad) correspondientes a la estación de Calana, ubicada a una altitud de 875 m.s.n.m., dentro del área del proyecto.

c. Vías de comunicación

La carretera Panamericana Sur que atraviesa el valle en los Km 1+298 y 1+327 aproximadamente, uniendo las ciudades de Tacna y conectándola con el resto de ciudades del sur del país y la Capital de la República.

De Tacna se origina la carretera longitudinal al valle que une los distritos de Pocollay, Calana, Pachia y el distrito de Palca y anexos(112 Km).

Se comunica con el servicio aéreo Tacna – Arequipa –Lima, con vuelos programados diariamente.

CUADRO N° 01
VARIABLES CLIMATICAS SUB-SECTOR DE RIEGO BAJO CAPLINA

ESTACION : CALANA
 CATEG. : CP
 CUENCA : CAPLINA

DPTO. : TACNA
 PROV. : TACNA
 DIST. : CALANA

LONG. : 70° 11' W
 LAT. : 17° 56' S
 ALT. : 875 m.s.n.m.

DESCRIPCION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
# Dias	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365
T. Max. Media Mensual (°C)	27.7	28.0	27.8	26.4	25.5	24.4	24.7	24.7	24.7	24.8	25.6	26.7	25.9
T. Min. Media Mensual (°C)	11.1	11.8	10.0	8.6	5.5	3.4	3.2	3.4	5.3	6.5	8.4	9.6	7.2
T. Media Mensual (°C)	20.3	20.6	20.0	17.9	15.6	13.7	13.1	13.5	14.6	16.1	17.6	19.0	16.8
Amplitud Termica (°C)	16.6	16.2	17.8	17.8	20.0	21.0	21.5	21.3	19.4	18.3	17.2	17.1	18.7
Precipitacion (mm)	1.2	0.8	0.4	0.2	0.3	1.4	1.2	2.0	2.3	1.0	1.2	1.1	1.1
Humedad Relativa (%)	71.0	70.0	72.0	72.0	78.0	80.0	81.0	77.0	80.0	77.0	75.0	72.0	75.4
Horas de Sol (hrs)	6.6	7.0	8.1	7.6	8.2	7.2	7.6	7.4	7.5	8.2	8.3	8.3	7.7
Velocidad del viento (m/s)	1.1	1.1	1.0	0.9	1.2	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.2	1.2	1.0
Nubosidad (Octavos)	5	5	4	4	3	4	4	4	5	4	4	4	4

FUENTE: Direcciones Regionales de Agricultura (MINAG-OIA)/ PET-Area de Planeamiento Hidraulico

**FIG. N° 02: PRECIPITACION MEDIA MENSUAL
ESTACION CALANA**

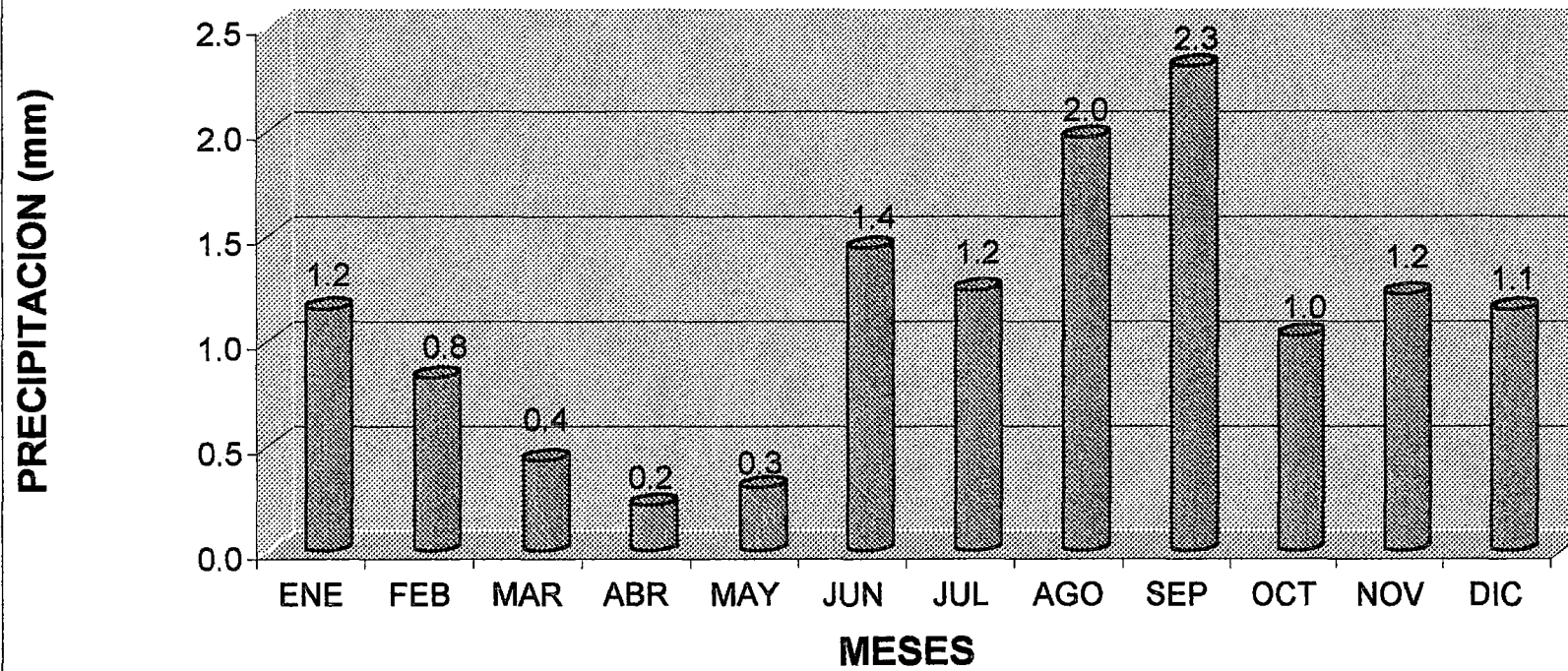
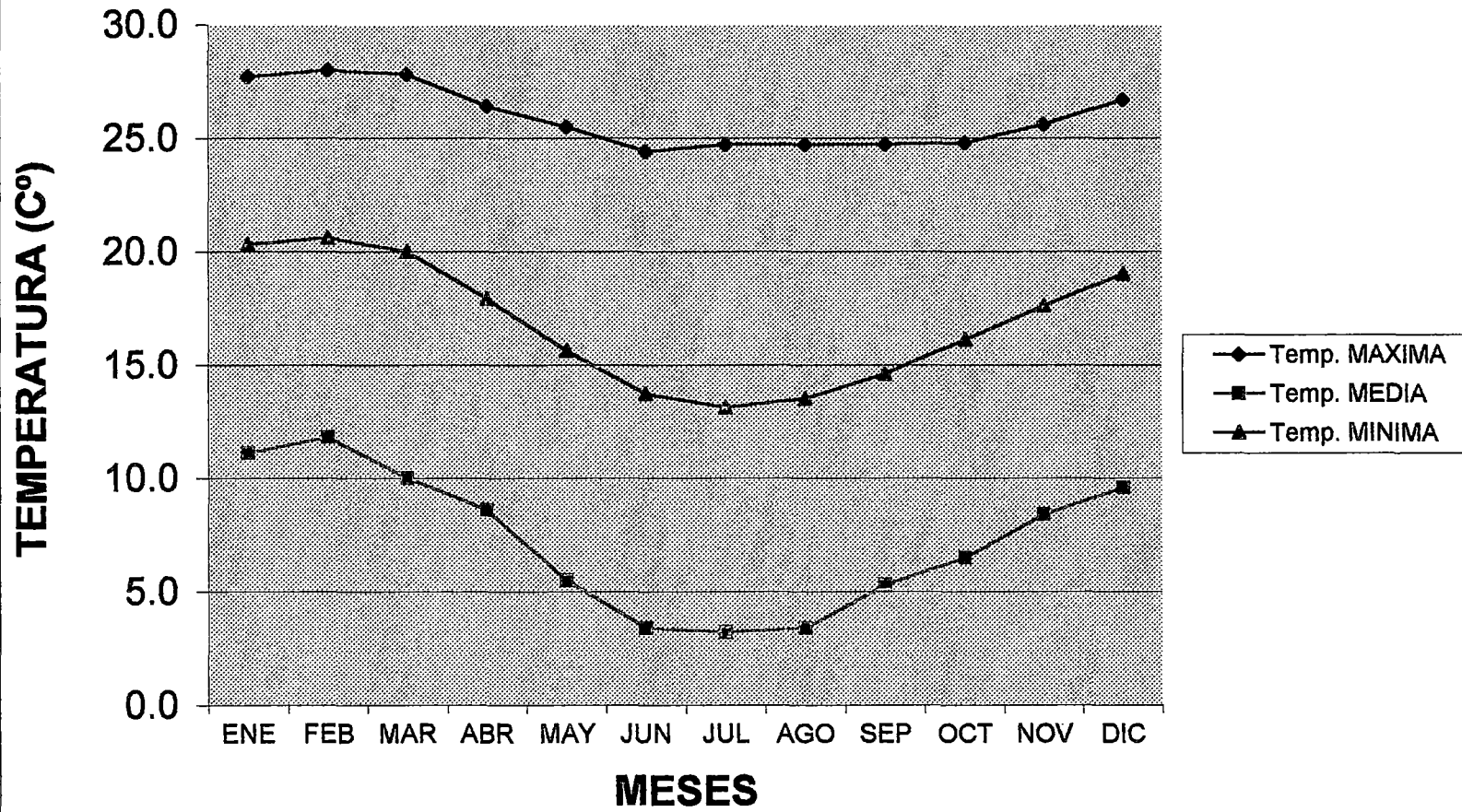
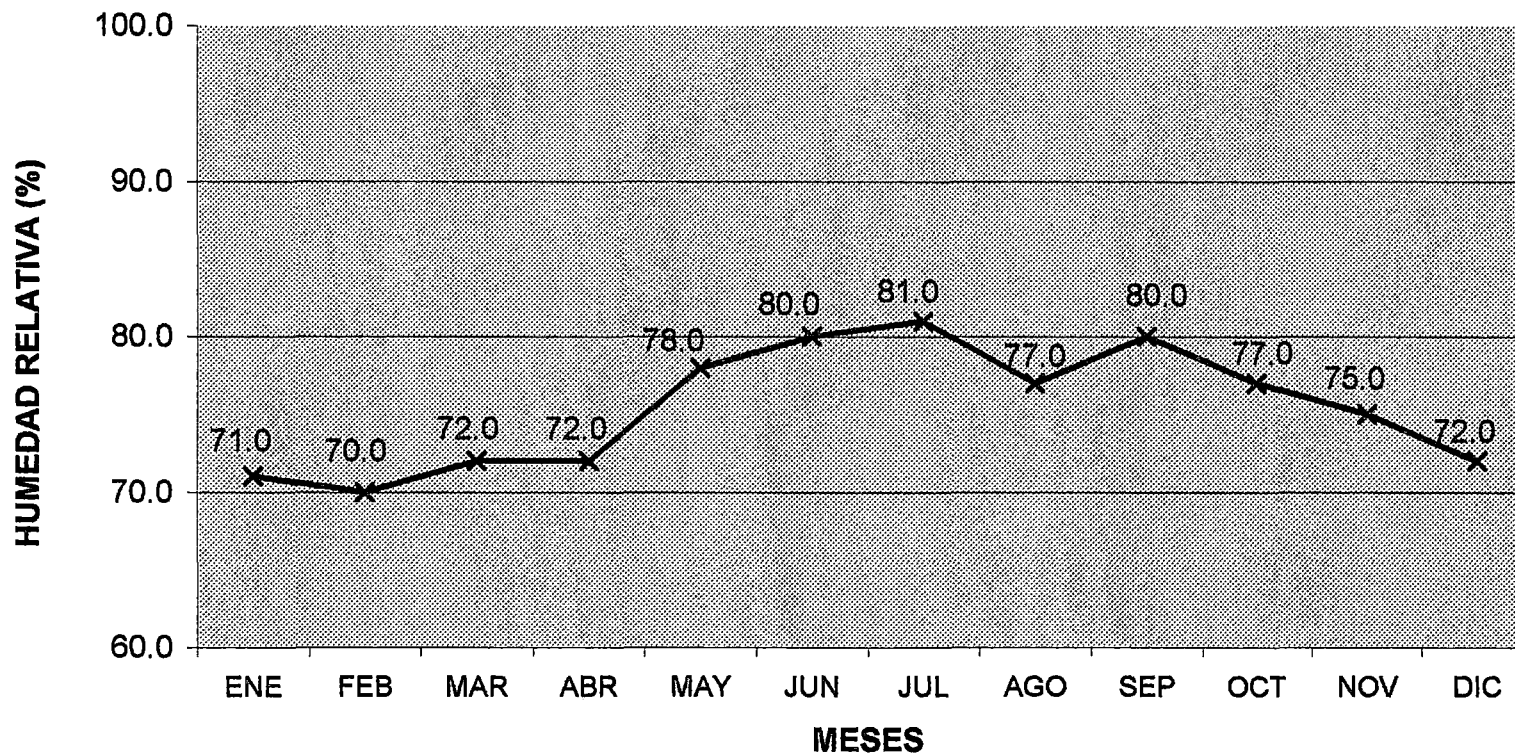


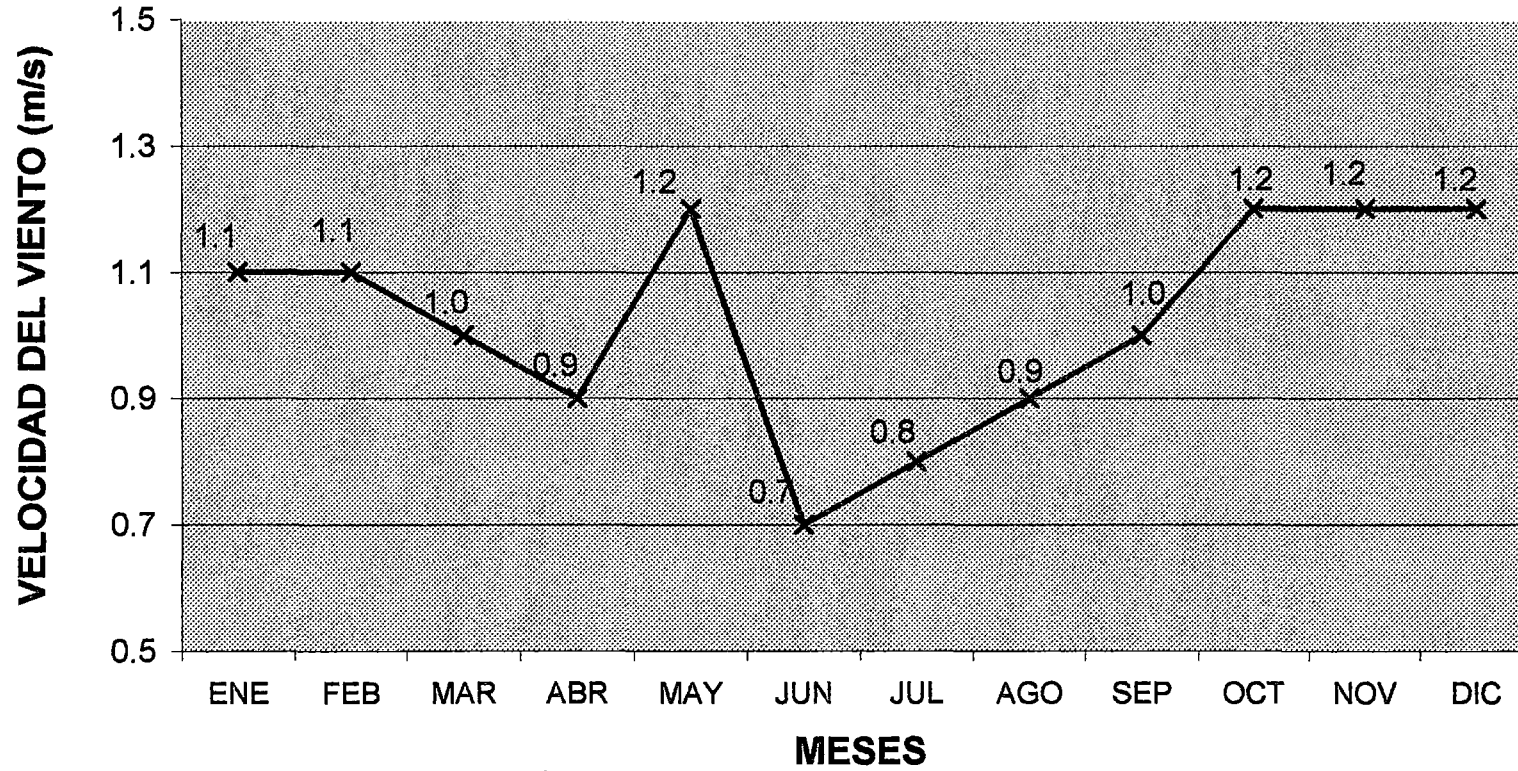
FIG. N°03: VARIACION DE LA TEMPERATURA
ESTACION CALANA



**FIG. N° 04: HUMEDAD RELATIVA MEDIA MENSUAL
ESTACION CALANA**



**FIG. N° 05: VELOCIDAD DEL VIENTO MEDIA MENSUAL
ESTACION CALANA**



d. Geología y Geomorfología

Geología Estructural

En el área Pachía – Palca existe el sistema de falla de Incapuquio y sistema Chucchuco. Este conjunto de fallas conforman una estructura de bloques de “Echelon” con hundimientos de NE a SW, y al parecer controlan el curso de los valles principales del Caplina, Chucchuco, Palca, Vilavilani, etc.

En la zona de proyecto se ha podido identificar los siguientes rasgos geomorfológicos:

i. Pampas

Superficies de amplia extensión de morfología suave a ligeramente ondulada con algunas pendientes hacia el NW y lomas como Magollo, Lomada de la cruz, cerros, molles, etc., y algunos lugares atravesados por quebradas como Viñani, La garita, Vilavilani, etc., limitados en sus flancos por elevaciones de terrenos, en la zona del litoral la elevación más importante es el Morro de Sama con 76 m.s.n.m. cuyos taludes caen abruptamente al mar.

ii. Valles

El valle del Caplina es el accidente geomorfológico más notable de la zona, longitudinalmente en su margen derecho es una “Penillanura” que abarca hasta el río Sama perdiéndose en la Yarada y en el cordón de cerros del Sistema del Morro de Sama.

e. Ecología y fisiografía

Según la clasificación de pisos ecológicos de Holdridge, en la zona de estudio se han identificado las siguientes formaciones:

i. Formaciones desierto sub-tropical (d-ST)

Comprende desde el litoral hasta los 800 m.s.n.m., el clima es desecado, con temperaturas semi-cálidas y precipitaciones reducidas. La precipitación total anual es de 17,2 mm., la temperatura media se encuentra en el rango 17,7°C a 19,0°C y los valores mínimos están alrededor de 5,4°C.

Topográficamente presenta dos sectores bien definidos, una plana a ligeramente ondulada y otra ondulada a semi-accidentada. Presenta muy escasa vegetación natural, Pampas Chilco, Toñuz, Sauce y Molle.

Edafológicamente, tiene un potencial muy bueno, comprende los sectores: área agrícola de costa, quebrada, pampas eriazas, colinas y laderas.

ii. Formación desierto montano bajo (d-MB)

Se encuentra comprendida entre los 800 a 2400 m.s.n.m., presenta un clima per-árido y templado; las precipitaciones son bajas (10,2 mm) la temperatura varía en el rango de 12 a 14°C.

Topográficamente, esta formación presenta tres sectores bien diferenciados; las quebradas con pequeñas planicies aluviales; las planas y la semi-accidentada.

En esta formación se encuentra el “Molle” (Shimus Molle) en los cauces; edafológicamente es muy pobre.

La fisiografía del lugar presenta los siguientes paisajes:

ii. Paisaje colinoso

Se observa la presencia de este paisaje en la parte baja y limítrofes de la cuenca. Presenta las siguientes unidades fisiográficas:

- Colinas bajas
- Tierras altas

iii. Paisaje de Llanura Aluvial

Abarca las áreas de formación del cuaternario, formado por tierras con potencial agrológico.

Se caracteriza por presentar predominancia de material de sedimentación originada por el río Caplina y quebradas existentes a todo lo largo de su extensión.

Se diferencia las siguientes unidades fisiográficas:

- i. Bancos del río
- ii. Terrazas bajas inundables
- iii. Terrazas bajas no inundables
- iv. Terrazas medias
- v. Unidad aluvio-marino
- vi. Cono o Abanicos aluviales

5.2 DIAGNOSTICO AGROECONÓMICO

a. Organización de los usuarios

El Distrito de Riego Tacna se encuentra constituido por dos Juntas de Usuarios, uno del Sector de riego Caplina y otro del Sector de riego Uchusuma; asimismo cuenta con cinco Comisiones de Regantes dentro de los cuales se encuentran los sub-sectores de riego Caplina, Uchusuma y Magollo.

De acuerdo al padrón de regantes del Ministerio de Agricultura y la encuesta agroeconómica realizado por el PET, la superficie agrícola catastrada es de 1 913 Ha, con un total de 767 usuarios. El área actual bajo riego lo constituye 990,0 Ha que equivale al 51,7% de la superficie total, 155,4 Ha (0,8 %) se encuentran en descanso y 621,2 Ha corresponden a montículos, depresiones, carreteras, caminos, viviendas, etc. Ver cuadro N° 02.

b. Tenencia de la tierra

La tenencia de la tierra en el sub-sector de riego Bajo Caplina de acuerdo al Padrón de Regantes registrada en el Ministerio de Agricultura, esta clasificada por rangos de tamaño de las parcelas de los usuarios con área regable.

En el cuadro N° 03 se muestra ésta clasificación observándose que el 70.5% del total del área física lo ocupan predios tipos A y B con superficies promedios de 1,0 y 4,6 Ha., mientras que las parcelas tipo C y D con áreas promedios de 11,0 y 26,5 Ha. suman un 5.1%. De lo analizado se concluye que el tipo de propiedad en el subsector de riego Bajo Caplina es minifundario a pequeño.

CUADRO N° 02
COBERTURA DE AREAS SEGÚN SUB-SECTOR DE RIEGO (Ha)

SUB-SECTORES DE RIEGO	AREA REGADA (a)			DESCANSO (b)	AREA REGABLE (a+b)	OTRA CLASE (c)	TOTAL CATASTRADA (a+b+c)	N° de USUARIOS
	ACTUAL	ASOCIADA+ BARBECHO	TOTAL					
BAJO CAPLINA	990.0	146.4	1136.4	155.4	1291.8	621.2	1913.0	767.0
UCHUSUMA	446.0	157.0	603.0	101.0	704.0	405.0	1109.0	183.0
MAGOLLO	807.6	137.1	944.7	37.6	982.3	206.7	1189.0	146.0
TOTAL	2243.6	440.5	2684.1	294.0	2978.1	1232.9	4211.0	1096.0

FUENTE : Plan de Desarrollo Agropecuario Tacna, 1995-2015

Ministerio de Agricultura - Padron de Regantes

CUADRO N° 03
CLASIFICACION DE LA TENENCIA DE LA TIERRA POR RANGOS DE TAMAÑO
SUB-SECTOR DE RIEGO BAJO CAPLINA

TIPO	RANGO Ha	AREA TOTAL		AREA BAJO RIEGO Ha	PREDIOS		PROM. DEL AREA TOTAL Ha	PROM. DEL AREA REGADA Ha
		Ha	%		N°	%		
A	< 3.0	534	27.1	418	541	70.5	1.0	0.8
B	3 - 8	852	43.2	507	187	24.4	4.6	2.7
C	8 - 15	319	16.2	150	29	3.8	11.0	5.2
D	> 15.0	265	13.5	83	10	1.3	26.5	8.3
	TOTAL	1970	100	1158	767	100	2.6	1.5

FUENTE : Ministerio de Agricultura - Padron de Regantes

c. Cédula de cultivo actual

El área de estudio presenta un patrón de cultivo histórico de tipo heterogéneo constituido por cultivos permanentes, forrajeros, forestales y transitorios. La cédula de cultivo actual ha sido tomada de la encuesta agroeconómica efectuada por el Ministerio de Agricultura. Del análisis de la cédula del cultivo actual (Ver cuadro N° 04), se tiene:

Entre los cultivos permanentes destacan el olivo, vid, peral y otros frutales que totalizan 273,44 Ha. , seguido por el peral por 28,89 Ha.

Entre los cultivos forrajeros (234,50 Ha.), la alfalfa y maíz chala son los más importantes, con 195,64 Ha. y 31,80 Ha. respectivamente.

Entre los cultivos forestales (38,48 Ha.), el eucalipto es el de mayor importancia, con 24,73 Ha. Las plantaciones forestales se presentan de manera aislada como cortinas rompevientos. Los cultivos transitorios son los más abundantes, destacándose la papas, maíz amiláceo, maíz choclo, ají, tomate, haba, arveja grano verde, zapallo, cebolla, hortaliza, flores y otros, cubren 443,58 Ha. que representan el 44.8% de la superficie total bajo riego.

El análisis Técnico-económico de la cédula de cultivo actual, permitirá de acuerdo a su tendencia, productividad y otras características agroeconómicas, definir la posibilidad de estructurar, con una mayor de disponibilidad de agua que contempla el proyecto, una nueva cédula de cultivo, que en lo posible estará en la función de optimizar la utilización de los recursos naturales (suelo, agua, clima), lograr una productividad en base un adecuado manejo técnico y uso racional de los insumos, y finalmente obtener en base a las expectativas de mercado interno y externo una buena rentabilidad en beneficio del productor.

CUADRO N° 04
CEDULA DE CULTIVO ACTUAL
SUB-SECTOR DE RIEGO BAJO CAPLINA

CULTIVOS	Ha	%
<u>PERMANENTES</u>		
Olivo	17.40	1.8
Vid	146.20	14.8
Peral	28.89	2.9
Otros Frutales	80.95	8.2
Total	273.44	27.6
<u>FORRAJEROS</u>		
Alfalfa	195.64	19.8
Maiz Chala	31.80	3.2
Otros	7.06	0.7
Total	234.50	23.7
<u>FORESTALES</u>		
Eucaliptos	24.73	2.5
Otros	13.75	1.4
Total	38.48	3.9
<u>TRANSITORIOS</u>		
Papa	106.64	10.8
Maiz Amilaceo	123.53	12.5
Maiz Choclo	56.29	5.7
Aji y Pimiento	21.62	2.2
Tomate	5.18	0.5
Haba y Arveja G.V.	39.65	4.0
Zapallo	14.07	1.4
Cebolla	7.79	0.8
Hortalizas	35.47	3.6
Flores	14.66	1.5
Otros	18.68	1.9
Total	443.58	44.8
TOTAL	990.00	100.0

FUENTE : Plan de Desarrollo Agropecuario Tacna, 1995-2015

d. Rotación siembra y cosecha de cultivos

De acuerdo a la información de la encuesta agroeconómica 1995-2015 PET, las rotaciones más frecuentes que obedecen a las expectativas de mercado y disponibilidad de agua y no a razones técnicas de orden agroclimático son:

- Haba/ Arveja G.V. – Maíz
- Haba/ Arveja G.V. – Hortalizas
- Haba/ Arveja G.V. – Cebolla
- Maíz – Ají
- Maíz – Tomate
- Tomate – Maíz
- Tomate – Hortalizas
- Papas – Maíz
- Papa – Ají
- Hortalizas – Maíz
- Zapallo – Maíz
- Hortalizas – Hortalizas

En lo que respecta a las épocas de siembra y cosecha de los principales productos, se observa que estas labores se realizan con similares criterios al de las rotaciones, empleado para la siembra amplios períodos de tiempo que sobrepasan a la época recomendable, razón por la cual, enfrentan dificultades en el control fitosanitario y también, es una de las causas por la que se obtienen bajos rendimientos (Ver cuadro N° 05).

**CUADRO Nº 05
CALENDARIO DE CULTIVOS PARA CEDULA ACTUAL**

Nº	CULTIVO	PERIODO VEGETATIVO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	Olivo	Perenne	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
2	Vid	Perenne	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
3	Peral	Perenne	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
4	Otros Frutales	Perenne	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
5	Alfalfa	Perenne	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
6	Maiz Chala	4									■	■	■	■
7	Otros Forrajes	Perenne	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
8	Eucalipto	Perenne	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
9	Otros Forestales	Perenne	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
10	Papa	5							■	■	■	■	■	■
11	Maiz Amilaceo	6	■	■	■	■						■	■	■
12	Maiz Choclo	4					■	■	■	■	■			
13	Aji y Pimiento	7	■	■	■	■					■	■	■	■
14	Tomate	7	■	■	■	■				■	■	■	■	■
15	Haba/Arveja	5				■	■	■	■	■	■			
16	Zapallo	5	■	■	■	■	■							■
17	Cebolla	6	■	■	■	■					■	■	■	■
18	Hortalizas	6	■	■	■	■					■	■	■	■
19	Flores	5				■	■	■	■	■	■			
20	Otros Transitorios	6	■	■	■	■	■	■	■	■				

FUENTE : Plan de Desarrollo Agropecuario Tacna, 1995-2015

e. Rendimientos de los cultivos

Para obtención de los rendimientos de los cultivos del sub-sector de riego Bajo Caplina, se ha tomado la información del Plan de Desarrollo Agropecuario de Tacna 1995 – 2015, donde se consigna un promedio histórico (1979 – 1987) a nivel del valle de Tacna y el rendimiento obtenido por el PET en la encuesta agro económica del año 1995 del sub-sector de riego Bajo Caplina.

Entre los frutales la vid negra corriente presenta un descenso en su rendimiento comparado con el promedio histórico de 7,10 a 6,38 TM/Ha, mientras que los otros frutales permanecen con ligeras variaciones.

Entre los cultivos transitorios el maíz (amiláceo, amarillo, duro, choclo) presentan un crecimiento significativo en su rendimiento; las hortalizas como el ají, lechuga, tomate, zapallo y el haba presentan una baja en sus rendimientos, al igual que la papa que disminuye de 13,7 a 12,6 TM/Ha.

La disminución de los rendimientos se debe una serie de factores como los agroclimáticos (semilla de baja calidad, condiciones climáticas, plagas); técnicos (manejo el agua, mala distribución, minifundio, tunos de riego, etc); y económicos (crédito).

En lo que respecta a los cultivos forrajeros el maíz chala aumenta de 32,0 a 39,29 TM/Ha, mientras que en la alfalfa se observa una ligera disminución.

Para efectos del modelo se consignará el promedio de los rendimientos de la serie histórica y de la campaña 1995 del sub-sector de riego Bajo Caplina, ver cuadro N° 06.

CUADRO N° 06
COMPARATIVO DE LOS RENDIMIENTOS UNITARIOS DE PRODUCCION
SUB-SECTOR DE RIEGO BAJO CAPLINA Y VALLE DE TACNA
(TM/Ha)

CULTIVO	PROMEDIO HISTORICO TACNA 1979-1987	RENDIMIENTO BAJO CAPLINA ENCUESTA 1995	RENDIMIENTO PROMEDIO
<u>FRUTALES</u>			
Olivo	--	1.90	1.90
Vid Negra Corriente	7.10	6.38	6.74
Pera	--	5.99	5.99
Durazno	5.00	5.00	5.00
Otros	--	5.22	5.22
<u>FORRAJES</u>			
Alfalfa	63.10	61.00	62.05
Maiz Chala	32.00	39.29	35.65
Otros	--	35.00	35.00
<u>TRANSITORIOS</u>			
Papa	13.70	12.58	13.14
Maiz Amilaceo	1.80	2.77	2.29
Maiz Choclo	6.70	6.79	6.75
Maiz Amarillo	--	2.82	2.82
Aji	7.40	6.92	7.16
Tomate	13.10	11.21	12.16
Haba y Arveja G.V.	4.10	4.16	4.13
Zapallo	10.20	10.00	10.10
Cebolla	--	12.50	12.50
Hortalizas	--	8.94	8.94
Flores	--	9.30	9.30
Otros	--	11.30	11.30

FUENTE: PET - Plan de Desarrollo Agropecuario Tacna 1995-2015

f. Precios en chacra

Para la obtención de los precios en chacra, se ha recurrido a la estadística agropecuaria (Sub-Región de Agricultura - Tacna) en la que se indica los precios de los principales productos cultivados en el valle de Tacna. (Ver cuadro N° 07.)

g. Volumen y utilidad neta de la producción actual

Con la información de la cédula actual, los rendimientos obtenidos, los precios en chacra y los costos unitarios por cultivo (ver Anexo N°3) se ha estimado el volumen y la utilidad neta de la producción para la situación considerada como actual. El volumen de la producción calculado es de 18 483 TM con una utilidad neta de US\$ 586 430 como se puede observar en el cuadro N° 08.

El volumen producido en mayor cantidad es de los cultivos forrajeros (alfalfa, maíz chala) con 13 520 TM., le siguen los cultivos transitorios con 3 349 TM, destacando los cultivos de papa, maíz choclo y hortalizas; finalmente los cultivos permanentes con 1 614 TM de producción representado por el cultivo de vid.

Los cultivos permanentes representan el 42 % del total de la utilidad neta (US\$ 249 027) influenciado por el cultivo de la vid; entre los cultivos forrajeros la alfalfa tiene la mayor utilidad que sumado con los demás forrajes hacen \$ 205 751. Los cultivos transitorios aportan con el 23% de la utilidad neta total que significa US\$ 131 651 destacando los cultivos de papa, ají, hortalizas y flores.

CUADRO N° 07
PRECIOS EN CHACRA DE PRODUCTOS
SUB-SECTOR DE RIEGO BAJO CAPLINA
(US\$/Kg)

CULTIVO	PRECIO
<u>FRUTALES</u>	
Olivo	0.43
Vid Negra Corriente	0.30
Peral	0.37
Otros Frutales	0.30
<u>FORRAJES</u>	
Alfalfa	0.02
Maiz Chala	0.04
Otros	0.04
<u>TRANSITORIOS</u>	
Papa	0.27
Maiz Amilaceo	0.29
Maiz Choclo	0.15
Maiz Amarillo	0.25
Aji	0.30
Tomate	0.13
Haba y Arveja G.V.	0.25
Zapallo	0.16
Cebolla	0.15
Hortalizas	0.15
Flores	0.25
Otros	0.11

FUENTE: Direccion Subregional de Agricultura

CUADRO N° 08
VOLUMEN Y UTILIDAD NETA DE LA PRODUCCION DE LA CEDULA ACTUAL
SUB-SECTOR DE RIEGO BAJO CAPLINA

CULTIVOS	AREA (Ha)	RENDTO. (TM/Ha)	Precio (US\$/Kg)	VALOR BRUTO PRODUCCION (US\$/Ha)	COSTO PRODUCCION (US\$/Ha)	VALOR NETO PRODUCCION (US\$/Ha)	VOLUMEN DE PRODUCCION (TM)	UTILIDAD NETA DE LA PRODUCCION (U\$)
PERMANENTES								
Olivo	17.40	1.90	0.43	817.0	561.0	256.0	33	4454
Vid Negra Corriente	146.20	6.74	0.30	2022.0	1042.3	979.7	985	143228
Peral	28.89	5.99	0.37	2216.3	1020.0	1196.3	173	34561
Otros Frutales	80.95	5.22	0.30	1566.0	741.0	825.0	423	66784
Total	273.44						1614	249027
FORRAJES								
Alfalfa	195.64	62.05	0.02	1241.0	359.5	881.6	12139	172466
Maiz Chala	31.80	35.65	0.04	1425.8	578.9	846.9	1134	26931
Otros	7.06	35.00	0.04	1400.0	500.0	900.0	247	6354
Total	234.50						13520	205751
FORESTALES								
Eucaliptos	24.73							
Otros	13.75							
Total	38.48							
TRANSITORIOS								
Papa	106.64	13.14	0.27	3547.8	2779.5	768.3	1401	81935
Maiz Amilaceo	123.53	2.29	0.29	662.7	1013.4	-350.8	282	-43331
Maiz Choclo	56.29	6.75	0.15	1011.8	842.8	169.0	380	9512
Ajl y Pimiento	21.62	7.16	0.30	2148.0	1070.8	1077.2	155	23289
Tomate	5.18	12.16	0.13	1580.2	1367.1	213.0	63	1103
Haba y Arveja G.V.	39.65	4.13	0.25	1031.9	845.8	186.1	164	7378
Zapallo	14.07	10.10	0.16	1616.0	1156.8	459.2	142	6461
Cebolla	7.79	12.50	0.15	1875.0	1313.7	561.3	97	4373
Hortalizas	35.47	8.94	0.15	1341.0	936.0	405.0	317	14365
Flores	14.66	9.30	0.25	2325.0	950.0	1375.0	136	20158
Otros	18.68	11.30	0.11	1243.0	900.0	343.0	211	6407
Total	443.58						3349	131651
TOTAL	990.00						18483	586430

FUENTE: Elaboracion Propia

5.3 RECURSO SUELO

De acuerdo al Estudio Agrológico detallado del Valle de Tacna y Pampas de la Yarada - Dirección General de Aguas e Irrigación, los suelos del Valle de Caplina, presentan en su mayoría perfiles poco desarrollados debido a una edafización variable del material transportado. La distribución de dichos materiales ha sido generalmente producto de aluviones fluviales y transportes eólicos con interacción aluvial.

Las clases y series de suelos se observa en el cuadro N° 09 y se presenta totalizado como un solo sub-sector Uchusuma-Caplina, no encontrándose disponible la información en forma desglosada, describiéndose sus características a continuación:

a. Series y clases de suelos

Serie Pocollay

Son suelos moderadamente profundos, de origen aluvial, con buen drenaje natural, caracterizándose por poseer los dos primeros horizontes con texturas media, de estructura granular, fina y moderada: suave en seco y friable en húmedo; descansan sobre otro estrato con 50-60% de gravas y guijarros.

El perfil típico se ubica en la parte alta del valle, zona de Calana, Pachía y Calientes.

Los suelos de esta serie, son generalmente de drenaje bueno a algo excesivo; de textura Franca; el ultimo estrato presenta una matriz con predominancia de grava.

CUADRO N° 09
CLASIFICACION DE LOS SUELOS SEGÚN SERIES Y CLASE DE APTITUD PARA EL RIEGO
SEGÚN SUB-SECTOR DE RIEGO UCHUSUMA - CAPLINA

SERIES	CLASE: APTITUD PARA RIEGO					CARACTERISTICAS DE CAPACIDAD PRODUCTIVA	LOCALIZAION REPRESENTATIVA
	I	II	III	IV	TOTAL		
<u>UCHUSUMA - CAPLINA</u>							
1.POCOLLAY	----	100	199	37	336	REGULAR	Calana, Pachia, Calientes
2.MOCHUMI	390	1024	102	11	1527	BUENA	Pueblo de Calana
3.TRUJILLO	----	980	234	37	1251	BUENA	Pocollay
4.TUCUME	93	329	27	97	546	BUENA	Para
TOTAL	483	2433	562	182	3660		
%	13.2	66.5	15.4	5.0	100		

FUENTE : Estudio Agrologico Detallado del valle de Tacna y Pampas de la Yarada

Direccion General de Aguas e Irrigaciones

El pH varía de neutro a ligeramente alcalino y sólo en casos excepcionales se encontró pH ligeramente ácido.

Estos suelos presentan en su mayoría un uso actual con cultivos principales de alfalfa, maíz y frutales caducifolios; algunas áreas se presentan en descanso.

Serie Mochumí

Son suelos de origen aluvial, profundos de buen drenaje natural, caracterizados por presentar texturas medias hasta 1,60 m de profundidad; con estructura que varía de bloques subangulares a granular, fino y moderado, dependiendo del tipo de horizonte.

No existe diferencia entre horizontes.

Las variaciones texturales corresponden a Franco (F) ó Franco Arenoso (FA), ocasionalmente se encuentran textura de Franco Limoso (FL); el pH generalmente es neutro, disminuyendo muy ligeramente con la profundidad; no presenta modificador textural.

El perfil típico se encuentra cercano al pueblo de Calana.

Estos suelos generalmente están cultivados, pero se suele encontrar áreas en descanso, debido fundamentalmente a la escasa disponibilidad del recurso hídrico. Los principales cultivos encontrados son: Maíz grano, Zapallo, Vid y Frutales Caducifolios.

Por ser suelos profundos y con buen drenaje se les considera como los mejores del Valle y de alta calidad agrícola para la mayoría de los cultivos.

Serie Trujillo

Agrupan suelos de origen aluvial, moderadamente profundos, con drenaje generalmente bueno y caracterizándose por poseer los dos estratos superiores de textura media; estructura variable de bloques subangulares finos, débiles a granular medio, moderado; de consistencia suave, seco y friable en húmedo.

Luego presentan un estrato de matriz arenosa, con presencia abundante de grava y guijarros redondos.

El perfil típico se encuentra ubicado en las cercanías al pueblo de Pocollay.

La magnitud de los primeros estratos del suelo varía de 50 a 80 cm de espesor y con texturas que son Franco a Franco Arenoso, hallándose por debajo, grava con arena.

El pH generalmente es neutro, y en algunos casos ligeramente alcalino, observándose que disminuye un poco con la profundidad.

La gran mayoría de los suelos de esta serie se encuentran en uso, existiendo áreas en descanso y sin cultivos por falta de agua. Los cultivos que encontramos son diversos, siendo los principales cultivos los siguientes: Maíz grano, alfalfa, zapallo, olivo, papa y haba.

Los perfiles de estos suelos presentan características óptimas para obtener buenos rendimientos; su principal limitación radica en el grave peligro de exposición a la erosión hídrica, principalmente en los cultivos ubicados en terrazas medias y altas, y donde la pendiente es inclinada.

Serie Túcume

Son suelos de origen aluvial, profundos, de buen drenaje natural, que se caracterizan por presentar un perfil con dos estratos el primero de textura media y el segundo de textura gruesa; el nivel freático no es observable.

El perfil típico se ubica en la zona de Para.

Como características del perfil se pueden mencionar que tiene un drenaje generalmente bueno. Presenta un tercer estrato de textura Arena Franca o Arena; las texturas del primer y segundo estrato varían de Franco Arenoso a Franco, hallándose ocasionalmente, Franco Arcilloso. El pH varía de neutro a ligeramente alcalino, notándose una ligera disminución con la profundidad.

Generalmente estos suelos están en uso, encontrándose algunas áreas en descanso y otras de reciente incorporación al cultivo.

Los principales cultivos encontrados son: Maíz grano, Alfalfa, Zapallo y Olivo.

Son suelos de buenas características, destacándose el que son profundos, de buen drenaje y calidad agrícola, sin embargo, para las fases salinas es necesaria la aplicación de frecuentes lavados correctivos.

Las Clases de suelos identificados son:

Clase I :

Son suelos con muy pocas limitaciones que puedan restringir su uso. Son adecuados para la mayoría de variedades de plantas.

Son suelos casi planos o planos y sin problemas de erosión, profundos y generalmente bien drenados y fáciles de trabajar; tienen buena capacidad de retención de agua y responden efectivamente a los agregados de fertilizantes.

Texturalmente pueden presentar cualquier tipo, salvo la arena gruesa o la arcilla muy fina. El pH es siempre menor a 8,5 y posee condiciones salino sódicas favorables.

No presenta pedregosidad en la superficie ni en el perfil, o si existe éste no es mayor de 0.1%.

Clase II :

Son suelos con algunas limitaciones que pueden restringir su uso (elección de plantas) ó requieren moderadas practicas de conservación y manejo para prevenir su deterioro o para mejorar las condiciones de drenaje a un costo razonable.

La textura puede ser gruesa o fina, comprendiendo un rango que puede variar de arena franca a franco- arcillo- limosa. Las limitaciones, aisladas o combinadas, pueden incluir pendientes suaves, susceptibilidad moderada a la erosión por el agua o el viento, profundidad al enraizado menor que en los suelos de Clase I, contenido de salinidad o sodicidad moderado (fácilmente corregible, pero con posibilidades de volver a presentarse), libres o con no más de 1% de pedregosidad superficial.

Clase III :

Son suelos con severas limitaciones que reducen la elección de cultivos o requieren prácticas especiales de conservación o ambas a la vez.

La textura de éstos suelos puede variar desde ligera hasta fina, pudiéndose presentar rangos de arena franca hasta arcilla-

limosa, tienen pendiente moderadamente inclinada, humedad o condiciones de sobresaturación que continúan después del drenaje; las modificaciones texturales pueden presentarse a partir de los 80 cm de la superficie del suelo; pH siempre menor a 8,5 y pueden presentarse suelos salinos y ligeramente sódicos.

La pedregosidad se observa desde terrenos libres de piedras hasta porcentajes no mayores de 10%.

Clase IV:

Denominada también de "uso especial", va que su inclusión en esta Clase esta supeditada a un estudio muy detenido de sus condiciones arables; tienen limitaciones muy severas que restringen su uso. Sus condiciones de textura van desde suelos muy ligeros hasta suelos muy pesados, pero permeables; pueden presentar modificadores texturales mayores de 2,5 cm a partir de los 30 cm superficiales. Presentan pendientes muy pronunciadas, susceptibilidad severa a la erosión por el agua o por el viento, pH siempre menor a 9. Sus condiciones salinas pueden ser desde suelos libres de sales hasta muy salinos, y sus condiciones de sodificación no serán mayores a las de los suelos moderadamente sódicos. Son suelos con baja capacidad retentiva de humedad, la pedregosidad puede llegar hasta valores de 15 %. El uso de los cultivos es limitado como resultado de los efectos de una o más de las características mencionadas.

b. Limitaciones y potencialidades del recurso suelo

Los suelos de mejor calidad desde el punto de vista de su aptitud para el riego, representados por las Clase I y II,

predominantes en el sub-sector de riego Bajo Caplina, la distribución es la siguiente:

Clase I	13%
Clase II	66%
Clase III	15%
Clase IV	5%

Los suelos de Clase III y IV, que tienen limitaciones deberán ser mejoradas con prácticas de conservación y manejo adecuado y/o elección de cultivos apropiados, podrían ser también considerados como áreas potenciales de desarrollo agropecuario.

Un aspecto que debe tenerse en consideración y que tiene que ver con la calidad del suelo, es el relacionado a la afectación de éstos por problemas principalmente de salinidad. Sobre drenaje se puede afirmar que los suelos del valle de Tacna y del Bajo Caplina se encuentran exentos de este tipo de problemas; sin embargo, con respecto a la salinidad se ha podido constatar que existen acumulaciones de sales y/o sodio en forma aislada y desordenadamente repartidas en todo el valle; estos problemas de exceso de sales pueden muy bien ser superados y controlados si es que se dispone de suficiente cantidad de agua para mantener periódicamente una Lixiviación del perfil del suelo, que por lo general son de textura ligera.

En consecuencia, desde el punto de vista del suelo, puede asegurarse que la disponibilidad potencial de este recurso no constituye limitación en términos de cantidad, pero sí, en cierta forma en cuanto a calidad.

5.4 RECURSO HÍDRICO

a. Disponibilidad del recurso hídrico

La fuente principal de recurso hídrico del área de estudio viene a ser el río Caplina. Este río tiene una cuenca colectora de aproximadamente 218 km² (190 km² de la cuenca del río Caplina y 28 km² de la cuenca del río Sama conectado al Caplina por el canal Barroso), sobre la cual existen aguas provenientes de precipitaciones y de deshielos en las partes altas de la cuenca sobre los 5 500 m.s.n.m.

Los caudales del río Caplina son medidos en la estación limnigráfica de Calientes en la cabecera del valle de Caplina, Distrito de Pachía, Provincia de Tacna (Longitud 70°07' Latitud 17°51', Altitud 1 300 m.s.n.m.).

El río Caplina, presenta descarga media anual al 75% de persistencia de 0,576 m³/s con una máxima de 0,825 m³/s en el mes de Febrero y una mínima de 0,451 m³/s en Noviembre; de acuerdo a la información proporcionada por el PET-Area de Hidrología, información correspondiente al período 1951-1995 y de 1996-2000 del Ministerio de Agricultura (Ver cuadro N° 10). De los 0,576 m³/s se estima que 0,050 m³/s es para uso poblacional e industrial de Tacna y 0,526 m³/s como promedio para uso agropecuario como se observa en el cuadro. N° 13 del balance hídrico para la situación actual.

b. Demanda de agua de la cédula actual

Para el cálculo de la demanda de agua de la cédula de cultivo se ha estimado primero la evapotranspiración potencial en base a las variables climáticas registradas en la estación climatológica

principal de Calana, con la ayuda del programa de ordenador para planificar y manejar el riego CROPWAT versión 5,7 de la FAO, que utiliza el método de Penman.

Los resultados de la ETP en mm/día, se muestran en el cuadro N° 11.

Calculado la ETP y con los valores de los coeficientes de los cultivos (K_c) y la eficiencia de riego 31% del sistema, se ha estimado la demanda bruta de agua en forma mensual, para la cédula actual (cuadro N° 12).

Realizando un comparativo de las demandas mensuales totales y la disponibilidad de agua del río Caplina se observa que existe un déficit de agua acentuado entre los meses de Octubre a Enero, como se puede apreciar en el cuadro N° 13 del balance hídrico para la situación actual.

CUADRO N° 10

DESCARGAS MEDIAS MENSUALES RIO CAPLINA (m³/sg)

ESTACION : AGUAS CALIENTES DPTO. : TACNA LONG. : 70° 07' W
 CATEG. : LIMNIGRAFICA PROV. : TACNA LAT. : 17° 51' S
 CUENCA : CAPLINA DIST. : CALANA ALT. : 1300 m.s.n.m.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1951	1.310	1.740	1.900	0.630	0.610	0.510	0.480	0.500	0.510	0.590	0.588	0.646
1952	3.060	1.700	0.900	0.800	0.820	0.770	0.730	0.720	0.940	0.710	0.740	0.720
1953	1.050	2.870	3.950	0.850	0.790	0.720	0.720	0.670	0.660	0.730	0.740	0.670
1954	0.800	4.760	2.060	1.120	1.040	0.920	0.840	0.830	0.770	0.700	0.820	0.850
1955	2.040	2.090	2.330	0.960	1.000	0.840	0.840	0.780	0.760	0.670	0.660	0.780
1956	0.780	0.950	0.790	0.670	0.720	0.650	0.640	0.640	0.610	0.610	0.610	0.660
1957	0.690	0.800	0.890	0.480	0.670	0.740	0.690	0.630	0.720	0.710	0.680	0.990
1958	1.310	0.930	1.370	0.620	0.640	0.640	0.630	0.610	0.620	0.610	0.660	0.620
1959	0.711	0.621	1.150	0.794	0.624	0.619	0.628	0.600	0.603	0.596	0.608	0.675
1960	1.595	1.155	0.731	0.726	0.677	0.602	0.607	0.614	0.610	0.607	0.612	0.695
1961	1.544	2.130	1.043	0.649	0.644	0.643	0.568	0.530	0.545	0.508	0.526	0.724
1962	1.041	1.286	0.753	0.761	0.527	0.498	0.676	0.496	0.549	0.523	0.557	0.583
1963	0.772	1.833	2.069	0.762	0.624	0.593	0.563	0.593	0.635	0.581	0.593	0.619
1964	0.560	0.843	1.047	0.956	0.804	0.793	0.731	0.728	0.648	0.658	0.657	0.559
1965	0.607	1.011	0.683	0.584	0.685	0.644	0.615	0.622	0.660	0.621	0.591	0.598
1966	0.539	0.724	0.701	0.815	0.545	0.526	0.500	0.543	0.534	0.535	0.543	0.519
1967	0.490	0.753	1.015	0.531	0.495	0.693	0.649	0.789	0.719	0.705	0.679	0.685
1968	0.933	1.555	1.665	0.990	0.962	0.945	0.787	0.542	0.617	0.554	0.635	0.642
1969	1.830	3.728	1.378	0.760	0.698	0.767	0.777	0.751	0.607	0.588	0.555	0.608
1970	0.747	0.818	0.711	0.561	0.525	0.523	0.548	0.556	0.556	0.570	0.560	0.568
1971	0.769	1.598	0.872	0.554	0.540	0.564	0.545	0.510	0.524	0.440	0.441	0.472
1972	1.069	1.020	1.024	0.986	0.677	0.584	0.574	0.567	0.561	0.541	0.601	0.613
1973	1.358	2.714	2.304	0.904	0.756	0.694	0.688	0.657	0.576	0.559	0.501	0.509
1974	1.481	1.266	1.262	0.776	0.716	0.734	0.664	0.736	0.697	0.585	0.614	0.555
1975	1.303	2.440	2.879	1.016	0.822	0.728	0.724	0.641	0.615	0.613	0.593	0.910
1976	1.720	3.262	2.284	0.970	0.814	0.754	0.708	0.706	0.735	0.665	0.618	0.653
1977	1.137	2.677	3.888	0.987	0.878	0.818	0.757	0.756	0.669	0.635	0.598	0.613
1978	0.971	1.153	0.694	0.671	0.635	0.668	0.615	0.594	0.569	0.543	0.544	0.529
1979	0.688	0.562	1.186	0.673	0.614	0.630	0.628	0.588	0.567	0.533	0.486	0.566
1980	0.573	0.533	0.798	0.584	0.556	0.550	0.560	0.529	0.486	0.515	0.462	0.444
1981	0.563	1.336	1.097	0.709	0.602	0.593	0.573	0.556	0.542	0.488	0.461	0.488
1982	0.624	0.721	0.646	0.557	0.547	0.590	0.539	0.501	0.505	0.498	0.476	0.514
1983	0.424	0.376	0.440	0.440	0.475	0.476	0.494	0.445	0.464	0.432	0.389	0.407
1984	0.815	1.887	1.490	0.777	0.573	0.585	0.578	0.545	0.444	0.512	0.612	0.544
1985	0.568	4.174	2.134	1.069	0.707	0.640	0.624	0.566	0.529	0.497	0.553	0.624
1986	1.634	2.854	1.723	1.032	0.801	0.742	0.702	0.680	0.598	0.549	0.548	0.626
1987	2.325	1.241	0.789	0.679	0.680	0.671	0.750	0.641	0.574	0.560	0.523	0.501
1988	0.895	0.943	1.053	0.885	0.674	0.644	0.640	0.602	0.544	0.496	0.433	0.496
1989	0.623	3.841	0.932	0.832	0.698	0.619	0.594	0.507	0.523	0.488	0.451	0.402
1990	0.459	0.486	0.541	0.468	0.497	0.534	0.512	0.486	0.431	0.400	0.415	0.676
1991	1.133	0.816	1.258	0.784	0.659	0.693	0.636	0.592	0.491	0.432	0.418	0.405
1992	0.467	0.367	0.355	0.395	0.433	0.492	0.504	0.454	0.386	0.360	0.368	0.443
1993	1.363	0.708	0.973	0.565	0.474	0.458	0.464	0.496	0.393	0.391	0.370	0.456
1994	1.132	2.220	0.740	0.608	0.515	0.542	0.482	0.461	0.417	0.408	0.380	0.474
1995	0.521	0.401	1.585	0.548	0.509	0.483	0.434	0.415	0.390	0.355	0.330	0.646
1996	0.700	1.100	0.700	0.500	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.300	0.300	0.300
1997	1.500	4.700	0.500	0.800	0.600	0.600	0.500	0.600	0.500	0.400	0.400	0.400
1998	3.900	1.290	0.600	0.500	0.500	0.500	0.500	0.600	0.400	0.400	0.400	0.400
1999	0.500	3.400	4.100	2.000	0.800	0.600	0.600	0.500	0.500	0.500	0.495	0.500
2000	1.800	3.700	3.000	1.100	0.800	0.700	0.695	0.600	0.500	0.500	0.500	0.500
PROM	1.108	1.722	1.380	0.768	0.661	0.638	0.618	0.594	0.568	0.539	0.538	0.582
MAX	3.900	4.760	4.100	2.000	1.040	0.945	0.840	0.830	0.940	0.730	0.820	0.990
MIN	0.424	0.367	0.355	0.395	0.400	0.400	0.400	0.400	0.386	0.300	0.300	0.300
75%	0.641	0.825	0.763	0.596	0.547	0.559	0.540	0.525	0.503	0.483	0.451	0.482

FUENTE: Direcciones Regionales de Agricultura (MINAG-OIA)/ PET-Area de Planeamiento Hidraulico

CUADRO N° 11
CALCULO DE LA EVAPORACION POTENCIAL
METODO DE PENMAN

CROPWAT: 24 mayo 2001

ETP Según Penman - Monteith

PAIS : PERU ESTACION : CALANA
 ALTITUD : 875 m.s.n.m. COORDENADAS : 17.56 S.L. 70.11 W.L.

MES	TEMP. (°C)	HUMEDAD (%)	VIENTO (Km/dia)	INSOLAC. (Horas)	RADIACION (MJ/m/dia)	ETP-PenMon (mm/dia)
ENERO	20.3	71	95	6.6	12.9	4.0
FEBRERO	20.6	70	95	7.0	12.8	4.0
MARZO	20.0	72	86	8.1	12.5	3.8
ABRIL	17.9	72	78	7.6	10.2	3.0
MAYO	15.6	78	104	8.2	8.6	2.4
JUNIO	13.7	80	60	7.2	7.1	1.9
JULIO	13.1	81	69	7.6	7.6	2.0
AGOSTO	13.5	77	78	7.4	9.0	2.4
SEPTIEMBRE	14.6	80	86	7.5	11.1	2.9
OCTUBRE	16.1	77	104	8.2	13.1	3.6
NOVIEMBRE	17.6	75	104	8.3	14.0	3.9
DICIEMBRE	19.0	72	104	8.3	14.2	4.2
ANUAL	16.8	75	89	7.7	11.1	1157

ETP Calculado utilizando el program CROPWAT 5.7 de la FAO

**CUADRO N° 12
DEMANDA DE AGUA PARA LA CEDULA DE CULTIVO ACTUAL
SUB-SECTOR DE RIEGO BAJO CAPLINA**

CULTIVO	AREA (Ha)	FACTORES dias/mes ETP(mm/dia)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
			31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
			4.00	4.00	3.80	3.00	2.40	1.90	2.00	2.40	2.90	3.60	3.90	4.20
Olivo	17.4	Kc	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
		Dn(m ³ /s)	0.003	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	0.003
Vid	146.2	Kc	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
		Dn(m ³ /s)	0.037	0.037	0.035	0.028	0.022	0.018	0.019	0.022	0.027	0.034	0.036	0.039
Peral	28.9	Kc	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
		Dn(m ³ /s)	0.010	0.010	0.010	0.008	0.006	0.005	0.005	0.006	0.007	0.009	0.010	0.011
Otros Frutales	81.0	Kc	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
		Dn(m ³ /s)	0.028	0.028	0.027	0.021	0.017	0.013	0.014	0.017	0.020	0.025	0.027	0.030
Alfalfa	195.6	Kc	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
		Dn(m ³ /s)	0.077	0.077	0.073	0.058	0.046	0.037	0.038	0.046	0.056	0.069	0.075	0.081
Maiz Chala	31.8	Kc									0.80	1.05	1.05	1.05
		Dn(m ³ /s)									0.009	0.014	0.015	0.016
Otros Forrajes	7.1	Kc	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
		Dn(m ³ /s)	0.003	0.003	0.003	0.002	0.002	0.001	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	0.003
Eucalipto	24.7	Kc	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
		Dn(m ³ /s)	0.010	0.010	0.010	0.008	0.006	0.005	0.005	0.006	0.007	0.009	0.010	0.011
Otros Forestales	13.8	Kc	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
		Dn(m ³ /s)	0.006	0.006	0.005	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.004	0.005	0.006	0.006
Papa	108.6	Kc							0.40	0.70	1.05	0.85	0.70	
		Dn(m ³ /s)							0.010	0.021	0.038	0.038	0.034	
Maiz Amilaceo	123.5	Kc	0.90	0.80	0.55							0.30	0.70	1.05
		Dn(m ³ /s)	0.051	0.046	0.030							0.015	0.039	0.063
Maiz Choclo	56.3	Kc					0.30	0.70	1.05	1.00				
		Dn(m ³ /s)					0.005	0.009	0.014	0.016				
Aji y Pimiento	21.6	Kc	0.85	0.80	0.75						0.30	0.60	0.95	0.90
		Dn(m ³ /s)	0.009	0.008	0.007						0.002	0.005	0.009	0.009
Tomate	5.2	Kc	0.80	0.60						0.40	0.70	0.90	1.05	0.90
		Dn(m ³ /s)	0.002	0.001						0.001	0.001	0.002	0.002	0.002
Haba y Arveja	39.7	Kc				0.40	0.70	0.90	1.00	0.60				
		Dn(m ³ /s)				0.006	0.008	0.008	0.009	0.007				
Zapallo	14.1	Kc	0.70	1.05	0.80	0.60								0.40
		Dn(m ³ /s)	0.005	0.007	0.005	0.003								0.003
Cebolla	7.8	Kc	1.00	0.70							0.45	0.60	0.90	1.05
		Dn(m ³ /s)	0.004	0.003							0.001	0.002	0.003	0.004
Hortalizas	35.5	Kc	0.75	0.70							0.40	0.70	0.95	0.85
		Dn(m ³ /s)	0.012	0.011							0.005	0.010	0.015	0.015
Flores	14.7	Kc				0.40	0.70	0.95	0.85	0.70				
		Dn(m ³ /s)				0.002	0.003	0.003	0.003	0.003				
Otros Transitorios	18.7	Kc	0.40	0.70	1.05	0.90	0.80	0.60						
		Dn(m ³ /s)	0.003	0.006	0.009	0.006	0.004	0.002						
Demanda Neta Total (m3/s)			0.261	0.257	0.217	0.147	0.124	0.105	0.123	0.151	0.182	0.244	0.288	0.296
Eficiencia de Riego			0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31
Demanda de Agua Total (m3/s)			0.84	0.828	0.699	0.475	0.401	0.339	0.397	0.488	0.587	0.787	0.93	0.954
Area Total (Ha)			741	741	693	602	644	644	732	737	726	849	849	757
Modulo de Riego (lps/Ha)			1.1	1.1	1.0	0.8	0.6	0.5	0.5	0.7	0.8	0.9	1.1	1.3

F UENTE: Elaboracion Propia en base al Plan de Desarrollo Agropecuario Tacna 1995 - 2015

CUADRO N° 13
BALANCE HIDRICO PARA LA SITUACION ACTUAL SUB-SECTOR DE RIEGO BAJO CAPLINA

FACTORES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
Demanda Neta Total (m ³ /s)	0.261	0.257	0.217	0.147	0.124	0.105	0.123	0.151	0.182	0.244	0.288	0.296	0.200
Eficiencia de Riego	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31
Demanda de Agua Total (m ³ /s)	0.840	0.828	0.699	0.475	0.401	0.339	0.397	0.488	0.587	0.787	0.930	0.954	0.644
Area Total (Ha)	741	741	693	602	644	644	732	737	726	849	849	757	726
Modulo de Riego (lps/Ha)	1.1	1.1	1.0	0.8	0.6	0.5	0.5	0.7	0.8	0.9	1.1	1.3	0.9
Rio Caplina al 75% (m3/s)	0.641	0.825	0.763	0.596	0.547	0.559	0.540	0.525	0.503	0.483	0.451	0.482	0.576
Uso poblacional (m3/s)	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050
Disponibilidad Total (m3/s)	0.591	0.775	0.713	0.546	0.497	0.509	0.490	0.475	0.453	0.433	0.401	0.432	0.526
Superavit o Deficit (m3/s)	-0.249	-0.053	0.014	0.071	0.096	0.170	0.093	-0.013	-0.134	-0.354	-0.529	-0.522	-0.118

FUENTE: Elaboracion propia

c. Descripción del sistema de riego caplina

El sistema de riego caplina esta constituido por las siguientes estructuras hidráulicas:

- La bocatoma Calientes es una estructura hidráulica de concreto armado localizada sobre el lecho del río Caplina, a unos 1 250 m.s.n.m., esta bocatoma se encuentra en buenas condiciones a pesar de su dilatada vida útil (construida en 1 958) pero restringida a una capacidad de captación estimada de 1,6 m³/s.
- El canal Caplina construido en 1 958, tiene una capacidad de conducción máxima de 1,45 m³/s, es de sección trapezoide con una longitud total de 29,4 km, los cuales están revestidos con mampostería de piedra. El estado de conservación del canal se considera bueno, salvo en la parte superior a lo largo de todo el canal donde la mampostería de concreto se esta levantando producto probablemente de ataques de concentraciones localizadas de sulfatos y/o de salinidad, asimismo, algunos tramos cortos de su recorrido presentan deterioro principalmente por erosión hídrica debido a la alta velocidad del agua de riego en el canal.
- La red de distribución del sistema de riego Caplina esta compuesto por un total de 50 laterales, 27 pertenecientes a la margen derecha 23 a la margen izquierda. Las capacidades de estos laterales varían entre 100 y 600 l/s, la mayoría de ellos no están revestidos y su estado de conservación es regular; de acuerdo a la información disponible, sólo 9 laterales cuentan con medidores en sus puntos de derivación a partir del canal principal Caplina.

d. Inventario y evaluación del estado de la infraestructura de riego

El inventario físico y la evaluación de la infraestructura de riego, consignado en el Plan de Desarrollo Agropecuario Tacna, 1 995 - 2 015; se aprecia en el cuadro N° 14, observándose las siguientes características:

El canal Caplina de primer orden, evaluado hasta la progresiva 29+400 se inicia en la bocatoma Calientes; y tiene una capacidad estimada de 1,50 m³/s, sirviendo a 1 913 Ha. con 767 usuarios. Este canal esta constituido por 50 tomas que abastecen a una red de 55 km de longitud, de los cuales 10,6 km son revestidos y 44,4 km sin revestir.

Para la estimación de la capacidad máxima del canal, se ha considerado que el tirante alcanzaría el 85 % de la altura total de la caja del canal.

Las eficiencias totales presentadas en el Sistema Caplina son bajas, de acuerdo al Estudio realizado por DESCOCEDP-CEPES entre los años 1989-1990, sobre la base de las evaluaciones de riego, efectuadas por la Dirección de Aguas, muestran que la eficiencia de riego total varía mensualmente entre 22% y el 43%, siendo el promedio mensual de 31 %; esto debido a la longitud de canales laterales no revestidos (considerada dentro de las eficiencias de distribución), y la forma de riego en las parcelas (considerada dentro de las eficiencias de aplicación).

**CUADRO N° 14
INVENTARIO DEL CANAL CAPLINA**

PROGRESIVA	LONGITUD	PENDIENTE	BASE	ALT. CAJA	ANCH. SUP.	TALUD	CAPACIDAD MAXIMA
	(m)	S (%)	b(m)	H (m)	(m)		(m ³ /s)*
0+000			0.80	0.90	1.70	0.5	2.61
0+040	40	1.30	0.80	0.90	1.70	0.5	1.55
0+240	200	0.46	0.80	0.90	1.70	0.5	1.54
0+720	480	0.45	0.50	0.90	1.40	0.5	1.75
1+260	540	1.30	0.50	0.90	1.40	0.5	2.16
1+800	540	2.00	0.70	0.60	1.30	0.5	1.23
2+040	240	1.50	0.90	0.60	1.50	0.5	1.58
2+596	556	1.50	0.90	0.60	1.50	0.5	1.58
3+000	404	1.50	0.90	0.60	1.50	0.5	2.23
4+000	1000	3.00	0.60	0.55	1.15	0.5	1.06
4+554	554	2.00	0.60	0.55	1.15	0.5	0.91
5+920	1366	1.50	0.70	0.50	1.20	0.5	0.87
7+480	1560	1.40	0.70	0.50	1.20	0.5	0.81
8+320	840	1.20	0.65	0.55	1.20	0.5	1.27
9+400	1080	2.50	1.55	1.10	1.55	0.5	5.01
9+620	220	1.50	0.75	0.65	1.40	0.5	1.51
10+630	1010	1.50	0.75	0.65	1.40	0.5	1.74
11+720	1090	2.00	0.75	0.65	1.40	0.5	1.94
12+880	1160	2.50	0.60	0.80	1.40	0.5	2.27
14+920	2040	2.50	0.60	0.80	1.40	0.5	2.03
17+400	2480	2.00	0.60	0.80	1.40	0.5	1.44
19+100	1700	1.00	0.60	0.80	1.40	0.5	2.03
20+660	1560	2.00	0.60	0.80	1.40	0.5	2.03
26+320	5560	2.00	0.50	0.70	1.20	0.5	1.18
26+900	580	1.50	0.50	0.70	1.20	0.5	1.33
27+400	500	1.90	0.50	0.70	1.20	0.5	0.96
28+200	800	1.00	0.50	0.70	1.20	0.5	1.36
29+400	1200	2.00	0.50	0.70	1.20	0.5	1.36

* El caudal maximo se esta estimando con un tirante (y) igual al 85% de la altura de la caja (H)

FUENTE : PET - Plan de Desarrollo Agropecuario Tacna 1995 - 2015

5.5 POBLACIÓN BENEFICIADA

De acuerdo al Censo nacional de población y vivienda de 1 993 , la población total rural beneficiada está constituida por 9 130 personas pertenecientes a los distritos de Tacna, Calana, Pachía y Pocollay; con una tasa de crecimiento promedio anual de 0,6%.

De igual modo a nivel del departamento de Tacna de la población nominalmente censada según sexo el 51,20% (111 808) son hombres y el 48,80% (106 545) mujeres. Dentro de la población de hombres el 32,70% son menores de 15 años, el 64,0% entre 15 a 64 años y el 3,30% de 65 y más años. En la población de mujeres el 33,4% son menores de 15 años, el 63,1% entre 15 a 64 años y el 3,5% de 65 y más años.

5.6 COMERCIALIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

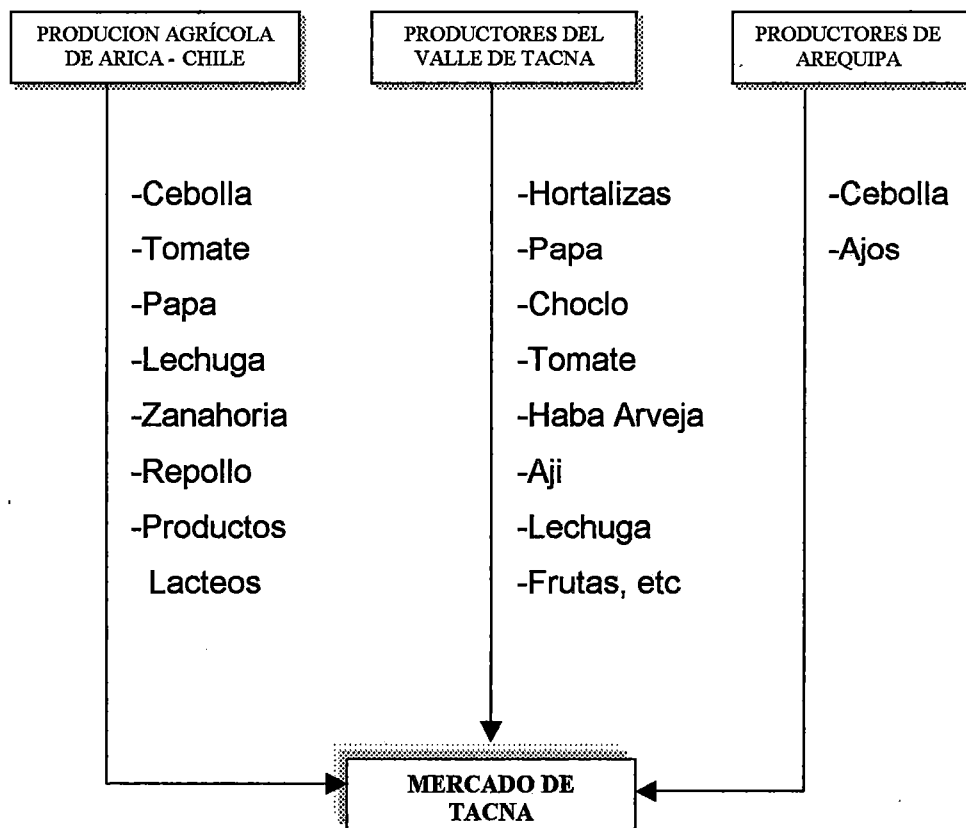
La producción agrícola en el valle de Tacna se efectúa bajo tres líneas de comercialización, de acuerdo al estudio del Plan de desarrollo Agropecuario Tacna, 1 995 - 2 015:

- a) Productos frutihortícolas frescos orientados al mercado local.
- b) Vid y pera orientado hacia mercados extraregionales.
- c) Olivo hacia la industria local.

Un esquema general de abastecimiento de productos agropecuarios a la ciudad de Tacna se muestra en el esquema N° 01.

ESQUEMA N° 01

CENTROS DE ORIGEN DEL ABASTECIMIENTO DE PRODUCTOS AGROPECUARIOS A TACNA



Algunos productos agropecuarios que abastecen a la ciudad de Tacna, que en una considerable proporción, y muchas veces en forma ilegal, proceden de la localidad de Arica - Chile compitiendo deslealmente en precios con la producción local, regional y nacional, como es el caso de la cebolla, tomate, lechuga, papa, repollo, productos lácteos, etc. Otra fuente de origen de productos agropecuarios lo constituye el Valle de Arequipa con productos como el ajo y la cebolla.

5.7 REQUERIMIENTOS AGROCLIMÁTICOS DE LOS CULTIVOS

Si bien es cierto que la influencia del hombre ha sido grande en la distribución de los cultivos, los límites de expansión de la mayoría de plantas cultivadas se deben principalmente a sus requerimientos agroclimáticos, uno de los factores climáticos más importantes que controla el crecimiento de las plantas es la temperatura, debido a que los vegetales pueden desarrollarse dentro de ciertos límites o tolerancias térmicas.

En el cuadro N° 15, se muestran los requerimientos climáticos y edáficos de los cultivos considerados en el área de estudio.

A continuación se describen algunas características climáticas que influyen en el desarrollo de los cultivos considerados en el sub-sector de riego Bajo Caplina:

Frutales

a. Vid

La vid es una planta que necesita de veranos largos, desde tibios hasta calientes, secos e inviernos frescos, no prospera bien en climas con veranos húmedos, debido a su gran susceptibilidad a enfermedades criptogámicas.

En términos generales, el clima de la costa es aparente para el cultivo de la vid, no obstante que las altas temperaturas invernales impiden un adecuado agoste; debe destacarse sin embargo, que en la costa, centro y sur, se encuentran los viñedos más importantes del país debido a factores ecológicos que en estas zonas son más favorables.

CUADRO Nº 15
REQUERIMIENTOS EDAFICOS Y CLIMATICOS DE LOS CULTIVOS

CULTIVOS	ALTITUD m.s.n.m.	TEMP. (°C)		H.R. (%)	TEXTURAS	DIF. EFECTI (cm)	DRENAJE	PH OPTIMO
		MIN.	MAX.					
FRUTALES								
Vid	0 - 2000	15	28	60 - 75	L - M	80	Bueno	5.5 - 7.0
Durazno	0 - 2000	10	25	60 - 75	M - MF	85	Bueno	6.6 - 7.5
FORRAJEROS								
Alfalfa	0 - 3500	12	26	60 - 70	L - M - MF	50	Bueno	6.5 - 7.5
Maiz Chala	0 - 2000	15	22	60 - 70	L - M	30	Bueno	6.5 - 7.5
TRANSITORIOS								
Papa	0 - 3500	10	30	60 - 70	L - M	60	Bueno	5.5 - 6.8
Maiz	0 - 3000	10	30	60 - 70	M - MF	70	Bueno	6.5 - 7.5
Aji	0 - 2200	18	30	50 - 60	M - MF	60	Bueno	5.5 - 7.0
Tomate	0 - 700	20	25	50 - 70	L - M	40	Bueno	6.0 - 7.0
Haba	0 - 3000	10	21	50 - 60	L - M	50	Bueno	5.5 - 7.5
Zapallo	200 - 2000	15	25	50 - 60	L - M	40	Bueno	5.5 - 7.0
Cebolla	0 - 800	15	22	60 - 70	L - M	40	Bueno	5.8 - 6.5
Hortalizas	0 - 3200	10	30	50 - 60	L - M	40	Bueno	6.0 - 7.0

L - M = TEXTURA LIGERA (ARENA FRANCA, FRANCO ARENOSA)

M - MF = TEXTURA MEDIA (FRANCO LIMOSO) A MODERADAMENTE FINA (FRANCO ARCILLOSO, LIMOSO A FRANCO ARENOSA)

L - M - MF = TEXTURAS LIGERAS, MEDIAS Y MEDIANAMENTES FINAS

FUENTE: Direcciones Regionales de Agricultura / MINAG-OIA

La presencia de lluvias durante la fructificación constituye un factor limitante, que generalmente ocasiona pudrición de los racimos.

Otros factores, tales como humedad relativa óptima entre 60 y 75%, latitud, altitud, vientos y duración de la luz solar, también tienen sus efectos en el desarrollo del cultivo, pero en menor grado que la cantidad total de calor, así el cultivo prospera de 8° a 35° de latitud sur en altitudes que van desde pocos metros sobre el nivel del mar hasta los 2 000 m.s.n.m., vientos fuertes al comienzo de la vegetación deben evitarse, además son necesarios suelos ricos en materia orgánica con pH entre 5,5 y 7,0.

b. Durazno

El durazno es un árbol de relativo vigor, más bien de desarrollo mediano, pues librado a un crecimiento natural difícilmente pasa de los cinco metros.

El durazno es más sensible al clima que a la naturaleza del suelo. Es visto que en terrenos pobres, siempre que sean permeables, profundos y cálidos, vegeta regularmente.

Su clima ideal está representado por un clima cálido o templado sin cambios bruscos.

El durazno requiere mucho calor y abundante luz para madurar y colorear sus frutos. Las corrientes frías así como los violentos saltos de temperatura en primavera perjudican la floración y el desarrollo normal de las ramas.

Cultivos transitorios

a. Papa

La papa es una planta herbácea anual, de la familia de las solanáceas. La papa resiste fríos de 5 y 6 grados bajo cero cuando el descenso de temperatura es lento; si es rápido muere ya a los 2°C. En el Perú la papa crece en climas templados, algo húmedos, sin heladas. La papa se cultiva en casi todas las altitudes, las zonas llanas y bajas producen papa para el consumo; las altas, para la siembra.

Los suelos más adecuados para el sombrero de la papa son los sueltos, profundos y permeables, arcilloalcalinos o arcillosilíceos.

En éstos se obtienen elevados rendimientos y excelente calidad de tubérculo. En suelos húmedos la papa es atacada por enfermedades criptogámicas, los tubérculos son acuosos y se pudren con facilidad; en las secas la producción es reducida y las papas pequeñas.

Las variedades de papa que se siembra en los valles del Departamento de Tacna son la Revolución, Tomasa, Tito Condemayta, CICA y Mariva.

La papa en el valle de Tacna se siembra en los meses de marzo a julio, en altitudes desde los 0, a 3 500 m.s.n.m. con temperaturas entre 10 - 30 °C, soportando precipitaciones entre los 500 - 1 200 mm/año.

b. Maíz amarillo duro

Es un cultivo tropical que no resiste heladas. Pero por su cultivo se considera como anual, y según exigencias climáticas óptimas para el cultivo en las regiones tropicales, implica una cantidad

limitada de lluvias al principio del ciclo vegetativo y luego una disminución gradual hasta el tiempo de cosecha, requiere luminosidad abundante durante todo el ciclo.

Se recomienda valores de temperaturas de 10 y 30 °C, pues con temperaturas altas los rendimientos son bajos.

El maíz se desarrolla mejor en suelos bien drenados y fértiles, en regiones con temperaturas de verano moderadamente elevadas, noches cálidas y lluvia adecuada y bien distribuida durante la estación de crecimiento. El cultivo se da mejor en terrenos arcillosos rojizos bien aireados y profundos, que contengan abundante materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio. La temperatura, la duración de la estación adecuada para el crecimiento y la del día, influyen considerablemente en la producción de maíz.

c. Ají

Es una planta anual, bi y hasta trianual, normalmente cultivada como anual. El fruto es una baya aunque son frecuentes las variedades provistas de pulpa algo jugosa.

El ají es una planta típica de clima cálido adaptado al templado cálido la temperatura para su óptimo desarrollo vegetativo se halla comprendido entre los 18°C a 30 °C. En nuestra Costa debe sembrársele a fines de invierno o comienzos de Primavera, a fin de que complete su desarrollo vegetativo en plena estación de verano.

Suelos profundos y fértiles con sub-suelo permeable bien drenado, ya que la humedad permanente le es muy perjudicial por las enfermedades a que puede dar lugar; de reacción no ácida, sí neutra o ligeramente alcalina.

Con respecto a su tolerancia al contenido de sales en el suelo, se le considera "medianamente tolerante" (10 a 4 milimhos por cm).

Este cultivo está considerado entre los más rentables de la sub-región Tacna, por la demanda existente en el mercado externo.

La época de siembra del ají se inicia en agosto y concluye en diciembre, mientras que la cosecha se inicia en enero y finaliza en el mes de junio. El ají se cultiva hasta altitudes de 2 200 m.s.n.m.

d. Tomate

El tomate es una planta solanácea herbácea, de ámbito de crecimiento decumbente y guiador.

Se cultiva en climas: cálido, templado, subtropical y tropical; se puede cultivar en toda la costa peruana llegando hasta los 700 m.s.n.m. como altura óptima, la temperatura ideal oscila entre 15° C a 25° C, con humedad relativa de 50% a 70%; es un cultivo sensible a las heladas, medianamente tolerable a la salinidad, con pH de 6,0 a 7,0 y un requerimiento de materia orgánica mayor de 1,5%.

e. Haba

El Haba es una leguminosa anual, sus vainas verdes son muy agradables, el grano seco es utilizado como harina y la planta como forraje al estado tierno o seco y también como abono verde.

El haba por lo general es de lugares de clima frío y seco, aunque prefiere los climas templados cálidos. No tolera los cambios bruscos de temperatura. Es sensible a las heladas. Puede

soportar temperaturas hasta - 4 °C, pereciendo entre -5 °C y -7 °C. Para el proceso de germinación el haba requiere una temperatura de 6 °C como mínimo. Para la floración los requerimientos son de 10 °C y para la fructificación 16 °C.

No son exigentes en tipo de suelo pero no conviene sembrar en suelos ácidos húmedos y arcillosos o pesados. Se recomienda sembrar en suelos sueltos y ricos en materia orgánica deben ser franco-arenoso calizos y de alto contenido de fósforo. Los suelos aluviales son muy buenos para cultivar habas, especialmente si están bien aireados.

f. Zapallo

El zapallo es una cucurbitácea. La variedad macre es un cultivo propio de climas cálidos y templados. La temperatura óptima para su crecimiento y desarrollo está entre 15 y 25 °C.

Es susceptible a la humedad alta en el ambiente.

En la costa central se puede se puede sembrar todo el año; pero las mejores cosechas se obtienen en las siembras a inicios de otoño (abril) e inicios de primavera (septiembre).

En el mercado, los precios más altos se consiguen entre febrero y mayo por la poca oferta existente.

Los precios más bajos ocurren entre Julio y Octubre.

g. Cebolla

La cebolla es una planta bulbosa, vegeta bien en climas templados y templado-cálido, produciéndose mejor en regiones o zonas de estaciones de Verano e Invierno bien marcados o

diferenciados, lo mismo en cuanto a ambiente húmedo y seco bien diferidos. El rango de temperatura para la Cebolla esta entre los 15 a 22 °C, una humedad de 60 a 70% y altitudes hasta los 800 m.s.n.m.

Sus primeras etapas vegetativas no requieren mucho calor pero si gran humedad; más tarde, y hasta su etapa final, mucho calor, luminosidad, aire seco a la vez que humedad en el suelo. Muestra gran sensibilidad a la sombra.

Es posible el cultivo de Cebolla en la casi totalidad de los suelos de diverso tipo, prefiriendo los de textura suelta, silicosa, areno limoso y desde luego, los fértiles aunque no sean profundos.

Le son francamente adversos, los terrenos compactos, duros, arcillosos y los permanentemente húmedos. Igualmente, la Cebolla es bastante sensible a la acidez del suelo.

h. Hortalizas

La fotosíntesis se activa en las plantas sólo si sus estomas foliares están abiertos, lo cual se da siempre que las células de la planta permanezcan turgentes, esto implica una pérdida de agua por evaporación (transpiración).

Esta transpiración es más intensa cuanto más intensa es la radiación solar captada por la planta.

Los rangos de temperatura para el normal crecimiento de las especies de hortalizas es muy variado así:

<u>Hortalizas</u>	<u>Rango de temperatura</u>
- Ajo, patata, puerro	13 - 24 °C
- Repollo, coliflor, apio, lechuga	15 - 24 °C
- Remolacha, cebolla, zanahoria, calabaza, frijol	15 - 27 °C
- Cebolletas, pepino	15 - 29 °C
- Judia, perejil, tomate, pimiento	15 - 30 °C
- Frijol	18 - 20 °C
- Berenjena, sandía	20 - 34 °C

Según la duración del día las hortalizas se pueden clasificar en:

Plantas de días cortos que son en general plantas de origen tropical cuya floración se da al final de la estación lluviosa.

Plantas indiferentes, que pueden producir sus órganos reproductores en cualquier estación.

Plantas de días largos, son plantas de regiones templadas cuya floración o tuberización se dan en verano.

Cultivos forrajeros

a. Alfalfa

La alfalfa es una planta forrajera que prospera bien desde el nivel del mar hasta los 3 500 m.s.n.m., según el hábito vegetativo y potencia de adaptación de algunas variedades e híbridos seleccionados de esta planta.

Esta leguminosa corresponde a cultivos plurianuales, por lo tanto son plantas que necesitan frío para completar su desarrollo.

La alfalfa, a pesar de ser resistente a la sequía, no prospera sin riego en clima con primavera seca o verano seco, es más bien resistente al frío.

La temperatura necesaria para el cultivo varía entre 12 °C a 26 °C en la costa, en caso de cultivarse en zonas más frías, se recomienda variedades de sierra, adaptable a más de 2 500 m.s.n.m., sembrándose durante el inicio de los meses de frío, la humedad relativa óptima es de 60% a 70%, siendo medianamente tolerante a suelos salinos.

5.8 CULTIVOS PROPUESTOS

Los cultivos propuestos se han seleccionado en base a su adecuación al clima, demanda del producto en el mercado y rentabilidad económica.

Los variables asignadas a los cultivos propuestos para los casos sin rotación con rotación de cultivos son las siguientes:

Sin rotación de cultivos:

VARIABLE (Ha)	CULTIVO
X1	Vid negra corriente
X2	Durazno
X3	Alfalfa
X4	Maíz chala
X5	Papa
X6	Maíz choclo
X7	Ají
X8	Tomate
X9	Haba/arv. G.V.
X10	Zapallo
X11	Cebolla
X12	Hortalizas

Con rotación de cultivos:

VARIABLE (Ha)	CULTIVO
X1	Vid negra corriente
X2	Durazno
X3	Alfalfa
X4	Tomate - Maíz choclo
X5	Tomate - Maíz chala
X6	Tomate - Hortalizas
X7	Haba/arv. - Hortal
X8	Haba/arv. - Cebolla
X9	Papa - Maíz choclo
X10	Papa - Maíz chala
X11	Papa - Aji
X12	Hortal. - M. Choclo
X13	Hortal. - M. Chala
X14	Hortal. - Hortal
X15	Cebolla - Tomate
X16	Zapallo - M. Chala
X17	Cebolla - M. Chala

El calendario de siembra y cosecha de los cultivos propuestos para las condiciones sin rotación y con rotación de cultivos se muestra en los cuadros N° 16 y 17.

5.9 FUNCIÓN OBJETIVO

La función objetivo ha sido definida mediante la sumatoria de los productos de los Valores Netos de la Producción (VNP_i) y el área correspondiente a cada cultivo (variable X_i)

$$\text{Maximizar: } \Sigma (\text{VNP}_i X_i)$$

a. Rentabilidad económica

Costos de producción

Los costos de producción de los cultivos considerados para el modelo se han tomado del Plan de Desarrollo Agropecuario Tacna 1 995 - 2 015 elaborado por el PET, los cuales se encuentran compuestos por costos directos (mano de obra, tracción mecánica insumos, transporte e imprevistos) y Costos indirectos (administrativos) como el 8% de los costos directos. Los análisis de costos unitarios expresados en US\$/Ha, se muestran en el Anexo N° 3 y un resumen de ellos en el cuadro N° 18.

Valor Neto de la Producción

El Valor Neto de la Producción (VNP) ha sido obtenido restando el Valor Bruto de la Producción (VBP) menos el Costo de Producción de cada cultivo. El Valor Bruto de la Producción (VBP) se obtiene multiplicando el rendimiento del cultivo y su precio respectivo.

Los resultados se muestran en el cuadro N° 18 en el cual se puede observar que los cultivos más rentables son el ají, la vid y la alfalfa; mientras que los menos rentables son el maíz choclo y el haba/arveja.

CUADRO N° 18
DETERMINACION DEL VALOR NETO DE LA PRODUCCION DE CULTIVOS CONSIDERADOS

CULTIVOS	RENDTO. (TM/Ha)	Precio (US\$/Kg)	VALOR BRUTO PRODUCCION (US\$/Ha)	COSTO PRODUCCION (US\$/Ha)	VALOR NETO PRODUCCION (US\$/Ha)	RELACION B/C
FRUTALES						
Vid	6.74	0.30	2022	1042	980	1.94
Durazno	5.00	0.30	1500	741	759	2.02
FORRAJEROS						
Alfalfa	62.05	0.02	1241	359	882	3.45
Maiz Chala	35.65	0.04	1426	579	847	2.46
TRANSITORIOS						
Papa	13.14	0.27	3548	2779	768	1.28
Maiz Amilaceo	2.29	0.29	663	1013	-351	0.65
Maiz Choclo	6.75	0.15	1012	843	169	1.20
Maiz Amarillo	2.82	0.25	705	953	-248	0.74
Aji	7.16	0.30	2148	1071	1077	2.01
Tomate	12.16	0.13	1580	1367	213	1.16
Haba/Arveja G.V.	4.13	0.25	1032	846	186	1.22
Zapallo	10.10	0.16	1616	1157	459	1.40
Cebolla	12.50	0.15	1875	1314	561	1.43
Hortalizas	8.94	0.15	1341	936	405	1.43

FUENTE : Elaboracion Propia

La función objetivo que maximiza los beneficios de la Producción (en dólares) de los modelos es representada por las siguientes ecuaciones:

Sin rotación de cultivos:

MAXIMIZAR: $980 X1 + 759 X2 + 882 X3 + 847 X4 +$
 $768 X5 + 169 X6 + 1077 X7 + 213 X8 +$
 $186 X9 + 459 X10 + 561 X11 + 405 X12$

Con rotación de cultivos:

MAXIMIZAR: $980 X1 + 759 X2 + 882 X3 + 382 X4 +$
 $1060 X5 + 618 X6 + 591 X7 + 747 X8 +$
 $937 X9 + 1615 X10 + 1845 X11 + 574 X12 +$
 $1252 X13 + 810 X14 + 774 X15 + 1408 X16 +$
 $1306 X17$

5.10 RESTRICCIONES DEL MODELO

Las restricciones tomadas en consideración para los modelos de optimización de la Cédula de cultivo del sub-sector de riego Bajo Caplina se describen a continuación:

a. Agua

La restricción del agua es la sumatoria del producto del volumen de agua expresado en m³/mes-Ha y el área de cada cultivo (Ha), esta sumatoria debe ser menor o igual al volumen de agua disponible del mes correspondiente. Considerando los doce meses del año se tendrá doce restricciones de este tipo.

Disponibilidad:

La disponibilidad de agua para el sub-sector de riego Bajo Caplina para los fines de restricción se ha definido como la suma de las descargas del río caplina al 75 % de persistencia, menos la demanda poblacional ($0,050 \text{ m}^3/\text{s}$) y las condiciones de aporte y no aporte de la derivación Uchusuma del Proyecto Vilavilani II etapa, según el Estudio Hidrológico y simulación elaborado por el PET. La disponibilidad de agua para uso agrícola del sub-sector de riego Bajo Caplina se observa en el cuadro N° 19.

Demanda

La demanda bruta de agua de los cultivos considerados ha sido elaborada teniendo en cuenta la condición actual de un 31 % de eficiencia de riego y las proyecciones del Plan de Desarrollo Agropecuario Tacna 1 995 - 2 015, en la cual se espera una eficiencia de riego de 46% con el sistema de riego por gravedad mejorado. Las demandas brutas calculadas en $\text{m}^3/\text{mes-ha}$, con eficiencias de 46 % y 31 % en forma mensual para los casos de cédulas sin rotación de cultivos, y con rotación de cultivos se muestran en los cuadros N° 20,21,22 y 23.

CUADRO N° 19
DISPONIBILIDAD HIDRICA PARA USO AGRICOLA CON Y SIN DERIVACION UCHUSUMA

N°	FACTORES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	Derivacion Uchusuma (m ³ /s) * 1997	0.000	0.000	0.000	0.030	0.203	0.221	0.215	0.275	0.355	0.480	0.750	0.751
2	Derivacion Uchusuma (m ³ /s) * 2000	0.491	0.433	0.277	0.399	0.392	0.361	0.377	0.310	0.291	0.480	0.754	0.744
3	Derivacion Uchusuma (m ³ /s) * 2005	0.526	0.230	0.000	0.201	0.291	0.330	0.384	0.443	0.493	0.498	0.757	0.743
4	Derivacion Uchusuma (m ³ /s) * 2010	0.000	0.000	0.000	0.030	0.156	0.253	0.258	0.295	0.369	0.480	0.751	0.743
5	Derivacion Uchusuma (m ³ /s) * 2015	0.000	0.000	0.000	0.119	0.246	0.326	0.349	0.360	0.362	0.476	0.757	0.749
6	Promedio Deriv. Uchusuma (m ³ /s) 1997-2015	0.203	0.133	0.055	0.156	0.258	0.298	0.317	0.337	0.374	0.483	0.754	0.746
7	Desc. Rio Caplina al 75% de persistencia (m ³ /s)	0.641	0.825	0.763	0.596	0.547	0.559	0.540	0.525	0.503	0.483	0.451	0.482
8	Uso Poblacional (m ³ /s) *	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050
9	Disponibilidad con aporte Deriv. Uchusuma (m ³ /s)	0.794	0.908	0.768	0.702	0.755	0.807	0.807	0.812	0.827	0.916	1.155	1.178
10	Disponibilidad con aporte Deriv. Uchusuma (m ³ /mes)	2127721	2195666	2058083	1879701	2021121	2092262	2160397	2173789	2143584	2452879	2993242	3155155
11	Disponibilidad sin aporte Deriv. Uchusuma (m ³ /s)	0.591	0.775	0.713	0.546	0.497	0.509	0.490	0.475	0.453	0.433	0.401	0.432
12	Disponibilidad sin aporte Deriv. Uchusuma (m ³ /mes)	1582934	1874880	1909699	1462406	1331165	1319328	1312416	1272240	1174176	1159747	1039392	1157069

* Estudio Hidrologico, PET

FUENTE : Elaboracion propia

CUÁDRO Nº 20
DEMANDA DE AGUA PARA LA CEDULA SIN ROTACION DE CULTIVOS
SUB-SECTOR DE RIEGO BAJO CAPLINA

Eficiencia de Riego

0.46

CULTIVO	FACTORES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
	dias/mes	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
	ETP(mm/dia)	4.00	4.00	3.80	3.00	2.40	1.90	2.00	2.40	2.90	3.60	3.90	4.20
1) Vid	Kc	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
	Uc(mm/dia)	2.20	2.20	2.09	1.65	1.32	1.05	1.10	1.32	1.60	1.98	2.15	2.31
	Dn(m ³ /mes-Ha)	682	616	647.9	495	409.2	313.5	341	409.2	478.5	613.8	643.5	716.1
	Db(m ³ /mes-Ha)	1483	1339	1408	1076	889.6	681.5	741.3	889.6	1040	1334	1399	1557
2) Durazno	Kc	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
	Uc(mm/dia)	3.00	3.00	2.85	2.25	1.80	1.43	1.50	1.80	2.18	2.70	2.93	3.15
	Dn(m ³ /mes-Ha)	930	840	883.5	675	558	427.5	465	558	652.5	837	877.5	976.5
	Db(m ³ /mes-Ha)	2022	1826	1921	1467	1213	929.3	1011	1213	1418	1820	1908	2123
3) Alfalfa	Kc	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
	Uc(mm/dia)	3.40	3.40	3.23	2.55	2.04	1.62	1.70	2.04	2.47	3.06	3.32	3.57
	Dn(m ³ /mes-Ha)	1054	952	1001	765	632	485	527	632	740	949	995	1107
	Db(m ³ /mes-Ha)	2291	2070	2177	1663	1375	1053	1146	1375	1608	2062	2162	2406
4) Maiz Chala	Kc									0.8	1.05	1.05	1.05
	Uc(mm/dia)									2.32	3.78	4.10	4.41
	Dn(m ³ /mes-Ha)									696	1172	1229	1367
	Db(m ³ /mes-Ha)									1513	2547	2671	2972
5) Papa	Kc				0.40	0.70	1.05	0.85	0.70				
	Uc(mm/dia)				1.20	1.68	2.00	1.70	1.68				
	Dn(m ³ /mes-Ha)				360	521	599	527	521				
	Db(m ³ /mes-Ha)				783	1132	1301	1146	1132				
6) Maiz Chocho	Kc									0.3	0.7	1.05	1
	Uc(mm/dia)									0.87	2.52	4.10	4.20
	Dn(m ³ /mes-Ha)									261	781	1229	1302
	Db(m ³ /mes-Ha)									567	1698	2671	2830
7) Aji	Kc	0.85	0.8	0.75						0.3	0.6	0.95	0.9
	Uc(mm/dia)	3.40	3.20	2.85						0.87	2.16	3.71	3.78
	Dn(m ³ /mes-Ha)	1054	896	884						261	669.6	1112	1172
	Db(m ³ /mes-Ha)	2291	1948	1921						567	1456	2416	2547
8) Tomate	Kc				0.4	0.83	1.05	0.9	0.6				
	Uc(mm/dia)				1.20	1.99	2.00	1.80	1.44				
	Dn(m ³ /mes-Ha)				360	618	599	558	446				
	Db(m ³ /mes-Ha)				783	1342	1301	1213	970				
9) Haba y Arveja	Kc				0.4	0.7	0.9	1	0.6				
	Uc(mm/dia)				1.20	1.68	1.71	2.00	1.44				
	Dn(m ³ /mes-Ha)				360	521	513	620	446				
	Db(m ³ /mes-Ha)				783	1132	1115	1348	970				
10) Zapallo	Kc					0.40	0.70	1.05	0.80	0.60			
	Uc(mm/dia)					0.96	1.33	2.1	1.92	1.74			
	Dn(m ³ /mes-Ha)					298	399	651	595	522			
	Db(m ³ /mes-Ha)					647	867	1415	1294	1135			
11) Cebolla	Kc					0.45	0.60	0.90	1.05	1.00	0.70		
	Uc(mm/dia)					1.08	1.14	1.80	2.52	2.90	2.52		
	Dn(m ³ /mes-Ha)					335	342	558	781	870	781		
	Db(m ³ /mes-Ha)					728	743	1213	1698	1891	1698		
12) Hortalizas	Kc			0.40	0.70	0.95	0.85	0.70					
	Dn(m ³ /s)			1.52	2.10	2.28	1.62	1.40					
	Dn(m ³ /mes-Ha)			471	630	707	485	434					
	Db(m ³ /mes-Ha)			1024	1370	1537	1053	943					
Demanda Neta Total (m3/s)		3720	3304	3887	3645	4598	4161	4681	4390	4481	5803	6084	6640
Demanda de Agua Total (m3/s)		8087	7183	8451	7924	9995	9046	10176	9543	9740	12616	13226	14435

F UENTE: Elaboracion Propia

CUADRO Nº 21
DEMANDA DE AGUA PARA LA CEDULA CON ROTACION DE CULTIVOS
SUB-SECTOR DE RIEGO BAJO CAPLINA

Eficiencia de Riego		0.46											
CULTIVO	FACTORES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
	días/mes	31.00	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
	ETP(mm/día)	4.00	4.00	3.80	3.00	2.40	1.90	2.00	2.40	2.90	3.60	3.90	4.20
1) Vid	Kc	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
	Uc(mm/día)	2.20	2.20	2.09	1.65	1.32	1.05	1.10	1.32	1.60	1.98	2.15	2.31
	Dn(m³/mes-Ha)	682	616	648	495	409	314	341	409	479	614	644	716
	Db(m³/mes-Ha)	1483	1339	1408	1076	890	682	741	890	1040	1334	1399	1557
2) Durazno	Kc	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
	Uc(mm/día)	3.00	3.00	2.85	2.25	1.80	1.43	1.50	1.80	2.18	2.70	2.93	3.15
	Dn(m³/mes-Ha)	930	840	884	675	558	428	465	558	653	837	878	977
	Db(m³/mes-Ha)	2022	1826	1921	1467	1213	929	1011	1213	1418	1820	1908	2123
3) Alfalfa	Kc	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
	Uc(mm/día)	3.40	3.40	3.23	2.55	2.04	1.62	1.70	2.04	2.47	3.06	3.32	3.57
	Dn(m³/mes-Ha)	1054	952	1001	765	632	485	527	632	740	949	995	1107
	Db(m³/mes-Ha)	2291	2070	2177	1663	1375	1053	1146	1375	1608	2062	2162	2406
4) Tomate - M. Choclo	Kc	1.00			0.40	0.83	1.05	0.90	0.60		0.30	0.70	1.05
	Uc(mm/día)	4.00			1.20	1.99	2.00	1.80	1.44		1.08	2.73	4.41
	Dn(m³/mes-Ha)	1240			360	618	599	558	446		335	819	1367
	Db(m³/mes-Ha)	2696			783	1342	1301	1213	970		728	1780	2972
5) Tomate - M. Chala	Kc	1.05			0.40	0.83	1.05	0.90	0.60		0.80	1.05	1.05
	Uc(mm/día)	4.20			1.20	1.99	2.00	1.80	1.44		2.88	4.10	4.41
	Dn(m³/mes-Ha)	1302			360	618	599	558	446		893	1229	1367
	Db(m³/mes-Ha)	2830			783	1342	1301	1213	970		1941	2671	2972
6) Tomate - Hortalizas	Kc	0.85	0.70		0.40	0.83	1.05	0.90	0.60		0.40	0.70	0.95
	Uc(mm/día)	3.40	2.80		1.20	1.99	2.00	1.80	1.44		1.44	2.73	3.99
	Dn(m³/mes-Ha)	1054	784		360	618	599	558	446		446	819	1237
	Db(m³/mes-Ha)	2291	1704		783	1342	1301	1213	970		970	1780	2689
7) Haba/arv. - Hortal.	Kc	0.85	0.70		0.40	0.70	0.90	1.00	0.60		0.40	0.70	0.95
	Uc(mm/día)	3.40	2.80		1.20	1.68	1.71	2.00	1.44		1.44	2.73	3.99
	Dn(m³/mes-Ha)	1054	784		360	521	513	620	446		446	819	1237
	Db(m³/mes-Ha)	2291	1704		783	1132	1115	1348	970		970	1780	2689
8) Haba/arv. - Cebolla	Kc	1.05	1.00		0.40	0.70	0.90	1.00	0.60	0.45	0.60	0.90	1.05
	Uc(mm/día)	4.20	4.00		1.20	1.68	1.71	2.00	1.44	1.31	2.16	3.51	4.41
	Dn(m³/mes-Ha)	1302	1120		360	521	513	620	446	392	670	1053	1367
	Db(m³/mes-Ha)	2830	2435		783	1132	1115	1348	970	851	1456	2289	2972
9) Papa - M. Choclo	Kc	1.00			0.40	0.70	1.05	0.85	0.70		0.30	0.70	1.05
	Uc(mm/día)	4.00			1.20	1.68	2.00	1.70	1.68		1.08	2.73	4.41
	Dn(m³/mes-Ha)	1240			360	521	599	527	521		335	819	1367
	Db(m³/mes-Ha)	2696			783	1132	1301	1146	1132		728	1780	2972
10) Papa - M. Chala	Kc	1.05			0.40	0.70	1.05	0.85	0.70		0.80	1.05	1.05
	Uc(mm/día)	4.20			1.20	1.68	2.00	1.70	1.68		2.88	4.10	4.41
	Dn(m³/mes-Ha)	1302			360	521	599	527	521		893	1229	1367
	Db(m³/mes-Ha)	2830			783	1132	1301	1146	1132		1941	2671	2972
11) Papa - Aji	Kc	0.85	0.80	0.75	0.40	0.70	1.05	0.85	0.70	0.30	0.60	0.95	0.90
	Uc(mm/día)	3.40	3.20	2.85	1.20	1.68	2.00	1.70	1.68	0.87	2.16	3.71	3.78
	Dn(m³/mes-Ha)	1054	896	884	360	521	599	527	521	261	670	1112	1172
	Db(m³/mes-Ha)	2291	1948	1921	783	1132	1301	1146	1132	567	1456	2416	2547
12) Hortal. - M. Choclo	Kc	1.00			0.40	0.70	0.95	0.85	0.70		0.30	0.70	1.05
	Uc(mm/día)	4.00			1.20	1.68	1.81	1.70	1.68		1.08	2.73	4.41
	Dn(m³/mes-Ha)	1240			360	521	542	527	521		335	819	1367
	Db(m³/mes-Ha)	2696			783	1132	1177	1146	1132		728	1780	2972
13) Hortal. - M. Chala	Kc	1.05			0.40	0.70	0.95	0.85	0.70		0.80	1.05	1.05
	Uc(mm/día)	4.20			1.20	1.68	1.81	1.70	1.68		2.88	4.10	4.41
	Dn(m³/mes-Ha)	1302			360	521	542	527	521		893	1229	1367
	Db(m³/mes-Ha)	2830			783	1132	1177	1146	1132		1941	2671	2972
14) Hortal. - Hortal.	Kc	0.85	0.70		0.40	0.70	0.95	0.85	0.70		0.40	0.70	0.95
	Uc(mm/día)	3.40	2.80		1.20	1.68	1.81	1.70	1.68		1.44	2.73	3.99
	Dn(m³/mes-Ha)	1054	784		360	521	542	527	521		446	819	1237
	Db(m³/mes-Ha)	2291	1704		783	1132	1177	1146	1132		970	1780	2689
15) Cebolla - Tomate	Kc	0.90	0.60		0.45	0.60	0.90	1.05	1.00	0.70	0.40	0.83	1.05
	Uc(mm/día)	3.60	2.40		1.35	1.44	1.71	2.10	2.40	2.03	1.44	3.24	4.41
	Dn(m³/mes-Ha)	1116	672		405	446	513	651	744	609	446	971	1367
	Db(m³/mes-Ha)	2426	1461		880	970	1115	1415	1617	1324	970	2111	2972
16) Cebolla - M. Chala	Kc	1.05			0.45	0.60	0.90	1.05	1.00	0.70	0.80	1.05	1.05
	Uc(mm/día)	4.20			1.35	1.44	1.71	2.10	2.40	2.03	2.88	4.10	4.41
	Dn(m³/mes-Ha)	1302			405	446	513	651	744	609	893	1229	1367
	Db(m³/mes-Ha)	2830			880	970	1115	1415	1617	1324	1941	2671	2972
17) Zapallo - M. Chala	Kc	1.05				0.40	0.70	1.05	0.80	0.60	0.80	1.05	1.05
	Dn(m3/s)	4.20				0.96	1.33	2.10	1.92	1.74	2.88	4.10	4.41
	Dn(m³/mes-Ha)	1302				298	399	651	595	522	893	1229	1367
	Db(m³/mes-Ha)	2830				647	867	1415	1294	1135	1941	2671	2972
Demanda Neta Total (m3/s)		19530	7448	3416	6705	8809	8892	9362	9040	4263	10993	16708	21353
Demanda de Agua Total (m3/s)		42457	16191	7426.5	14576	19150	19330	20352	19651	9267.4	23897	36321	46419

F UENTE: Elaboracion Propia

CUADRO N° 22
DEMANDA DE AGUA PARA LA CEDULA SIN ROTACION DE CULTIVOS
SUB-SECTOR DE RIEGO BAJO CAPLINA

Eficiencia de Riego

0.31

CULTIVO	FACTORES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
	dias/mes	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
	ETP(mm/dia)	4.00	4.00	3.80	3.00	2.40	1.90	2.00	2.40	2.90	3.60	3.90	4.20
1) Vid	Kc	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
	Uc(mm/dia)	2.20	2.20	2.09	1.65	1.32	1.05	1.10	1.32	1.60	1.98	2.15	2.31
	Dn(m ³ /mes-Ha)	682	616	647.9	495	409.2	313.5	341	409.2	478.5	613.8	643.5	716.1
	Db(m ³ /mes-Ha)	2200	1987	2090	1597	1320	1011	1100	1320	1544	1980	2076	2310
2) Durazno	Kc	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
	Uc(mm/dia)	3.00	3.00	2.85	2.25	1.80	1.43	1.50	1.80	2.18	2.70	2.93	3.15
	Dn(m ³ /mes-Ha)	930	840	883.5	675	558	427.5	465	558	652.5	837	877.5	976.5
	Db(m ³ /mes-Ha)	3000	2710	2850	2177	1800	1379	1500	1800	2105	2700	2831	3150
3) Alfalfa	Kc	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
	Uc(mm/dia)	3.40	3.40	3.23	2.55	2.04	1.62	1.70	2.04	2.47	3.06	3.32	3.57
	Dn(m ³ /mes-Ha)	1054	952	1001	765	632	485	527	632	740	949	995	1107
	Db(m ³ /mes-Ha)	3400	3071	3230	2468	2040	1563	1700	2040	2385	3060	3208	3570
4) Maiz Chala	Kc									0.8	1.05	1.05	1.05
	Uc(mm/dia)									2.32	3.78	4.10	4.41
	Dn(m ³ /mes-Ha)									696	1172	1229	1367
	Db(m ³ /mes-Ha)									2245	3780	3963	4410
5) Papa	Kc				0.40	0.70	1.05	0.85	0.70				
	Uc(mm/dia)				1.20	1.68	2.00	1.70	1.68				
	Dn(m ³ /mes-Ha)				360	521	599	527	521				
	Db(m ³ /mes-Ha)				1161	1680	1931	1700	1680				
6) Maiz Choclo	Kc									0.3	0.7	1.05	1
	Uc(mm/dia)									0.87	2.52	4.10	4.20
	Dn(m ³ /mes-Ha)									261	781	1229	1302
	Db(m ³ /mes-Ha)									842	2520	3963	4200
7) Aji	Kc	0.85	0.8	0.75						0.3	0.6	0.95	0.9
	Uc(mm/dia)	3.40	3.20	2.85						0.87	2.16	3.71	3.78
	Dn(m ³ /mes-Ha)	1054	896	884						261	669.6	1112	1172
	Db(m ³ /mes-Ha)	3400	2890	2850						842	2160	3585	3780
8) Tomate	Kc				0.4	0.83	1.05	0.9	0.6				
	Uc(mm/dia)				1.20	1.99	2.00	1.80	1.44				
	Dn(m ³ /mes-Ha)				360	618	599	558	446				
	Db(m ³ /mes-Ha)				1161	1992	1931	1800	1440				
9) Haba y Arveja	Kc				0.4	0.7	0.9	1	0.6				
	Uc(mm/dia)				1.20	1.68	1.71	2.00	1.44				
	Dn(m ³ /mes-Ha)				360	521	513	620	446				
	Db(m ³ /mes-Ha)				1161	1680	1655	2000	1440				
10) Zapallo	Kc					0.40	0.70	1.05	0.80	0.60			
	Uc(mm/dia)					0.96	1.33	2.1	1.92	1.74			
	Dn(m ³ /mes-Ha)					298	399	651	595	522			
	Db(m ³ /mes-Ha)					960	1287	2100	1920	1684			
11) Cebolla	Kc					0.45	0.60	0.90	1.05	1.00	0.70		
	Uc(mm/dia)					1.08	1.14	1.80	2.52	2.90	2.52		
	Dn(m ³ /mes-Ha)					335	342	558	781	870	781		
	Db(m ³ /mes-Ha)					1080	1103	1800	2520	2806	2520		
12) Hortalizas	Kc			0.40	0.70	0.95	0.85	0.70					
	Dn(m ³ /s)			1.52	2.10	2.28	1.62	1.40					
	Dn(m ³ /mes-Ha)			471	630	707	485	434					
	Db(m ³ /mes-Ha)			1520	2032	2280	1563	1400					
Demanda Neta Total (m3/s)		3720	3304	3887	3645	4598	4161	4681	4390	4481	5803	6084	6640
Demanda de Agua Total (m3/s)		12000	10658	12540	11758	14832	13423	15100	14160	14453	18720	19626	21420

F UENTE: Elaboracion Propia

CUADRO N° 23
DEMANDA DE AGUA PARA LA CEDULA CON ROTACION DE CULTIVOS
SUB-SECTOR DE RIEGO BAJO CAPLINA

Eficiencia de Riego		0.31											
CULTIVO	FACTORES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
	dias/mes	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
	ETP(mm/dia)	4.00	4.00	3.80	3.00	2.40	1.90	2.00	2.40	2.90	3.60	3.90	4.20
1) Vid	Kc	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
	Uc(mm/dia)	2.20	2.20	2.09	1.65	1.32	1.05	1.10	1.32	1.60	1.98	2.15	2.31
	Dn(m ³ /mes-Ha)	682	616	647.9	495	409.2	313.5	341	409.2	478.5	613.8	643.5	716.1
	Db(m ³ /mes-Ha)	2200	1987.1	2090	1596.8	1320	1011.3	1100	1320	1543.5	1980	2075.8	2310
2) Durazno	Kc	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
	Uc(mm/dia)	3.00	3.00	2.85	2.25	1.80	1.43	1.50	1.80	2.18	2.70	2.93	3.15
	Dn(m ³ /mes-Ha)	930	840	884	675	558	428	465	558	653	837	878	977
	Db(m ³ /mes-Ha)	3000	2709.7	2850	2177.4	1800	1379	1500	1800	2104.8	2700	2830.6	3150
3) Alfalfa	Kc	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
	Uc(mm/dia)	3.40	3.40	3.23	2.55	2.04	1.62	1.70	2.04	2.47	3.06	3.32	3.57
	Dn(m ³ /mes-Ha)	1054	952	1001	765	632	485	527	632	740	949	995	1107
	Db(m ³ /mes-Ha)	3400	3071	3230	2467.7	2040	1562.9	1700	2040	2385.5	3060	3208.1	3570
4) Tomate - M. Choclo	Kc	1.00			0.40	0.83	1.05	0.90	0.60		0.30	0.70	1.05
	Uc(mm/dia)	4.00			1.20	1.99	2.00	1.80	1.44		1.08	2.73	4.41
	Dn(m ³ /mes-Ha)	1240			360	618	599	558	446		335	819	1367
	Db(m ³ /mes-Ha)	4000			1161.3	1992	1930.6	1800	1440		1080	2641.9	4410
5) Tomate - M. Chala	Kc	1.05			0.40	0.83	1.05	0.90	0.60		0.80	1.05	1.05
	Uc(mm/dia)	4.20			1.20	1.99	2.00	1.80	1.44		2.88	4.10	4.41
	Dn(m ³ /mes-Ha)	1302			360	617.52	598.5	558	446.4		892.8	1228.5	1367.1
	Db(m ³ /mes-Ha)	4200			1161.3	1992	1930.6	1800	1440		2880	3962.9	4410
6) Tomate - Hortalizas	Kc	0.85	0.70		0.40	0.83	1.05	0.90	0.60		0.40	0.70	0.95
	Uc(mm/dia)	3.40	2.80		1.20	1.99	2.00	1.80	1.44		1.44	2.73	3.99
	Dn(m ³ /mes-Ha)	1054	784		360	618	599	558	446		446	819	1237
	Db(m ³ /mes-Ha)	3400	2529		1161	1992	1931	1800	1440		1440	2642	3990
7) Haba/arv. - Hortal.	Kc	0.85	0.70		0.40	0.70	0.90	1.00	0.60		0.40	0.70	0.95
	Uc(mm/dia)	3.40	2.80		1.20	1.68	1.71	2.00	1.44		1.44	2.73	3.99
	Dn(m ³ /mes-Ha)	1054	784		360	521	513	620	446		446	819	1237
	Db(m ³ /mes-Ha)	3400	2529		1161	1680	1655	2000	1440		1440	2642	3990
8) Haba/arv. - Cebolla	Kc	1.05	1.00		0.40	0.70	0.90	1.00	0.60	0.45	0.60	0.90	1.05
	Uc(mm/dia)	4.20	4.00		1.20	1.68	1.71	2.00	1.44	1.31	2.16	3.51	4.41
	Dn(m ³ /mes-Ha)	1302	1120		360	521	513	620	446	392	670	1053	1367
	Db(m ³ /mes-Ha)	4200	3613		1161	1680	1655	2000	1440	1263	2160	3397	4410
9) Papa - M. Choclo	Kc	1.00			0.40	0.70	1.05	0.85	0.70		0.30	0.70	1.05
	Uc(mm/dia)	4.00			1.20	1.68	2.00	1.70	1.68		1.08	2.73	4.41
	Dn(m ³ /mes-Ha)	1240			360	521	599	527	521		335	819	1367
	Db(m ³ /mes-Ha)	4000			1161.3	1680	1930.6	1700	1680		1080	2641.9	4410
10) Papa - M. Chala	Kc	1.05			0.40	0.70	1.05	0.85	0.70		0.80	1.05	1.05
	Uc(mm/dia)	4.20			1.20	1.68	2.00	1.70	1.68		2.88	4.10	4.41
	Dn(m ³ /mes-Ha)	1302			360	521	599	527	521		893	1229	1367
	Db(m ³ /mes-Ha)	4200			1161.3	1680	1930.6	1700	1680		2880	3962.9	4410
11) Papa - Aji	Kc	0.85	0.80	0.75	0.40	0.70	1.05	0.85	0.70	0.30	0.60	0.95	0.90
	Uc(mm/dia)	3.40	3.20	2.85	1.20	1.68	2.00	1.70	1.68	0.87	2.16	3.71	3.78
	Dn(m ³ /mes-Ha)	1054	896	884	360	521	599	527	521	261	670	1112	1172
	Db(m ³ /mes-Ha)	3400	2890	2850	1161	1680	1931	1700	1680	842	2160	3585	3780
12) Hortal. - M. Choclo	Kc	1.00			0.40	0.70	0.95	0.85	0.70		0.30	0.70	1.05
	Uc(mm/dia)	4.00			1.20	1.68	1.81	1.70	1.68		1.08	2.73	4.41
	Dn(m ³ /mes-Ha)	1240			360	521	542	527	521		335	819	1367.1
	Db(m ³ /mes-Ha)	4000			1161.3	1680	1746.8	1700	1680		1080	2641.9	4410
13) Hortal. - M. Chala	Kc	1.05			0.40	0.70	0.95	0.85	0.70		0.80	1.05	1.05
	Uc(mm/dia)	4.20			1.20	1.68	1.81	1.70	1.68		2.88	4.10	4.41
	Dn(m ³ /mes-Ha)	1302			360	521	542	527	521		893	1229	1367
	Db(m ³ /mes-Ha)	4200			1161.3	1680	1746.8	1700	1680		2880	3962.9	4410
14) Hortal. - Hortal.	Kc	0.85	0.70		0.40	0.70	0.95	0.85	0.70		0.40	0.70	0.95
	Uc(mm/dia)	3.40	2.80		1.20	1.68	1.81	1.70	1.68		1.44	2.73	3.99
	Dn(m ³ /mes-Ha)	1054	784		360	521	542	527	521		446	819	1237
	Db(m ³ /mes-Ha)	3400	2529		1161	1680	1747	1700	1680		1440	2642	3990
15) Cebolla - Tomate	Kc	0.90	0.60		0.45	0.60	0.90	1.05	1.00	0.70	0.40	0.83	1.05
	Uc(mm/dia)	3.60	2.40		1.35	1.44	1.71	2.10	2.40	2.03	1.44	3.24	4.41
	Dn(m ³ /mes-Ha)	1116	672		405	446	513	651	744	609	446	971	1367
	Db(m ³ /mes-Ha)	3600	2168		1306	1440	1655	2100	2400	1965	1440	3133	4410
16) Cebolla - M. Chala	Kc	1.05			0.45	0.60	0.90	1.05	1.00	0.70	0.80	1.05	1.05
	Uc(mm/dia)	4.20			1.35	1.44	1.71	2.10	2.40	2.03	2.88	4.10	4.41
	Dn(m ³ /mes-Ha)	1302			405	446	513	651	744	609	893	1229	1367
	Db(m ³ /mes-Ha)	4200			1306	1440	1655	2100	2400	1965	2880	3963	4410
17) Zapallo - M. Chala	Kc	1.05				0.40	0.70	1.05	0.80	0.60	0.80	1.05	1.05
	Dn(m ³ /s)	4.20				0.96	1.33	2.10	1.92	1.74	2.88	4.10	4.41
	Dn(m ³ /mes-Ha)	1302				298	399	651	595	522	893	1229	1367
	Db(m ³ /mes-Ha)	4200				960	1287	2100	1920	1684	2880	3963	4410
Demanda Neta Total (m3/s)		19530	7448	3416	6705	8809	8892	9362	9040	4263	10993	16708	21353
Demanda de Agua Total (m3/s)		63000	24026	11020	21629	28416	28684	30200	29160	13752	35460	53895	68880

FUENTE: Elaboracion Propia

b. Mano de obra

Según el censo de población y vivienda de 1 993 la población urbana entre 20 a 24 años de edad se estima en 22 239 personas. Este dato se ha tomado como restricción de la disponibilidad de mano de obra para la producción de los cultivos. El requerimiento de mano de obra para los casos de cédulas sin rotación de cultivos y con rotación de cultivos se muestra en los cuadros N° 24 y 25.

c. Mercado

Las superficies de cultivo por restricciones de mercado es la cantidad máxima a sembrarse en hectáreas y ha sido determinado en el Plan de Desarrollo Agropecuario Tacna 1 995 - 2 015, considerando las demandas local, regional e industrial y la no saturación del mercado interno y por el contrario obtener una adecuada rentabilidad(Ver cuadro N°26).

CUADRO N° 24
REQUERIMIENTOS DE MANO DE OBRA PARA CEDULA SIN ROTACION DE CULTIVOS
(jornales/Ha)

N°	CULTIVO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	Vid	20	23	14	9	8	7	10	16	8	9	17	8	149
2	Durazno	13	15	12	5	4	4	5	7	5	4	11	10	95
3	Alfalfa	4	4	2	4	3	2	4	3	2	3	2	2	35
4	Maiz Chala	0	0	0	0	0	0	0	0	13	13	17	16	59
5	Papa	0	0	0	41	37	29	34	32	0	0	0	0	173
6	Maiz Choclo	0	0	0	0	0	0	0	0	29	33	19	29	110
7	Aji	18	26	26	0	0	0	0	0	28	28	25	19	170
8	Tomate	0	0	0	29	28	20	39	38	0	0	0	0	154
9	Haba/Arveja	0	0	0	21	20	16	21	20	0	0	0	0	98
10	Zapallo	0	0	0	0	28	26	19	21	38	0	0	0	132
11	Cebolla	0	0	0	0	40	34	27	21	36	40	0	0	198
12	Hortalizas	0	0	23	21	22	45	46	0	0	0	0	0	157

FUENTE : Elaboracion Propia

CUADRO N° 25
REQUERIMIENTOS DE MANO DE OBRA PARA CEDULA CON ROTACION DE CULTIVOS
(jornales/Ha)

N°	CULTIVO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	Vid	20	23	14	9	8	7	10	16	8	9	17	8	149
2	Durazno	13	15	12	5	4	4	5	7	5	4	11	10	95
3	Alfalfa	4	4	2	4	3	2	4	3	2	3	2	2	35
4	Tomate - M. Choclo	29	0	0	29	28	20	39	38	0	29	33	19	264
5	Tomate - M. Chala	16	0	0	29	28	20	39	38	0	13	13	17	213
6	Tomate - Hortalizas	45	46	0	29	28	20	39	38	0	23	21	22	311
7	Haba/arv. - Hortal.	45	46	0	21	20	16	21	20	0	23	21	22	255
8	Haba/arv. - Cebolla	36	40	0	21	20	16	21	20	40	34	27	21	296
9	Papa - M. Choclo	29	0	0	41	37	29	34	32	0	29	33	19	283
10	Papa - M. Chala	16	0	0	41	37	29	34	32	0	13	13	17	232
11	Papa - Aji	18	26	26	41	37	29	34	32	28	28	25	19	343
12	Hortal. - M. Choclo	29	0	0	23	21	22	45	46	0	29	33	19	267
13	Hortal. - M. Chala	16	0	0	23	21	22	45	46	0	13	13	17	216
14	Hortal. - Hortal.	45	46	0	23	21	22	45	46	0	23	21	22	314
15	Cebolla - Tomate	39	38	0	40	34	27	21	36	40	29	28	20	352
16	Cebolla - M. Chala	16	0	0	40	34	27	21	36	40	13	13	17	257
17	Zapallo - M. Chala	16	0	0	0	28	26	19	21	38	13	13	17	191

FUENTE : Elaboracion Propia

CUADRO N° 26

MAXIMO DE HECTAREAS DE CULTIVOS POR

RESTRICCION DE MERCADO

CULTIVOS	Max. Ha.	CULTIVOS	Max. Ha.
Vid negra corriente	120	Ají	125
Durazno	80	Tomate	200
Alfalfa	190	Haba/arveja G.V.	150
Maíz chala	40	Zapallo	50
Papa	260	Cebolla	130
Maíz choclo	110	Hortalizas	190

d. Suelo

La restricción de suelo es la sumatoria de todas las áreas, de los diferentes cultivos a sembrarse y debe ser menor o igual al área disponible de terreno.

La disponibilidad de suelo existente en el sub-sector de riego Bajo Caplina que se utiliza como restricción según el Padrón de regentes del Ministerio de Agricultura es el área regable de 1 292 ha menos el área de cultivos forestales (39 ha), cuyo valor es de 1253 ha. esta área como máximo puede duplicar su uso en un año (2 506 ha).

5.11 FORMULACIÓN DEL MODELO

La formulación de los modelos se ha hecho en función de las posibles ocurrencias de demanda y disponibilidad de agua; así como de las consideraciones de rotación de cultivos de la cédula a optimizar. En tal sentido se han planteado ocho modelos de programación lineal (Ver cuadro N°27).

CUADRO N° 27

MODELOS DE PROGRAMACION LINEAL A OPTIMIZAR

MODELO N°	CONDICION	CEDULA
1	Efici.= 46%, con Der. Uchusuma	Sin rotación de cultivo
2	Efici.= 46%, con Der. Uchusuma	Con rotación de cultivo
3	Efici.= 46%, sin Der. Uchusuma	Sin rotación de cultivo
4	Efici.= 46%, sin Der. Uchusuma	Con rotación de cultivo
5	Efici.= 31%, con Der. Uchusuma	Sin rotación de cultivo
6	Efici.= 31%, con Der. Uchusuma	Con rotación de cultivo
7	Efici.= 31%, sin Der. Uchusuma	Sin rotación de cultivo
8	Efici.= 31%, sin Der. Uchusuma	Con rotación de cultivo

5.12 PROGRAMACIÓN LINEAL

Con las funciones objetivo definidas y las restricciones de agua (cuadros N° 19 al 23), requerimiento de mano de obra (cuadros N° 24 y 25), restricción de mercado (cuadro N° 26) y disponibilidad de suelo (2 506 ha.) se plantean las expresiones de programación lineal de los ocho modelos y se presenta en el Anexo N° 4.

VI. RESULTADOS Y DISCUSION

6.1 CÉDULA ÓPTIMA DE CULTIVOS

La solución de los modelos se ha realizado mediante la ejecución del algoritmo de programación lineal de Karmarkar programa en MATLAB.

La solución que nos brinda el algoritmo corresponde a la solución de la cédula optimizada. Esta cédula optimizada representa el máximo beneficio para los usuarios del sub-sector de riego bajo captina, considerando la rentabilidad económica de los cultivos y la asignación equitativa de los recursos (agua, mano de obra, suelo).

El ingreso de los datos y los resultados optimizados para los modelos propuestos se observa en el Anexo N° 5 y un resumen de ellos en los cuadros N° 28 y 29.

Con excepción de los modelos N° 01 y 05, los demás no están utilizando toda el área disponible.

En forma genérica los cultivos mayormente seleccionados por los modelos son:

Frutales

Vid

Durazno

Forrajes

Alfalfa

Maíz chala

Transitorios

Papa

Papa - Aji

Papa - Maíz chala

Papa - Maíz choclo

Hortalizas

Ají

Cebolla

Zapallo

Mientras que los demás cultivos deberán incrementar sus valores netos de producción en una cantidad igual al costo de oportunidad. Sí usamos como criterio de selección las eficiencias de riego y el incremento de la oferta de agua con el proyecto derivación Uchusuma, podemos observar que a medida que se disminuye la eficiencia y la oferta de agua, menores serán las superficies de suelo a cubrir con cultivos, lo que es lógico en la realidad. Igualmente si comparamos los modelos 1 y 5 (eficiencias 46% y 31 % respectivamente), la solución es la misma con 1 303,8 ha. cubiertas para un valor de la función objetivo US\$ 886 593; la diferencia radica en la holgura o sobrante del recurso hídrico que es menor en el modelo 5 por el uso en exceso del agua.

En los cuadros N° 30 y 31 se muestran los volúmenes de producción en toneladas métricas y la utilidad neta en dólares para los modelos optimizados. Efectuando un análisis comparativo se observa que los modelos que ofrecen mayor beneficio de producción son los modelos 1 y 2 con US\$ 886 593 y US\$ 955540; con 1 303,8 Ha. y 937.2 Ha. respectivamente. Por lo tanto se opta por el modelo 2 en razón de tener el mayor beneficio neto de producción.

En el cuadro N° 32 se muestra el balance hídrico para el modelo 2.

CUADRO Nº28

CEDULAS OPTIMIZADAS SIN ROTACION DE CULTIVOS (Ha)

VARIABLES	CULTIVOS	MODELOS			
		1	3	5	7
X1	Vid	120.0	120.0	120.0	120.0
X2	Durazno	80.0	80.0	80.0	0.0
X3	Alfalfa	190.0	190.0	190.0	88.9
X4	Maiz Chala	40.0	2.3	40.0	14.3
X5	Papa	260.0	260.0	260.0	260.0
X6	Maiz Choclo	110.0	0.0	110.0	0.0
X7	Aji	125.0	125.0	125.0	125.0
X8	Tomate	0.0	0.0	0.0	0.0
X9	Haba/Arveja G.V.	102.7	102.7	102.7	0.0
X10	Zapallo	50.0	50.0	50.0	50.0
X11	Cebolla	130.0	130.0	130.0	129.3
X12	Hortalizas	96.1	96.1	96.1	160.9
AREA OPTIMIZADA		1303.8	1156.1	1303.8	948.5
AREA FISICA AGRICOLA		1253.0	1253.0	1253.0	1253.0
UTILIDAD NETA (US\$)		886593	836059	886593	703147

FUENTE: ELABORACION PROPIA

CUADRO Nº29

CEDULAS OPTIMIZADAS CON ROTACION DE CULTIVOS (Ha)

VARIABLES	CULTIVOS	MODELOS			
		2	4	6	8
X1	Vid	120.0	120.0	120.0	120.0
X2	Durazno	80.0	10.2	80.0	0.0
X3	Alfalfa	190.0	190.0	190.0	42.3
X4	Tomate - M. Choclo	0.0	0.0	0.0	0.0
X5	Tomate - M. Chala	0.0	0.0	0.0	0.0
X6	Tomate - Hortalizas	0.0	0.0	0.0	0.0
X7	Haba/arv. - Hortal.	0.0	0.0	0.0	0.0
X8	Haba/arv. - Cebolla	40.0	0.0	0.0	0.0
X9	Papa - M. Choclo	95.0	18.3	0.0	18.1
X10	Papa - M. Chala	40.0	40.0	40.0	40.0
X11	Papa - Aji	125.0	125.0	125.0	125.0
X12	Hortal. - M. Choclo	0.0	0.0	0.0	0.0
X13	Hortal. - M. Chala	0.0	0.0	0.0	0.0
X14	Hortal. - Hortal.	117.1	0.0	113.2	0.0
X15	Cebolla - Tomate	130.0	0.0	0.0	0.0
X16	Cebolla - M. Chala	0.0	0.0	0.0	0.0
X17	Zapallo - M. Chala	0.0	0.0	0.0	0.0
AREA OPTIMIZADA		937.2	503.4	668.2	345.4
AREA FISICA AGRICOLA		1253.0	1253.0	1253.0	1253.0
UTILIDAD NETA (US\$)		955540	605226	732779	467125

FUENTE: ELABORACION PROPIA

CUADRO N°30
VOLUMEN Y UTILIDAD NETA DE LA PRODUCCION DE LAS CEDULAS OPTIMIZADAS SIN ROTACION DE CULTIVOS

VAR.	CULTIVOS	MODELO 1		MODELO 3		MODELO 5		MODELO 7	
		VOL. PRODUC.	UTIL. NETA	VOL. PRODUC.	UTIL. NETA	VOL. PRODUC.	UTIL. NETA	VOL. PRODUC.	UTIL. NETA
		TM	US\$	TM	US\$	TM	US\$	TM	US\$
	FRUTALES								
X1	Vid	809	117600	809	117600	809	117600	809	117600
X2	Durazno	400	60720	400	60720	400	60720	0	0
	FORRAJEROS								
X3	Alfalfa	11790	167580	11790	167580	11790	167580	5518	78440
X4	Maiz Chala	1426	33880	81	1936	1426	33880	511	12149
	TRANSITORIOS								
X5	Papa	3416	199680	3416	199680	3416	199680	3416	199680
X6	Maiz Choclo	742	18590	0	0	742	18590	0	0
X7	Aji	895	134625	895	134625	895	134625	895	134625
X8	Tomate	0	0	0	0	0	0	0	0
X9	Haba/Arveja G.V.	424	19102	424	19102	424	19102	0	0
X10	Zapallo	505	22950	505	22950	505	22950	505	22950
X11	Cebolla	1625	72930	1625	72930	1625	72930	1616	72526
X12	Hortalizas	859	38936	859	38936	859	38936	1439	65176
TOTAL		22891	886593	20805	836059	22891	886593	14710	703147

FUENTE: ELABORACION PROPIA

CUADRO N°31
VOLUMEN Y UTILIDAD NETA DE LA PRODUCCION DE LAS CEDULAS OPTIMIZADAS CON ROTACION DE CULTIVOS

VAR.	CULTIVOS	MODELO 2		MODELO 4		MODELO 6		MODELO 8	
		VOL. PRODUC.	UTIL. NETA	VOL. PRODUC.	UTIL. NETA	VOL. PRODUC.	UTIL. NETA	VOL. PRODUC.	UTIL. NETA
		TM	US\$	TM	US\$	TM	US\$	TM	US\$
	FRUTALES								
X1	Vid	809	117600	809	117600	809	117600	809	117600
X2	Durazno	400	60720	51	7719	400	60720	0	0
	FORRAJEROS								
X3	Alfalfa	11790	167580	11790	167580	11790	167580	2626	37330
	TRANSITORIOS								
X4	Tomate - M. Choclo	0	0	0	0	0	0	0	0
X5	Tomate - M. Chala	0	0	0	0	0	0	0	0
X6	Tomate - Hortalizas	0	0	0	0	0	0	0	0
X7	Haba/arv. - Hortal.	0	0	0	0	0	0	0	0
X8	Haba/arv. - Cebolla	666	29896	0	0	0	0	0	0
X9	Papa - M. Choclo	1890	89015	363	17101	0	0	360	16970
X10	Papa - M. Chala	1952	64600	1952	64600	1952	64600	1952	64600
X11	Papa - Aji	2538	230625	2486	230625	2486	230625	2538	230625
X12	Hortal. - M. Choclo	0	0	0	0	0	0	0	0
X13	Hortal. - M. Chala	0	0	0	0	0	0	0	0
X14	Hortal. - Hortal.	2094	94883	0	0	5521	91654	0	0
X15	Cebolla - Tomate	3206	100620	0	0	0	0	0	0
X16	Cebolla - M. Chala	0	0	0	0	0	0	0	0
X17	Zapallo - M. Chala	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL		25343	955540	17450	605226	22957	732779	8284	467125

FUENTE: ELABORACION PROPIA

CUADRO N° 32
BALANCE HIDRICO PARA LA CEDULA OPTIMA DEL MODELO N°2
(Eficiencia =46%, Con derivacion Uchusuma, Con rotacion de cultivos)

CULTIVO	AREA (Ha)	FACTORES ETP(mm/dia)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
			4.00	4.00	3.80	3.00	2.40	1.90	2.00	2.40	2.90	3.60	3.90	4.20
1) Vid	120.0	Kc	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
		Dn(m³/s)	0.031	0.031	0.029	0.023	0.018	0.015	0.015	0.018	0.022	0.028	0.030	0.032
2) Durazno	80.0	Kc	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
		Dn(m³/s)	0.028	0.028	0.026	0.021	0.017	0.013	0.014	0.017	0.020	0.025	0.027	0.029
3) Alfalfa	190.0	Kc	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
		Dn(m³/s)	0.075	0.075	0.071	0.056	0.045	0.036	0.037	0.045	0.054	0.067	0.073	0.079
4) Tomate - M. Choclo	0.0	Kc	1.00			0.40	0.83	1.05	0.90	0.60		0.30	0.70	1.05
		Dn(m³/s)	0.000			0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000	0.000	0.000
5) Tomate - M. Chala	0.0	Kc	1.05			0.40	0.83	1.05	0.90	0.60		0.80	1.05	1.05
		Dn(m³/s)	0.000			0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000	0.000	0.000
6) Tomate - Hortalizas	0.0	Kc	0.85	0.70		0.40	0.83	1.05	0.90	0.60		0.40	0.70	0.95
		Dn(m³/s)	0.000	0.000		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000	0.000	0.000
7) Haba/arv. - Hortal.	0.0	Kc	0.85	0.70		0.40	0.70	0.90	1.00	0.60		0.40	0.70	0.95
		Dn(m³/s)	0.000	0.000		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000	0.000	0.000
8) Haba/arv. - Cebolla	40.0	Kc	1.05	1.00		0.40	0.70	0.90	1.00	0.60	0.45	0.60	0.90	1.05
		Dn(m³/s)	0.019	0.019		0.006	0.008	0.008	0.009	0.007	0.006	0.010	0.016	0.020
9) Papa - M. Choclo	95.0	Kc	1.00			0.40	0.70	1.05	0.85	0.70		0.30	0.70	1.05
		Dn(m³/s)	0.044			0.013	0.018	0.022	0.019	0.018		0.012	0.030	0.048
10) Papa - M. Chala	40.0	Kc	1.05			0.40	0.70	1.05	0.85	0.70		0.80	1.05	1.05
		Dn(m³/s)	0.019			0.006	0.008	0.009	0.008	0.008		0.013	0.019	0.020
11) Papa - Aji	125.0	Kc	0.85	0.80	0.75	0.40	0.70	1.05	0.85	0.70	0.30	0.60	0.95	0.90
		Dn(m³/s)	0.049	0.046	0.041	0.017	0.024	0.029	0.025	0.024	0.013	0.031	0.054	0.055
12) Hortal. - M. Choclo	0.0	Kc	1.00			0.40	0.70	0.95	0.85	0.70		0.30	0.70	1.05
		Dn(m³/s)	0.000			0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000	0.000	0.000
13) Hortal. - M. Chala	0.0	Kc	1.05			0.40	0.70	0.95	0.85	0.70		0.80	1.05	1.05
		Dn(m³/s)	0.000			0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000	0.000	0.000
14) Hortal. - Hortal.	117.1	Kc	0.85	0.70		0.40	0.70	0.95	0.85	0.70		0.40	0.70	0.95
		Dn(m³/s)	0.046	0.038		0.016	0.023	0.024	0.023	0.023		0.020	0.037	0.054
15) Cebolla - Tomate	130.0	Kc	0.90	0.60		0.45	0.60	0.90	1.05	1.00	0.70	0.40	0.83	1.05
		Dn(m³/s)	0.054	0.036		0.020	0.022	0.026	0.032	0.036	0.031	0.022	0.049	0.066
16) Cebolla - M. Chala	0.0	Kc	1.05			0.45	0.60	0.90	1.05	1.00	0.70	0.80	1.05	1.05
		Dn(m³/s)	0.000			0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
17) Zapallo - M. Chala	0.0	Kc	1.05				0.40	0.70	1.05	0.80	0.60	0.80	1.05	1.05
		Dn(m³/s)	0.000				0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Demanda Neta Total (m3/s)			0.365	0.272	0.168	0.178	0.183	0.181	0.182	0.196	0.146	0.227	0.334	0.404
Demanda de Agua Total (m3/s)			0.794	0.591	0.365	0.387	0.397	0.394	0.395	0.426	0.317	0.494	0.727	0.879
Area Total (Ha)			937.1	802.1	515.0	937.1	937.1	937.1	937.1	937.1	685.0	937.1	937.1	937.1
Modulo de riego (lps/Ha)			0.85	0.74	0.71	0.41	0.42	0.42	0.42	0.45	0.46	0.53	0.78	0.94
Disponibilidad Total (m3/s)			0.794	0.908	0.768	0.702	0.755	0.807	0.807	0.812	0.827	0.916	1.155	1.178
Superavit o Deficit (m3/s)			0.000	0.316	0.404	0.315	0.358	0.413	0.412	0.386	0.510	0.421	0.428	0.299

F UENTE: Elaboracion Propia

6.2 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Un modelo de PL es una instantánea de una situación real en la cual los parámetros del modelo (coeficientes del objetivo u de restricción) asumen valores estáticos; el análisis de sensibilidad estudia el efecto de hacer cambios en los parámetros del modelo en una solución óptima.

Se consideran dos áreas: (1) los cambios en los coeficientes del objetivo y (2) los cambios en el lado derecho de las restricciones. El análisis de sensibilidad se hace después de obtener la solución óptima (actual) de un modelo de PL.

El análisis de sensibilidad permite disminuir e incrementar los coeficientes del objetivo y los valores de los recursos (agua, requerimiento de mano de obra, mercado, suelo), sin que esto afecte la solución encontrada.

La cédula óptima del modelo 2 tiene un valor de la función objetivo de US\$ 955 540, cuyos cultivos seleccionados son:

Vid (120 Ha), Durazno (80 Ha), Alfalfa (190 Ha), Haba/Arv-Cebolla (40 Ha), Papa-M.choclo (95 Ha), Papa-M.chala (40 Ha), Papa-Ají (125 Ha), Hortalizas-Hortalizas (117.1 Ha), Cebolla-Tomate (130 Ha).

El cultivo de Tomate con sus rotaciones, Haba/Arv con Hortalizas, las Hortalizas, Cebolla y Zapallo con rotaciones de Maíz, no seleccionados deberán incrementar su valor neto de producción en un valor igual al costo de oportunidad para ser considerados por el modelo y si el valor de los recursos en las restricciones aumenta en una unidad, el beneficio total se aumentara una cantidad igual a su precio dual.

Para el mismo modelo el recurso hídrico puede disminuirse en una cantidad igual al sobrante (costo de oportunidad), así como puede crecer indefinidamente sin alterar la solución final.

La mano de obra no es utilizada en su totalidad siendo el de mayor requerimiento el mes de agosto con 22 239 jornales y el menor con 6 270 jornales correspondiente al mes de marzo.

Con esta solución se cubre 937.2 Ha. de cultivo mediante la distribución equitativa de los recursos propuestos como restricción.

De manera similar se interpreta los análisis de sensibilidad en el Anexo N° 5 para los demás modelos.

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

- El algoritmo de Karmarkar es un interesante método alternativo para programación lineal y efectivo para programación lineal con gran cantidad de variables.
- El ingreso de datos de otros paquetes de programación lineal llámese Lindo, Superlindo, Lingo, Tora tiene un ingreso de datos muy tedioso, ya que se ingresa dato por dato, se ingresa también las variables y los símbolos de operación.
- El ingreso de datos en MATLAB para resolver el algoritmo es mucho más sencillo que otro paquete debido a su fácil interface con otros programas (EXCEL, Visual Basic, C++, Fortran, etc).
- En MATLAB uno puede cambiar la salida de datos a su conveniencia.
- En el presente trabajo por las limitaciones de las restricciones no se ha podido obtener diferencias de las soluciones obtenidas por el algoritmo Karmarkar con las obtenidas mediante el programa Superlindo que trabaja el método simplex.
- El área de estudio en el tiempo ha presentado una especialización la producción de cultivos hortícolas, con un nivel de tecnología media a baja y una eficiencia de riego promedio de 31 %. Los cultivos mayormente producidos con una rentabilidad relativamente alta son la vid (980 US\$/ha), alfalfa (882 US\$/ha), papa (768 US\$/ha), ají (1 077 US\$/ha) y hortalizas (405 US\$/ha).

- De los modelos optimizados y que han sido estructurados en base a la maximización de los beneficios netos sujeto a restricciones de agua, mano de obra, mercado y suelo; se concluye que cuanto menor sea la eficiencia y disponibilidad del recurso hídrico, menores serán las superficies a sembrar y los beneficios a obtener.
- Con excepción de los modelos N° 01 y 05, los demás no están utilizando toda el área disponible. En forma genérica los cultivos mayormente seleccionados por los modelos son:

En frutales (vid, durazno), como forrajes (alfalfa, maíz chala); y en los transitorios la papa (individual, con rotaciones de: ají, maíz chala, maíz choclo), las hortalizas, ají, cebolla y zapallo sin rotaciones; mientras que los demás cultivos deberán incrementar sus valores netos de producción en una cantidad igual al costo de oportunidad.

- Para los modelos 1 y 5 si la eficiencia disminuye (de 46% a 31%) y se mantiene el aporte de la derivación Uchusuma el beneficio neto (US\$ 886 593) y las áreas a sembrar (1303,8 Ha) permanecen inalterables.
- De los modelos de optimización propuestos, se ha seleccionado el modelo 2 (Eficiencia = 46%, Con derivación Uchusuma, Con rotación de cultivos), con un beneficio neto de US\$ 955 540 y 937.2 Ha. con cultivos de frutales, forrajes y transitorios.
- El volumen de la producción para la cédula óptima (modelo 2) es de 25 343 TM con una utilidad neta de US\$ 955 540, que representan un incremento de 37% y 63% con respecto al volumen y utilidad actual respectivamente.

7.2 RECOMENDACIONES

- En el programa de Karmarkar (archivo kar.m) se puede realizar el ingreso de datos mediante la creación de un fichero llamado datos.m en el cual ingresan las matrices (A,b,c); el ingreso de datos en MATLAB para resolver el algoritmo se puede hacer mediante EXCEL , simplemente se escriben las matrices en EXCEL , copiar de EXCEL y pegar dentro de los corchetes de la matriz correspondiente (A,b,c) en el fichero datos.m en MATLAB, este almacenará los datos, como se puede observar en el Anexo N°5, luego correr el programa kar.m.
- Analizar el análisis de sensibilidad y la holgura de los recursos.
- Realizar estudios de optimización técnico-económica para situaciones diferentes con un mayor número de restricciones de tal forma de adecuar los modelos a la situación real.
- Efectuar un diagnóstico agroeconómico para tener información actualizada de las condiciones de producción, mercado y disponibilidad de recurso hídrico que permitan proyectar nuevas cédulas óptimas.
- Mejorar la eficiencia de riego mediante un programa de manejo del recurso hídrico y el mejoramiento del sistema de riego.
- Efectuar estudios de calidad de aguas del río Caplina y análisis de los suelos para tomar las medidas correctivas necesarias en la instalación de cultivos.
- Proponer el cambio paulatino del sistema de riego por gravedad a presurizado.

- Realizar obras de sobreelevado del canal Caplina, ya que debido al caudal que lleva el cual es de régimen supercrítico el borde libre mínimo debe ser de 30 cm. el cual no se esta cumpliendo en varias partes del canal.
- Realizar un estudio de zonificación de cultivos para tener información de limitaciones por tipo de suelo.

VIII. BIBLIOGRAFIA

1. Apuntes del curso de Metodos Numericos ciclo 2001-I del profesor Leonardo Flores Gonzalez.
2. ALVAREZ, J. Investigación de Operaciones (Programación Lineal). Universidad Nacional de Ingeniería Lima-Perú. Febrero 2001. 450 p.
3. BURGOS J. Algebra Lineal. Mc Graw Hill 1993. 796 p.
4. GARCIA, N., Optimización de la cedula de cultivo para el subproyecto Casma. Tesis de grado UNI-FIC. 1 998.
5. GUTIERREZ, M. "Estudio hidrogeológico detallado Valle Caplina – La Yarada". Universidad Nacional Agraria, Facultad de Ingeniería Agrícola, tesis para optar el titulo de Ingeniero Agrícola. Lima. 1 986. 339 p.
6. HERNADEZ, S. "Método de Diseño Optimo de Estructuras". Colegio de Ingenieros de caminos, canales y puertos de Marcación de Aragón. Colección Senior N°8. España 1 998.
7. INADE, APODESA y PEJZ. "Estudio de zonificación y optimización de la cédula de cultivo del valle jequetepeque". Lima. 1 995. 117 p.
8. INEI. Resultados definitivos de los censos nacionales de población y vivienda Dpto. Tacna. INEI 1 993.
9. KARMARKAR, N. "A new polynomial – time algorithm for linear programming". AT&T Bell EEUU. 1 984. 373-395 p.

10. LINSLEY, KOHLER y PAULUS. Hidrologia para Ingenieros. Mc Graw Hill. 1977.
11. MAYOR, J. "Algoritmos Polinomiales en Programación Lineal: Algoritmo de Karmarkar". Universidad de Sevilla, Facultad de Matemáticas, Memoria para optar al Grado de Licenciado en Matemáticas. Sevilla, España. 1 991. 111 p.
12. MORA, H. "El Método de Karmarkar". 8vo Coloquio Distrital de Matemáticas y Estadística. Universidad Nacional de Colombia. Colombia. 1992. 62 p.
13. MORA, H. "El Algoritmo de Mehrotra". Universidad Nacional de Colombia. Colombia. 2001. 10 p.
14. MORA, P. "La ingeniería de operación en los Distritos de Riego" Editorial Trillas. México 1993. 152 p.
15. OFICINA DE INFORMACIÓN AGRARIA (OIA). Ministerio de Agricultura, Republica del Perú . Comportamiento de los Principales Factores Hidrometeorología. Campañas Agrícolas 1997-1999. 176p.
16. OFICINA DE INFORMACIÓN AGRARIA (OIA). Ministerio de Agricultura, Republica del Perú . Boletín Hidrometeorológico 1999. 140p.
17. OFICINA DE INFORMACIÓN AGRARIA (OIA). Ministerio de Agricultura, Republica del Perú . Cultivos en el Peru (2000). Sistema de Información Agraria (SIAG).

18. OFICINA DE INFORMACIÓN AGRARIA (OIA). Ministerio de Agricultura, Republica del Perú . Estadística Agraria Mensual (2000). Sistema de Información Agraria (SIAG).
19. OFICINA DE INFORMACIÓN AGRARIA (OIA). Ministerio de Agricultura, Republica del Perú . Boletín Hídrico 1994-1998. 372p.
20. OFICINA DE INFORMACIÓN AGRARIA (OIA). Ministerio de Agricultura, Republica del Perú . Perú: Costos de Producción de Cultivos Agrícolas (2000).
21. PET. Proyecto de propósitos múltiples Vilavilani II etapa, plan de desarrollo agropecuario Tacna, 1 995 - 2 015. Lima. 1 993. 291 p.
22. PET. Información hidrometeorológica ámbito Proyecto Especial Tacna. PET. Tacna 1 995.
23. PET. Encuesta agroeconómica ámbito Proyecto Especial Tacna. PET. Tacna 1 995.
24. PET. Estudio hidrológico sistema Vilavilani PET. Tacna. 1 992.
25. ROSSEL, C. Irrigación. Capítulo de ingeniería civil, colección del ingeniero civil, libro No 14. Lima. 1 998. 309 p.
26. SENAMHI. Datos estación Calana 2000.
27. SMITH, M. Cropwat 5.7, programa de ordenador para planificar y manejar el riego. Estudios FAO: Riego y drenaje Nº 46. 134 p.
28. SOSA, W. "Introducción a la Optimización, Programación Lineal" . 18º Coloquio, Sociedad Matemática Peruana, Julio del 2000 56 p.

29. TAHJA, H. "Investigación de Operaciones" Editorial Pears. México 2000. 650 p.
30. TORRES, E. "Agrometeorología" Editorial Trillas. México 1995. 154 p.
31. VEN TE CHOW. Hidrologia aplicada. Mc Graw Hill. 1987. 579 p.
32. WRIGHT, S. and POTRA, F. "Interior – Point Methods" EEUU March 15, 2000. 21 p.
33. WRIGHT, S., RAO C. and RAWLINGS, J. "Application of Interior – Point Methods to Model Predictive Control" EEUU, 2000. 30 p.

ANEXOS

**ANEXO 1: PROGRAMACIÓN EN MATLAB DEL
ALGORITMO DE KARMARKAR**

La programación del algoritmo de Karmarkar se realizó en Matlab 5.3, dicho algoritmo lleva por nombre KARFAE 1.0, el programa consta de seis (6) partes o estructuras:

- **kar.m**
- **optkar.m**
- **maxkarc.m**
- **minkarc.m**
- **kare.m**
- **karfo.m**

Siendo el eje principal del programa el archivo **kar.m** en el cual se encuentra estructurado los diferentes casos en que se presentan los problemas de programación lineal, encontrándose las llamadas a los demás archivos.

El archivo **optkar.m** contiene los valores de las constantes α y eps ; α es una constante entre 0 y 1 ($0 < \alpha < 1$), eps es el valor del error donde se detiene el algoritmo.

El archivo **maxkarc.m** contiene la solución del caso particular de maximización en el cual el problema se encuentre directamente en la forma canónica de karmarkar $A^*x=0$.

El archivo **minkarc.m** contiene la solución del caso particular de minimización en el cual el problema se encuentre directamente en la forma canónica de karmarkar $A^*x=0$.

El archivo **kare.m** contiene la solución del caso particular de maximización y minimización en el cual el problema se encuentre en la forma estándar $A^*x \geq b$.

El archivo **karfo.m** contiene la solución del caso particular de maximización y minimización en el cual el problema se encuentre en la forma estándar de optimo finito $A \cdot x = b$.

El ingreso de datos en MATLAB para resolver el algoritmo se puede hacer mediante EXCEL, simplemente copias en EXCEL y pegas dentro de los corchetes de la matriz (A,b,c) en MATLAB.

El programa se ejecuta escribiendo **kar** en »

» kar

El presente trabajo de investigación se realizó con la ayuda del algoritmo de Karmarkar y su adaptación que se logró en la década del 90, y son la base de los algoritmos de programación lineal de última generación, ya que la mayoría de los métodos de última generación fueron deducidos después del artículo de Karmarkar, usando algunas o muchas de sus ideas, el método de Karmarkar ha madurado y actualmente lo último en investigación matemática de programación lineal y no lineal es el algoritmo de Mehrotra que en cada iteración se calculan dos triplas de direcciones, una afín o predictora ($\Delta x^a, \Delta y^a, \Delta s^a$) y una de corrección y centrado ($\Delta x^c, \Delta y^c, \Delta s^c$). Con ellas se construye la dirección de cada iteración ($\Delta x, \Delta y, \Delta s$).

La diferencia entre Karmarkar y Mehrotra es en unos segundos menos en el tiempo de ejecución.

```

%*****
%**      KARFAE 1.0                                     **
%**      13 DE MAYO DE 2001                             **
%**
%**      ALGORITMO KARMARKAR PARA PROGRAMACION          **
%**      LINEAL                                         **
%**
%**      UTILIZANDO  MATLAB                             **
%**
%**      TESIS PARA EL GRADO DE ING. CIVIL             **
%**      BACHILLER: FRANCISCO ARGUMEDO ESTAY           **
%**
%**      Para cualquier consulta o sugerencia         **
%**      email:franargumedo@hotmail.com               **
%*****

```

```
clc;
```

```

fprintf ('      Metodo de Karmarkar para "n" variables\n\n');

fprintf ('Si esta en la forma canonica de Karmarkar      A*x=0  F=0 \n');
fprintf ('Si esta en la forma                               A*x>=b F=1 \n');
fprintf ('Si esta en la forma estandar de optimo finito      A*x=b  F=2 \n\n');

F=input('Ingrese F:      \n');

fprintf ('Para Minimizar  P=0 \n');
fprintf ('Para Maximizar  P=1 \n\n');

P=input('Ingrese P:      ');

if F==0

    A=input('\nIngrese la matriz A:  \n\n')

    c=input('\nIngrese el vector columna de restricciones c:  \n\n')

    optkar;

    if P~=0

        c=-c;
        maxkarc;

    else

        minkarc;

    end

elseif F==1

    %Ingrese de esta manera "max c'*x,      A*x<=b"
    %Ingrese de esta manera "min c'*x,      A*x>=b"

    A=input('Ingrese la matriz A:  \n\n')

    b=input('\nIngrese el vector columna de constantes b:  \n\n')

    c=input('\nIngrese el vector columna de restricciones c:  \n\n')

    %datos %entrada opcional de datos cuando son muy grandes

    optkar;

```

```
if P~=0
    c=-c;
    A=-A;
    b=-b;
end
    kare;
else
    A=input('Ingrese la matriz A:  \n\n')
    b=input('\nIngrese el vector columna de constantes b:  \n\n')
    c=input('\nIngrese el vector columna de restricciones c:  \n\n')
    optkar;
    if P~=0
        c=-c;
    end
    karfo;
end
```

```
% optkar.m
%
% KARFAE Version 1.0
% Francisco Argumedo Estay
% Ultima modificacion: 18/04/2001
```

```
flops(0);
tstart = clock;
```

```
[m,n]=size(A);
```

```
if n<15
    alfa=0.75;
```

```
elseif n>100
    alfa=0.5;
```

```
elseif n>250
    alfa=0.25;
```

```
else
    alfa=0.95;
end
```

```
eps=0.0000000001;
```

```

% maxkarc.m
%
% KARFAE Version 1.0
% Francisco Argumedo Estay
% Ultima modificacion: 18/04/2001

%DEFINIENDO VALORES INICIALES

I=eye(n);
e=ones(n,1);
ee=e/n;
x=ee;
N=0;
r=(1/sqrt(n*(n-1)));

%INICIO DEL ALGORITMO

while abs(fof-foi)>eps

    D=diag(x);          %.....(1)
    AA=A*D;            %.....(2)
    cc=D*c;            %.....(3)
    W=[AA;e'];         %.....(4)
    p=(I-(W'*inv(W*W')*W))*cc; %.....(5)
    y=(ee-alfa*r*(p/norm(p)))*10; %....(6)
    x=(D*y/(e'*D*y))*100; %.....(7)
    N=N+1;

end

%FIN DEL ALGORITMO

F=-c'*x;
fprintf('\n\nEl numero de iteraciones es: %d\n\n',N)

disp(' N.          x          F ')

for i=1:n

    xx=x(i);
    ff=-c(i)'*x(i);
    fprintf('\n %d   %10.2f   %10.2f \n',i, xx,ff)

end

fprintf('\n\nLa funcion optimizada F es: %10.3f \n\n',F)
fprintf('\n\n');
disp('          ALGORITMO KARMARKAR          ')

```

```

% minkarc.m
%
% KARFAE Version 1.0
% Francisco Argumedo Estay
% Ultima modificacion: 18/04/2001

%DEFINIENDO VALORES INICIALES

I=eye(n);
e=ones(n,1);
ee=e/n;
x=ee;
N=0;
r=(1/sqrt(n*(n-1)));

%INICIO DEL ALGORITMO

while c'*x>eps

    D=diag(x);           %.....(1)
    AA=A*D;             %.....(2)
    cc=D*c;             %.....(3)
    W=[AA;e'];          %.....(4)
    p=(I-(W'*inv(W*W')*W))*cc %.....(5)
    y=(ee-alfa*r*(p/norm(p)))*10 %....(6)
    x=(D*y/(e'*D*y))*100 %.....(7)

    N=N+1;

end

%FIN DEL ALGORITMO

F=c'*x;
fprintf('\n\nEl numero de iteraciones es: %d\n\n',N)

disp(' N.          x          F ')

for i=1:n

    xx=x(i);
    ff=c(i)'*x(i);
    fprintf('\n %d    %10.2f    %10.2f \n',i, xx,ff)

end

fprintf('\n\nLa funcion optimizada F es: %10.3f \n\n',F)
fprintf('\n');
disp('          ALGORITMO KARMARKAR          ')

```



```

% kare.m
%
%
% KARFAE Version 1.0
% Francisco Argumedo Estay
% Ultima modificacion: 18/04/2001
%
%
% ADAPTACION AL ALGORITMO DE KARMARKAR
%
%
% TRANSFORMAR POR EJEMPLO:
%
% max Z=c'*x -----> max Z=c'*y
%
%   A*x<=b             A*y=0
%   x>=0               e'*y=1
%                       y>=0
%
% EMPECEMOS CON EL PROBLEMA PL
%
%   min c'*x
%
% PL
%
%   A*x<=b
%   x>=0
%
%
% Utilizando la teoria del primal y dual
% transformamos el problema PL en un problema de factibilidad estandar
% llamado PL1
%
%
%
%   PL1   APL1*x=bPL1
%         x>=0
%
%
%
%   APL1=[A zeros(m) -eye(m) zeros(m,n);zeros(n) A' zeros(n,m) eye(n);...
%         c' -b' zeros(1,m) zeros(1,n)];
%
%
%   bPL1=[b;c;0];
%
% Como necesitamos un punto inicial factible estrictamente positivo
% para comenzar las iteraciones, generamos dicho punto realizando
% un artificio entonces transformamos el problema PL1 en un problema
% de minimización llamado PL2 factible y con optimo nulo.
%
%
%   min cPL2'*x
%
% PL2   APL2*x=bPL1
%       x>=0
%
%
%
%   APL2=[APL1 bPL1-APL1*ones(2*m+2*n,1)];
%
%   cPL2=[zeros(2*m+2*n,1); 1];

```

```

% PL2 se puede convertir en un problema en la FCK ( $A*x=0$ ) realizando
% una transformación proyectiva y agrupando adecuadamente nos resulta
% PL3 que esta la FCK.

```

```

%
%           min cPL3'*y
%
%   PL3      APL3*y=0
%            e'*y=1
%            y>=0
%

```

```

ao=ones(2*n+2*m+1,1);
d=diag(ao);
APL3=[APL2*d -bPL1];
cPL3=[d*cPL2;0];

```

```

%DEFINIENDO VALORES INICIALES

```

```

e=ones(2*m+2*n+2,1);
ee=e/(2*m+2*n+2);
x=ee*1;
N=0;
I=eye(2*n+2*m+2);
r=(1/sqrt((2*m+2*n+2)*(2*m+2*n+2-1)));

```

```

%INICIO DEL ALGORITMO

```

```

while (1*cPL3')*x>eps
    dd=diag(x); %.....(1)
    cc=[dd*cPL3]; %.....(2)
    AA=APL3*dd; %.....(3)
    w=[AA;e']; %.....(4)
    p=(I-w'*inv(w*w')*w)*cc; %.....(5)
    y=(ee-alfa*r*(p/norm(p)))*10; %....(6)
    x=(dd*y/(e'*dd*y))*100; %.....(7)
    N=N+1;
end

```

```

%FIN DEL ALGORITMO

```

```

% Obtenida una buena aproximación de la solución óptima de este
% problema de karmarkar, es necesario utilizar una transformación
% inversa para regresar al PL2; para esto basta con dividir las
% primeras 2n+2m+1 componentes de la solución final por la última
% componente (2n+2m+2). Las primeras n componentes serán la solución
% del problema inicial (PL).

```

```

for j=1:n
xx(j)=(ao(j)*x(j))/x(2*m+2*n+2);
X=xx';
end

```

```

c=abs(c);
fprintf('\n\nEl numero de iteraciones es: %d\n\n',N)

disp(' N.          x          F ')
for i=1:n

    ff=c(i)*X(i);
    fprintf('\n %d    %10.2f    %10.2f \n',i, X(i),ff)

end

F=c'*X;
fprintf('\n\nLa función objetivo optimizada F es: %10.3f \n',F)
FF=cPL3'*x;

fprintf('\n');
disp('    ALGORITMO KARMARKAR    ')

for j=1:m

    RE(j)=A(j,:)*X;
end

h=-b+RE';

disp('Utilizacion de Recursos')
fprintf('\n');
disp('Restriccion    Recursos          Holgura')
for i=1:m

    fprintf('\n %2.0f          %10.2f          %10.2f\n',i,-b(i), h(i))
end

```

```

% karfo.m
%
%
% KARFAE Version 1.0
% Francisco Argumedo Estay
% Ultima modificacion: 18/04/2001
%
%
% ADAPTACION AL ALGORITMO DE KARMARKAR
%
%
% TRANSFORMAR POR EJEMPLO:
%
%
% max Z=c'*x   ----->   max Z=c'*y
%
%   A*x=b           A*y=0
%   x>=0           e'*y=1
%                   y>=0
%
% EMPECEMOS CON EL PROBLEMA PL
%
%           min c'*x
%   PL
%           A*x=b
%           x>=0
%
% Utilizando la teoria del primal y dual
% transformamos el problema PL en un problema de factibilidad estandar
% llamado PL1
%
%
%   PL1           APL1*x=bP1
%                 x>=0
%
%
%   APL1=[A zeros(m) zeros(m) zeros(m,n);...
%         zeros(n) A' -A' eye(n);...
%         c' -b' b' zeros(1,n)];
%
%   bP1=[b;c;0];
%
% Como necesitamos un punto inicial factible estrictamente positivo
% para comenzar las iteraciones, generamos dicho punto realizando
% un artificio entonces transformamos el problema PL1 en un problema
% de minimización llamado PL2 factible y con optimo nulo.
%
%
%           min cPL2'*x
%   PL2           APL2*x=bP1
%                 x>=0
%
%
%   APL2=[APL1 bP1-APL1*ones(2*m+2*n,1)];
%
%   cPL2=[zeros(2*m+2*n,1); 1];

```

```

% PL2 se puede convertir en un problema en la FCK ( $A*x=0$ ) realizando
% una transformación proyectiva y agrupando adecuadamente nos resulta
% PL3 que esta la FCK.

```

```

%
%           min cPL3'*y
%
%   PL3      APL3*y=0
%           e'*y=1
%           y>=0
%
%

```

```

ao=ones(2*n+2*m+1,1);
d=diag(ao);
APL3=[APL2*d -bPL1];
cPL3=[d*cPL2;0];

```

```

%DEFINIENDO VALORES INICIALES

```

```

e=ones(2*m+2*n+2,1);
ee=e/(2*m+2*n+2);
x=ee;
N=0;
I=eye(2*n+2*m+2);
r=(1/sqrt((2*m+2*n+2)*(2*m+2*n+2-1)));

```

```

%INICIO DEL ALGORITMO

```

```

while cPL3'*x>eps
    dd=diag(x); %.....(1)
    cc=[dd*cPL3]; %.....(2)
    AA=APL3*dd; %.....(3)
    w=[AA;e']; %.....(4)
    p=(I-(w'*inv(w*w')*w))*cc; %.....(5)
    y=(ee-alfa*r*(p/norm(p)))*10; %.....(6)
    x=(dd*y/(e'*dd*y))*100; %.....(7)
    N=N+1;
end

```

```

%FIN DEL ALGORITMO

```

```

% Obtenida una buena aproximación de la solución optima de este
% problema de karmarkar, es necesario utilizar una transformación
% inversa para regresar al PL2; para esto basta con dividir las
% primeras 2n+2m+1 componentes de la solución final por la ultima
% componente (2n+2m+2). Las primeras n componentes seran la solución
% del problema inicial (PL).

```

```

for j=1:n
xx(j)=(ao(j)*x(j))/x(2*m+2*n+2);
X=xx';
end

```

```

fprintf('\n\nEl numero de iteraciones es: %d\n\n',N)
disp(' N.          x          F ')
for i=1:n

    ff=c(i)*X(i);
    fprintf('\n %d    %10.2f    %10.2f \n',i, X(i),ff)

end

F=c'*X;
fprintf('\n\nLa funcion optimizada F es: %10.3f \n\n',F)
disp('          ALGORITMO KARMARKAR          ')

```

ANEXO 2: VARIABLES METEOROLÓGICAS

ANEXO 3: COSTOS DE PRODUCCION

COSTOS DE PRODUCCION(US\$/Ha)

CULTIVO	: VID	SISTEMA DE RIEGO	: GRAVEDAD
VARIEDAD	: NEGRA CORRIENTE	EPOCA DE COSECHA	: MAR - ABR
PERIODO VEGETATIVO	: PERENNE	NIVEL TECNOLÓGICO	: MEDIO
EPOCA DE SIEMBRA	: JULIO	PROVINCIA	: TACNA

RUBRO	UNIDAD	Nº DE UNIDADES	COSTO UNIDAD US\$	COSTO TOTAL
I. COSTOS DIRECTOS				965.12
1.1 Mano de Obra				447.98
1.1.1 Familiar	JORNAL	34.0	3.0	102.00
1.1.2 Leyes Sociales	%	46.4		47.33
1.1.3 Contratada	JORNAL	68.0	3.0	204.00
1.1.4 Leyes Sociales	%	46.4		94.66
1.3 Insumos				473.91
1.3.1 Fertilizantes				153.50
* Nitrato de Amonio	Kg.	250.0	0.350	87.50
* Superfosfato Triple de Calcio	Kg.	150.0	0.440	66.00
1.3.2 Materia Organica				60.00
* Estiercol	T.M.	5.0	12.0	60.00
1.3.3 Pesticidas				204.08
* Azodrin	Lt.	2.0	22.18	44.36
* Bayleton	Kg.	2.0	79.860	159.72
1.3.4 Agua	m ³	11325.0	0.001	11.33
1.3.5 Materiales	CAJON	180.0	0.250	45.00
1.4 Transporte - Otros				4.03
1.5 Imprevistos(1)	%	5.0		39.20
II. COSTOS INDIRECTOS				77.21
2.1 Costos Administrativos(2)	%	8.0		77.21
COSTO TOTAL				1042.33

(1) No incluye monto de Leyes Sociales

(2) 8% del Costo Total Directo

COSTOS DE PRODUCCION(US\$/Ha)

CULTIVO	: ALFALFA	SISTEMA DE RIEGO	: GRAVEDAD
VARIEDAD	: CURIBAYA	EPOCA DE COSECHA	: TODO EL AÑO
PERIODOD VEGETATIVO	: PERENNE	NIVEL TECNOLOGICO	: BAJO
EPOCA DE SIEMBRA	:	PROVINCIA	: TACNA

RUBRO	UNIDAD	Nº DE UNIDADES	COSTO UNIDAD US\$	COSTO TOTAL
I. COSTOS DIRECTOS				332.83
1.1 Mano de Obra				105.41
1.1.1 Familiar	JORNAL	18.0	3.0	54.00
1.1.2 Leyes Sociales	%	46.4		25.06
1.1.3 Contratada	JORNAL	6.0	3.0	18.00
1.1.4 Leyes Sociales	%	46.4		8.35
1.2 Traccion Mecanica	H.T.			
1.3 Insumos				213.16
1.3.1 Fertilizantes				0.00
1.3.3 Pesticidas				189.84
* Parathion	Lt.	6.0	8.770	52.62
* Decis	Lt.	2.0	68.610	137.22
1.3.4 Semilla				
1.3.5 Agua	m ³	23320.0	0.001	23.32
1.3.6 Materiales				
1.4 Transporte - Otros				
1.5 Imprevistos(1)	%	5.0		14.26
II. COSTOS INDIRECTOS				26.63
2.1 Costos Administrativos(2)	%	8.0		26.63
COSTO TOTAL				359.45

(1) No incluye monto de Leyes Sociales

(2) 8% del Costo Total Directo

COSTOS DE PRODUCCION(US\$/Ha)

CULTIVO	: TOMATE	SISTEMA DE RIEGO	: GRAVEDAD
VARIEDAD	: RIO GRANDE	EPOCA DE COSECHA	: NOVIEMBRE
PERIODOD VEGETATIVO	: 4 MESES	NIVEL TECNOLOGICO	: MEDIO
EPOCA DE SIEMBRA	: AGOSTO	PROVINCIA	: TACNA

RUBRO	UNIDAD	Nº DE UNIDADES	COSTO UNIDAD US\$	COSTO TOTAL
I. COSTOS DIRECTOS				1265.83
1.1 Mano de Obra				461.16
1.1.1 Familiar	JORNAL	43.0	3.0	129.00
1.1.2 Leyes Sociales	%	46.4		59.86
1.1.3 Contratada	JORNAL	62.0	3.0	186.00
1.1.4 Leyes Sociales	%	46.4		86.30
1.2 Traccion Mecanica	H.T.	8.0	12.0	96.00
1.3 Insumos				650.11
1.3.1 Fertilizantes				200.80
* Urea	Kg.	350.0	0.360	126.00
* Superfosfato Triple de Calcio	Kg.	170.0	0.440	74.80
1.3.3 Peticidas				300.15
* Decis	Lt.	2.0	68.610	137.22
* Stermin	Lt.	1.0	15.730	15.73
* Lannate	Kg.	2.0	73.600	147.20
1.3.4 Semilla	Kg.	0.8	128.500	102.80
1.3.5 Agua	m ³	8862.0	0.001	8.86
1.3.6 Materiales	CAJON	150.0	0.250	37.50
1.4 Transporte - Otros				5.24
1.5 Imprevistos(1)	%	5.0		53.32
II. COSTOS INDIRECTOS				101.27
2.1 Costos Administrativos(2)	%	8.0		101.27
COSTO TOTAL				1367.10

(1) No incluye monto de Leyes Sociales

(2) 8% del Costo Total Directo

COSTOS DE PRODUCCION(US\$/Ha)

CULTIVO	: AJI FRESCO	SISTEMA DE RIEGO	: GRAVEDAD
VARIEDAD	: CRIOLLO	EPOCA DE COSECHA	: FEB - MAR
PERIODOD VEGETATIVO	: 7 MESES	NIVEL TECNOLOGICO	: MEDIO
EPOCA DE SIEMBRA	: JULIO	PROVINCIA	: TACNA

RUBRO	UNIDAD	Nº DE UNIDADES	COSTO UNIDAD US\$	COSTO TOTAL
I. COSTOS DIRECTOS				991.47
1.1 Mano de Obra				509.47
1.1.1 Familiar	JORNAL	53.0	3.0	159.00
1.1.2 Leyes Sociales	%	46.4		73.78
1.1.3 Contratada	JORNAL	63.0	3.0	189.00
1.1.4 Leyes Sociales	%	46.4		87.70
1.2 Traccion Mecanica	H.T.	8.0	12.0	96.00
1.3 Insumos				341.94
1.3.1 Fertilizantes				171.00
* Nitrato de Amonio	Kg.	300.0	0.350	105.00
* Superfosfato Triple de Calcio	Kg.	150.0	0.440	66.00
1.3.2 Materia Organica				12.00
* Estiercol	T.M.	1.0	12.0	12.00
1.3.3 Pesticidas				108.36
* Tamaron	Lt.	6.0	18.060	108.36
1.3.4 Semilla	Kg.	1.0	20.160	20.16
1.3.5 Agua	m ³	10018.0	0.001	10.02
1.3.6 Materiales	CAJON	120.0	0.170	20.40
1.4 Transporte - Otros				4.54
1.5 Imprevistos(1)	%	5.0		39.52
II. COSTOS INDIRECTOS				79.32
2.1 Costos Administrativos(2)	%	8.0		79.32
COSTO TOTAL				1070.79

(1) No incluye monto de Leyes Sociales

(2) 8% del Costo Total Directo

COSTOS DE PRODUCCION(US\$/Ha)

CULTIVO	: HABAS - ARVEJA	SISTEMA DE RIEGO	: GRAVEDAD
VARIEDAD	: CRIOLLO	EPOCA DE COSECHA	: MAYO
PERIODO VEGETATIVO	: 5 MESES	NIVEL TECNOLÓGICO	: MEDIO
EPOCA DE SIEMBRA	: NOVIEMBRE	PROVINCIA	: TACNA

RUBRO	UNIDAD	Nº DE UNIDADES	COSTO UNIDAD US\$	COSTO TOTAL
I. COSTOS DIRECTOS				783.15
1.1 Mano de Obra				294.26
1.1.1 Familiar	JORNAL	37.0	3.0	111.00
1.1.2 Leyes Sociales	%	46.4		51.50
1.1.3 Contratada	JORNAL	30.0	3.0	90.00
1.1.4 Leyes Sociales	%	46.4		41.76
1.2 Traccion Mecanica	H.T.	8.0	12.0	96.00
1.3 Insumos				359.22
1.3.1 Fertilizantes				35.00
* Nitrato de Amonio	Kg.	100.0	0.350	35.00
1.3.3 Peticidas				148.02
* Lannate	Kg.	0.5	73.600	36.80
* Topz	Lt.	1.0	76.500	76.50
* Folimat	Lt.	1.0	34.720	34.72
1.3.4 Semilla	Kg.	80.0	2.020	161.60
1.3.5 Agua	m ³	4400.0	0.001	4.40
1.3.6 Materiales	SACOS	60.0	0.170	10.20
1.4 Transporte - Otros				0.81
1.5 Imprevistos(1)	%	5.0		32.85
II. COSTOS INDIRECTOS				62.65
2.1 Costos Administrativos(2)	%	8.0		62.65
COSTO TOTAL				845.80

(1) No incluye monto de Leyes Sociales

(2) 8% del Costo Total Directo

COSTOS DE PRODUCCION(US\$/Ha)

CULTIVO	: CEBOLLA	SISTEMA DE RIEGO	: GRAVEDAD
VARIEDAD	: TEXAS 500	EPOCA DE COSECHA	: NOVIEMBRE
PERIODOD VEGETATIVO	: 5 MESES	NIVEL TECNOLOGICO	: MEDIO
EPOCA DE SIEMBRA	: JUNIO	PROVINCIA	: TACNA

RUBRO	UNIDAD	Nº DE UNIDADES	COSTO UNIDAD US\$	COSTO TOTAL
I. COSTOS DIRECTOS				1216.35
1.1 Mano de Obra				592.92
1.1.1 Familiar	JORNAL	35.0	3.0	105.00
1.1.2 Leyes Sociales	%	46.4		48.72
1.1.3 Contratada	JORNAL	100.0	3.0	300.00
1.1.4 Leyes Sociales	%	46.4		139.20
1.2 Traccion Mecanica	H.T.	10.0	12.0	120.00
1.3 Insumos				450.43
1.3.1 Fertilizantes				156.00
* Urea	Kg.	250.0	0.360	90.00
* Superfosfato Triple de Calcio	Kg.	150.0	0.440	66.00
1.3.3 Pesticidas				162.54
* Tamaron	Lt.	9.0	18.060	162.54
1.3.4 Semilla	Kg.	2.0	40.320	80.64
1.3.5 Agua	m ³	7500.0	0.001	7.50
1.3.6 Materiales	SACOS	175.0	0.250	43.75
1.4 Transporte - Otros				4.03
1.5 Imprevistos(1)	%	5.0		48.97
II. COSTOS INDIRECTOS				97.31
2.1 Costos Administrativos(2)	%	8.0		97.31
COSTO TOTAL				1313.66

(1) No incluye monto de Leyes Sociales

(2) 8% del Costo Total Directo

COSTOS DE PRODUCCION(US\$/Ha)

CULTIVO	: MAIZ CHALA	SISTEMA DE RIEGO	: GRAVEDAD
VARIEDAD	: OPACO	EPOCA DE COSECHA	: TODO EL AÑO
PERIODOD VEGETATIVO	: 4 MESES	NIVEL TECNOLOGICO	: MEDIO
EPOCA DE SIEMBRA	: PERENNE	PROVINCIA	: TACNA

RUBRO	UNIDAD	Nº DE UNIDADES	COSTO UNIDAD US\$	COSTO TOTAL
I. COSTOS DIRECTOS				536.04
1.1 Mano de Obra				175.68
1.1.1 Familiar	JORNAL	20.0	3.0	60.00
1.1.2 Leyes Sociales	%	46.4		27.84
1.1.3 Contratada	JORNAL	20.0	3.0	60.00
1.1.4 Leyes Sociales	%	46.4		27.84
1.2 Traccion Mecanica	H.T.	8.0	12.0	96.00
1.3 Insumos				238.77
1.3.1 Fertilizantes				72.00
* Urea	Kg.	200.0	0.360	72.00
1.3.3 Peticidas				52.62
* Prathion	Lt.	6.0	8.770	52.62
1.3.4 Semilla	Kg.	70.0	1.510	105.70
1.3.5 Agua	m ³	8445.0	0.001	8.45
1.3.6 Materiales				
1.4 Transporte - Otros				2.72
1.5 Imprevistos(1)	%	5.0		22.87
II. COSTOS INDIRECTOS				42.88
2.1 Costos Administrativos(2)	%	8.0		42.88
COSTO TOTAL				578.92

(1) No incluye monto de Leyes Sociales

(2) 8% del Costo Total Directo

COSTOS DE PRODUCCION(US\$/Ha)

CULTIVO : MAIZ AMARILLO DURC SISTEMA DE RIEGO : GRAVEDAD
 VARIEDAD : EPOCA DE COSECHA : NOVIEMBRE
 PERIODOD VEGETATIVO : 5 MESES NIVEL TECNOLOGICO : MEDIO
 EPOCA DE SIEMBRA : JULIO PROVINCIA : TACNA

RUBRO	UNIDAD	Nº DE UNIDADES	COSTO UNIDAD US\$	COSTO TOTAL
I. COSTOS DIRECTOS				882.17
1.1 Mano de Obra				377.71
1.1.1 Familiar	JORNAL	40.0	3.0	120.00
1.1.2 Leyes Sociales	%	46.4		55.68
1.1.3 Contratada	JORNAL	46.0	3.0	138.00
1.1.4 Leyes Sociales	%	46.4		64.03
1.2 Traccion Mecanica	H.T.	8.0	12.0	96.00
1.3 Insumos				371.84
1.3.1 Fertilizantes				196.40
* Urea	Kg.	350.0	0.360	126.00
* Superfosfato Triple de Calcio	Kg.	160.0	0.440	70.40
1.3.3 Peticidas				127.26
* Tamaron	Lt.	2.0	18.060	36.12
* Parathion	Lt.	2.0	8.770	17.54
* Lannate	Kg.	1.0	73.600	73.60
1.3.4 Semilla	Kg.	30.0	1.010	30.30
1.3.5 Agua	m ³	7000.0	0.001	7.00
1.3.6 Materiales	SACOS	64.0	0.170	10.88
1.4 Transporte - Otros				0.31
1.5 Imprevistos(1)	%	5.0		36.31
II. COSTOS INDIRECTOS				70.57
2.1 Costos Administrativos(2)	%	8.0		70.57
COSTO TOTAL				952.74

(1) No incluye monto de Leyes Sociales

(2) 8% del Costo Total Directo

COSTOS DE PRODUCCION(US\$/Ha)

CULTIVO	: MAIZ AMILACEO	SISTEMA DE RIEGO	: GRAVEDAD
VARIEDAD	: PROPIA	EPOCA DE COSECHA	: ENERO
PERIODOD VEGETATIVO	: 6 MESES	NIVEL TECNOLOGICO	: MEDIO
EPOCA DE SIEMBRA	: AGOSTO	PROVINCIA	: TACNA

RUBRO	UNIDAD	Nº DE UNIDADES	COSTO UNIDAD US\$	COSTO TOTAL
I. COSTOS DIRECTOS				938.35
1.1 Mano de Obra				465.55
1.1.1 Familiar	JORNAL	60.0	3.0	180.00
1.1.2 Leyes Sociales	%	46.4		83.52
1.1.3 Contratada	JORNAL	46.0	3.0	138.00
1.1.4 Leyes Sociales	%	46.4		64.03
1.2 Traccion Mecanica	H.T.	8.0	12.0	96.00
1.3 Insumos				335.22
1.3.1 Fertilizantes				131.50
* Nitrato de Amonio	Kg.	250.0	0.350	87.50
* Superfosfato Triple de Calcio	Kg.	100.0	0.440	44.00
1.3.3 Pesticidas				136.03
* Tamaron	Lt.	2.0	18.060	36.12
* Parthion	Lt.	3.0	8.770	26.31
* Lannate	Kg.	1.0	73.600	73.60
1.3.4 Semilla	Kg.	30.0	1.510	45.30
1.3.5 Agua	m ³	8385.0	0.001	8.39
1.3.6 Materiales	SACOS	56.0	0.250	14.00
1.4 Transporte - Otros				3.93
1.5 Imprevistos(1)	%	5.0		37.66
II. COSTOS INDIRECTOS				75.07
2.1 Costos Administrativos(2)	%	8.0		75.07
COSTO TOTAL				1013.42

(1) No incluye monto de Leyes Sociales

(2) 8% del Costo Total Directo

COSTOS DE PRODUCCION(US\$/Ha)

CULTIVO	LECHUGA	SISTEMA DE RIEGO	: GRAVEDAD
VARIEDAD	: WHITE BOSTON	EPOCA DE COSECHA	: JULIO
PERIODOD VEGETATIVO	: 4 MESES	NIVEL TECNOLOGICO	: MEDIO
EPOCA DE SIEMBRA	: ABRIL	PROVINCIA	: TACNA

RUBRO	UNIDAD	Nº DE UNIDADES	COSTO UNIDAD US\$	COSTO TOTAL
I. COSTOS DIRECTOS				866.46
1.1 Mano de Obra				469.94
1.1.1 Familiar	JORNAL	40.0	3.0	120.00
1.1.2 Leyes Sociales	%	46.4		55.68
1.1.3 Contratada	JORNAL	67.0	3.0	201.00
1.1.4 Leyes Sociales	%	46.4		93.26
1.2 Traccion Mecanica	H.T.	10.0	12.0	120.00
1.3 Insumos				239.33
1.3.1 Fertilizantes				108.00
* Urea	Kg.	300.0	0.360	108.00
1.3.3 Peticidas				52.37
* Tamaron	Lt.	1.0	18.060	18.06
* Decis	Lt.	0.5	68.610	34.31
1.3.4 Semilla	Kg.	1.0	51.410	51.41
1.3.5 Agua	m ³	5800.0	0.001	5.80
1.3.6 Materiales	SACOS	87.0	0.250	21.75
1.4 Transporte - Otros				3.02
1.5 Imprevistos(1)	%	5.0		34.17
II. COSTOS INDIRECTOS				69.32
2.1 Costos Administrativos(2)	%	8.0		69.32
COSTO TOTAL				935.77

(1) No incluye monto de Leyes Sociales

(2) 8% del Costo Total Directo

COSTOS DE PRODUCCION(US\$/Ha)

CULTIVO	: PAPA	SISTEMA DE RIEGO	: GRAVEDAD
VARIEDAD	: TOMASA	EPOCA DE COSECHA	: AGOSTO
PERIODOD VEGETATIVO	: 5 MESES	NIVEL TECNOLOGICO	: MEDIO
EPOCA DE SIEMBRA	: ABRIL	PROVINCIA	: TACNA

RUBRO	UNIDAD	Nº DE UNIDADES	COSTO UNIDAD US\$	COSTO TOTAL
I. COSTOS DIRECTOS				2573.59
1.1 Mano de Obra				518.26
1.1.1 Familiar	JORNAL	50.0	3.0	150.00
1.1.2 Leyes Sociales	%	46.4		69.60
1.1.3 Contratada	JORNAL	68.0	3.0	204.00
1.1.4 Leyes Sociales	%	46.4		94.66
1.2 Traccion Mecanica	H.T.	8.0	12.0	96.00
1.3 Insumos				1815.87
1.3.1 Fertilizantes				335.00
* Nitrato de Amonio	Kg.	450.0	0.350	157.50
* Superfosfato Triple de Calcio	Kg.	250.0	0.440	110.00
* Sulfato de Potasio	Kg.	150.0	0.450	67.50
1.3.3 Peticidas				203.90
* Tamaron	Lt.	4.0	18.060	72.24
* Decis	Lt.	1.5	68.610	102.92
* Ridomil	Kg.	2.0	14.370	28.74
1.3.4 Semilla	Kg.	2000.0	0.610	1220.00
1.3.5 Agua	m ³	11975.0	0.001	11.98
1.3.6 Materiales	SACOS	180.0	0.250	45.00
1.4 Transporte - Otros				28.73
1.5 Imprevistos(1)	%	5.0		114.73
II. COSTOS INDIRECTOS				205.89
2.1 Costos Administrativos(2)	%	8.0		205.89
COSTO TOTAL				2779.47

(1) No incluye monto de Leyes Sociales

(2) 8% del Costo Total Directo

COSTOS DE PRODUCCION(US\$/Ha)

CULTIVO	: MAIZ CHOCLO	SISTEMA DE RIEGO	: GRAVEDAD
VARIEDAD	: PACHIA	EPOCA DE COSECHA	:
PERIODO VEGETATIVO	: 5 MESES	NIVEL TECNOLÓGICO	: MEDIO
EPOCA DE SIEMBRA	: JULIO	PROVINCIA	: TACNA

RUBRO	UNIDAD	Nº DE UNIDADES	COSTO UNIDAD US\$	COSTO TOTAL
I. COSTOS DIRECTOS				780.34
1.1 Mano de Obra				329.40
1.1.1 Familiar	JORNAL	35.0	3.0	105.00
1.1.2 Leyes Sociales	%	46.4		48.72
1.1.3 Contratada	JORNAL	40.0	3.0	120.00
1.1.4 Leyes Sociales	%	46.4		55.68
1.2 Traccion Mecanica	H.T.	8.0	12.0	96.00
1.3 Insumos				319.83
1.3.1 Fertilizantes				131.50
* Nitrato de Amonio	Kg.	250.0	0.350	87.50
* Superfosfato Triple de Calcio	Kg.	100.0	0.440	44.00
1.3.3 Pesticidas				136.03
* Tamaron	Lt.	2.0	18.060	36.12
* Parathion	Lt.	3.0	8.770	26.31
* Lannate	Kg.	1.0	73.600	73.60
1.3.4 Semilla	Kg.	30.0	1.510	45.30
1.3.5 Agua	m ³	7000.0	0.001	7.00
1.3.6 Materiales	SACOS			
1.4 Transporte - Otros				2.92
1.5 Imprevistos(1)	%	5.0		32.19
II. COSTOS INDIRECTOS				62.43
2.1 Costos Administrativos(2)	%	8.0		62.43
COSTO TOTAL				842.76

(1) No incluye monto de Leyes Sociales

(2) 8% del Costo Total Directo

COSTOS DE PRODUCCION(US\$/Ha)

CULTIVO	: ZAPALLO	SISTEMA DE RIEGO	: GRAVEDAD
VARIEDAD	: MACRE	EPOCA DE COSECHA	: ABRIL
PERIODOD VEGETATIVO	: 4 MESES	NIVEL TECNOLOGICO	: MEDIO
EPOCA DE SIEMBRA	: DICIEMBRE	PROVINCIA	: TACNA

RUBRO	UNIDAD	Nº DE UNIDADES	COSTO UNIDAD US\$	COSTO TOTAL
I. COSTOS DIRECTOS				1071.08
1.1 Mano de Obra				395.28
1.1.1 Familiar	JORNAL	50.0	3.0	150.00
1.1.2 Leyes Sociales	%	46.4		69.60
1.1.3 Contratada	JORNAL	40.0	3.0	120.00
1.1.4 Leyes Sociales	%	46.4		55.68
1.2 Traccion Mecanica	H.T.	8.0	12.0	96.00
1.3 Insumos				531.23
1.3.1 Fertilizantes				134.00
* Urea	Kg.	250.0	0.360	90.00
* Superfosfato Triple de Calcio	Kg.	100.0	0.440	44.00
1.3.2 Materia Organica				12.00
* Estiercol	T.M.	1.0	12.0	12.00
1.3.3 Pesticidas				306.27
* Furadan 56	Kg.	14.0	7.5	105.00
* Parathion	Lt.	4.0	8.770	35.08
* Decis	Lt.	1.0	68.610	68.61
* Afugan	Lt.	2.0	48.790	97.58
1.3.4 Semilla	Kg.	2.0	35.280	70.56
1.3.5 Agua	m ³	8403.0	0.001	8.40
1.4 Transporte - Otros				3.53
1.5 Imprevistos(1)	%	5.0		45.04
II. COSTOS INDIRECTOS				85.69
2.1 Costos Administrativos(2)	%	8.0		85.69
COSTO TOTAL				1156.77

(1) No incluye monto de Leyes Sociales

(2) 8% del Costo Total Directo

ANEXO 4: MODELOS

MODELO N° 01 : EFICIENCIA = 46%, CON DERIVACION DE UCHUSUMA, SIN ROTACION DE CULTIVOS

FUNCION OBJETIVO : MAXIMIZAR $980X1 + 759X2 + 882X3 + 847X4 + 768X5 + 169X6 + 1077X7 + 213X8 + 186X9 + 459X10 + 561X11 + 405X12$

RESTRICCIONES	N°	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12		
A G U A (m³/mes-Ha)	1	1483	2022	2291	0	0	0	2291	0	0	0	0	0	<=	2127721
	2	1339	1826	2070	0	0	0	1948	0	0	0	0	0	<=	2195666
	3	1408	1921	2177	0	0	0	1921	0	0	0	0	1024	<=	2058083
	4	1076	1467	1663	0	783	0	0	783	783	0	0	1370	<=	1879701
	5	890	1213	1375	0	1132	0	0	1342	1132	647	728	1537	<=	2021121
	6	682	929	1053	0	1301	0	0	1301	1115	867	743	1053	<=	2092262
	7	741	1011	1146	0	1146	0	0	1213	1348	1415	1213	943	<=	2160397
	8	890	1213	1375	0	1132	0	0	970	970	1294	1698	0	<=	2173789
	9	1040	1418	1608	1513	0	567	567	0	0	1135	1891	0	<=	2143584
	10	1334	1820	2062	2547	0	1698	1456	0	0	0	1698	0	<=	2452879
	11	1399	1908	2162	2671	0	2671	2416	0	0	0	0	0	<=	2993242
	12	1557	2123	2406	2972	0	2830	2547	0	0	0	0	0	<=	3155155
MANO DE OBRA (Jor/Ha)	13	20	13	4	0	0	0	18	0	0	0	0	0	<=	22239
	14	23	15	4	0	0	0	26	0	0	0	0	0	<=	22239
	15	14	12	2	0	0	0	26	0	0	0	0	23	<=	22239
	16	9	5	4	0	41	0	0	29	21	0	0	21	<=	22239
	17	8	4	3	0	37	0	0	28	20	28	40	22	<=	22239
	18	7	4	2	0	29	0	0	20	16	26	34	45	<=	22239
	19	10	5	4	0	34	0	0	39	21	19	27	46	<=	22239
	20	16	7	3	0	32	0	0	38	20	21	21	0	<=	22239
	21	8	5	2	13	0	29	28	0	0	38	36	0	<=	22239
	22	9	4	3	13	0	33	28	0	0	0	40	0	<=	22239
	23	17	11	2	17	0	19	25	0	0	0	0	0	<=	22239
	24	8	10	2	16	0	29	19	0	0	0	0	0	<=	22239
M E R C A D O (Ha)	25	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	120
	26	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	80
	27	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	190
	28	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	40
	29	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	<=	260
	30	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	<=	110
	31	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	<=	125
	32	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	<=	200
	33	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	<=	150
	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	<=	50
	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	<=	130
	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	<=	190
SUELO(Ha)	37	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	<=	2506

MODELO Nº 02 : EFICIENCIA = 46%, CON DERIVACION DE UCHUSUMA, CON ROTACION DE CULTIVOS

FUNCION OBJETIVO : MAXIMIZAR 980X1 + 759X2 + 882X3 + 382X4 + 1060X5 + 618X6 + 591X7 + 747X8 + 937X9 + 1615X10 + 1845X11 + 574X12
1252X13 + 810X14 + 774X15 + 1408X16 + 1306X17

RESTRICCIONES	Nº	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17		
A G U A (m³/mes-Ha)	1	1483	2022	2291	2696	2830	2291	2291	2830	2696	2830	2291	2696	2830	2291	2426	2830	2830	<=	2127721
	2	1339	1826	2070	0	0	1704	1704	2435	0	0	1948	0	0	1704	1461	0	0	<=	2195666
	3	1408	1921	2177	0	0	0	0	0	0	0	1921	0	0	0	0	0	0	<=	2058083
	4	1076	1467	1663	783	783	783	783	783	783	783	783	783	783	783	880	880	0	<=	1879701
	5	890	1213	1375	1342	1342	1342	1132	1132	1132	1132	1132	1132	1132	1132	970	970	647	<=	2021121
	6	682	929	1053	1301	1301	1301	1115	1115	1301	1301	1301	1177	1177	1177	1115	1115	867	<=	2092262
	7	741	1011	1146	1213	1213	1213	1348	1348	1146	1146	1146	1146	1146	1146	1415	1415	1415	<=	2160397
	8	890	1213	1375	970	970	970	970	970	1132	1132	1132	1132	1132	1617	1617	1617	1294	<=	2173789
	9	1040	1418	1608	0	0	0	0	851	0	0	567	0	0	0	1324	1324	1135	<=	2143584
	10	1334	1820	2062	728	1941	970	970	1456	728	1941	1456	728	1941	970	970	1941	1941	<=	2452879
	11	1399	1908	2162	1780	2671	1780	1780	2289	1780	2671	2416	1780	2671	1780	2111	2671	2671	<=	2993242
	12	1557	2123	2406	2972	2972	2689	2689	2972	2972	2972	2547	2972	2972	2689	2972	2972	2972	<=	3155155
MANO DE OBRA (Jor/Ha)	13	20	13	4	29	16	45	45	36	29	16	18	29	16	45	39	16	16	<=	22239
	14	23	15	4	0	0	46	46	40	0	0	26	0	0	46	38	0	0	<=	22239
	15	14	12	2	0	0	0	0	0	0	0	26	0	0	0	0	0	0	<=	22239
	16	9	5	4	29	29	29	21	21	41	41	41	23	23	23	40	40	0	<=	22239
	17	8	4	3	28	28	28	20	20	37	37	37	21	21	21	34	34	28	<=	22239
	18	7	4	2	20	20	20	16	16	29	29	29	22	22	22	27	27	26	<=	22239
	19	10	5	4	39	39	39	21	21	34	34	34	45	45	45	21	21	19	<=	22239
	20	16	7	3	38	38	38	20	20	32	32	32	46	46	46	36	36	21	<=	22239
21	8	5	2	0	0	0	0	40	0	0	28	0	0	0	40	40	38	<=	22239	
22	9	4	3	29	13	23	23	34	29	13	28	29	13	23	29	13	13	<=	22239	
23	17	11	2	33	13	21	21	27	33	13	25	33	13	21	28	13	13	<=	22239	
24	8	10	2	19	17	22	22	21	19	17	19	19	17	22	20	17	17	<=	22239	
M E R C A D O (Ha)	25	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	120
	26	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	80
	27	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	190
	28	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	<=	200
	29	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	150
	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	<=	260
	31	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	<=	190
	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	<=	130
	33	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	<=	110
	34	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	<=	40
35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	<=	125	
36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	50	
SUELO(Ha)	37	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	<=	2506

MODELO N° 03 : EFICIENCIA = 46%, SIN DERIVACION DE UCHUSUMA, SIN ROTACION DE CULTIVOS

FUNCION OBJETIVO : MAXIMIZAR $980X1 + 759X2 + 882X3 + 847X4 + 768X5 + 169X6 + 1077X7 + 213X8 + 186X9 + 459X10 + 561X11 + 405X12$

RESTRICCIONES	Nº	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12		
A G U A (m³/mes-Ha)	1	1483	2022	2291	0	0	0	2291	0	0	0	0	0	<=	1582934
	2	1339	1826	2070	0	0	0	1948	0	0	0	0	0	<=	1874880
	3	1408	1921	2177	0	0	0	1921	0	0	0	0	1024	<=	1909699
	4	1076	1467	1663	0	783	0	0	783	783	0	0	1370	<=	1462406
	5	889.6	1213	1375	0	1132	0	0	1342	1132	647	728	1537	<=	1331165
	6	681.5	929.3	1053	0	1301	0	0	1301	1115	867	743	1053	<=	1319328
	7	741.3	1011	1146	0	1146	0	0	1213	1348	1415	1213	943	<=	1312416
	8	889.6	1213	1375	0	1132	0	0	970	970	1294	1698	0	<=	1272240
	9	1040	1418	1608	1513	0	567	567	0	0	1135	1891	0	<=	1174176
	10	1334	1820	2062	2547	0	1698	1456	0	0	0	1698	0	<=	1159747
	11	1399	1908	2162	2671	0	2671	2416	0	0	0	0	0	<=	1039392
	12	1557	2123	2406	2972	0	2830	2547	0	0	0	0	0	<=	1157069
MANO DE OBRA (Jor/Ha)	13	20	13	4	0	0	0	18	0	0	0	0	0	<=	22239
	14	23	15	4	0	0	0	26	0	0	0	0	0	<=	22239
	15	14	12	2	0	0	0	26	0	0	0	0	23	<=	22239
	16	9	5	4	0	41	0	0	29	21	0	0	21	<=	22239
	17	8	4	3	0	37	0	0	28	20	28	40	22	<=	22239
	18	7	4	2	0	29	0	0	20	16	26	34	45	<=	22239
	19	10	5	4	0	34	0	0	39	21	19	27	46	<=	22239
	20	16	7	3	0	32	0	0	38	20	21	21	0	<=	22239
21	8	5	2	13	0	29	28	0	0	38	36	0	<=	22239	
22	9	4	3	13	0	33	28	0	0	0	40	0	<=	22239	
23	17	11	2	17	0	19	25	0	0	0	0	0	<=	22239	
24	8	10	2	16	0	29	19	0	0	0	0	0	<=	22239	
M E R C A D O (Ha)	25	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	120
	26	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	80
	27	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	190
	28	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	40
	29	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	<=	260
	30	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	<=	110
	31	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	<=	125
	32	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	<=	200
	33	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	<=	150
	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	<=	50
35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	<=	130	
36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	<=	190	
SUELO(Ha)	37	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	<=	2506

MODELO Nº 04 : EFICIENCIA = 46%, SIN DERIVACION DE UCHUSUMA, CON ROTACION DE CULTIVOS

FUNCION OBJETIVO : MAXIMIZAR $980X1 + 759X2 + 882X3 + 382X4 + 1060X5 + 618X6 + 591X7 + 747X8 + 937X9 + 1615X10 + 1845X11 + 574X12 + 1252X13 + 810X14 + 774X15 + 1408X16 + 1306X17$

RESTRICCIONES	Nº	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17			
A G U A (m³/mes-Ha)	1	1483	2022	2291	2696	2830	2291	2291	2830	2696	2830	2291	2696	2830	2291	2426	2830	2830	<=	1582934	
	2	1339	1826	2070	0	0	1704	1704	2435	0	0	1948	0	0	1704	1461	0	0	<=	1874880	
	3	1408	1921	2177	0	0	0	0	0	0	0	1921	0	0	0	0	0	0	<=	1909699	
	4	1076	1467	1663	783	783	783	783	783	783	783	783	783	783	783	783	880	880	0	<=	1462406
	5	890	1213	1375	1342	1342	1342	1132	1132	1132	1132	1132	1132	1132	1132	1132	970	970	647	<=	1331165
	6	682	929	1053	1301	1301	1301	1115	1115	1301	1301	1301	1177	1177	1177	1115	1115	867	<=	1319328	
	7	741	1011	1146	1213	1213	1213	1348	1348	1146	1146	1146	1146	1146	1146	1415	1415	1415	<=	1312416	
	8	890	1213	1375	970	970	970	970	970	1132	1132	1132	1132	1132	1132	1617	1617	1294	<=	1272240	
	9	1040	1418	1608	0	0	0	0	851	0	0	567	0	0	0	1324	1324	1135	<=	1174176	
	10	1334	1820	2062	728	1941	970	970	1456	728	1941	1456	728	1941	970	970	1941	1941	<=	1159747	
	11	1399	1908	2162	1780	2671	1780	1780	2289	1780	2671	2416	1780	2671	1780	2111	2671	2671	<=	1039392	
	12	1557	2123	2406	2972	2972	2689	2689	2972	2972	2547	2972	2972	2689	2972	2689	2972	2972	<=	1157069	
MANO DE OBRA (Jor/Ha)	13	20	13	4	29	16	45	45	36	29	16	18	29	16	45	39	16	16	<=	22239	
	14	23	15	4	0	0	46	46	40	0	0	26	0	0	46	38	0	0	<=	22239	
	15	14	12	2	0	0	0	0	0	0	0	26	0	0	0	0	0	0	<=	22239	
	16	9	5	4	29	29	29	21	21	41	41	41	23	23	23	40	40	0	<=	22239	
	17	8	4	3	28	28	28	20	20	37	37	37	21	21	21	34	34	28	<=	22239	
	18	7	4	2	20	20	20	16	16	29	29	29	22	22	22	27	27	26	<=	22239	
	19	10	5	4	39	39	39	21	21	34	34	34	45	45	45	21	21	19	<=	22239	
	20	16	7	3	38	38	38	20	20	32	32	32	46	46	46	36	36	21	<=	22239	
	21	8	5	2	0	0	0	0	40	0	0	28	0	0	0	40	40	38	<=	22239	
	22	9	4	3	29	13	23	23	34	29	13	28	29	13	23	29	13	13	<=	22239	
	23	17	11	2	33	13	21	21	27	33	13	25	33	13	21	28	13	13	<=	22239	
	24	8	10	2	19	17	22	22	21	19	17	19	19	17	22	20	17	17	<=	22239	
M E R C A D O (Ha)	25	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	120	
	26	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	80	
	27	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	190	
	28	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	<=	200	
	29	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	150	
	30	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	<=	260	
	31	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	<=	190	
	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	<=	130	
	33	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	<=	110	
	34	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	<=	40	
	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	<=	125	
	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	<=	50	
SUELO(Ha)	37	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	<=	2506	

MODELO N° 05 : EFICIENCIA = 31%, CON DERIVACION DE UCHUSUMA, SIN ROTACION DE CULTIVOS

FUNCION OBJETIVO : MAXIMIZAR 980X1 + 759X2 + 882X3 + 847X4 + 768X5 + 169X6 + 1077X7 + 213X8 + 186X9 + 459X10 + 561X11 + 405X12

RESTRICCIONES	Nº	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12		
A G U A (m³/mes-Ha)	1	2200	3000	3400	0	0	0	3400	0	0	0	0	0	<=	2127721
	2	1987	2710	3071	0	0	0	2890	0	0	0	0	0	<=	2195666
	3	2090	2850	3230	0	0	0	2850	0	0	0	0	1520	<=	2058083
	4	1597	2177	2468	0	1161	0	0	1161	1161	0	0	2032	<=	1879701
	5	1320	1800	2040	0	1680	0	0	1992	1680	960	1080	2280	<=	2021121
	6	1011	1379	1563	0	1931	0	0	1931	1655	1287	1103	1563	<=	2092262
	7	1100	1500	1700	0	1700	0	0	1800	2000	2100	1800	1400	<=	2160397
	8	1320	1800	2040	0	1680	0	0	1440	1440	1920	2520	0	<=	2173789
	9	1544	2105	2385	2245	0	842	842	0	0	1684	2806	0	<=	2143584
	10	1980	2700	3060	3780	0	2520	2160	0	0	0	2520	0	<=	2452879
	11	2076	2831	3208	3963	0	3963	3585	0	0	0	0	0	<=	2993242
	12	2310	3150	3570	4410	0	4200	3780	0	0	0	0	0	<=	3155155
MANO DE OBRA (Jor/Ha)	13	20	13	4	0	0	0	18	0	0	0	0	0	<=	22239
	14	23	15	4	0	0	0	26	0	0	0	0	0	<=	22239
	15	14	12	2	0	0	0	26	0	0	0	0	23	<=	22239
	16	9	5	4	0	41	0	0	29	21	0	0	21	<=	22239
	17	8	4	3	0	37	0	0	28	20	28	40	22	<=	22239
	18	7	4	2	0	29	0	0	20	16	26	34	45	<=	22239
	19	10	5	4	0	34	0	0	39	21	19	27	46	<=	22239
	20	16	7	3	0	32	0	0	38	20	21	21	0	<=	22239
	21	8	5	2	13	0	29	28	0	0	38	36	0	<=	22239
	22	9	4	3	13	0	33	28	0	0	0	40	0	<=	22239
	23	17	11	2	17	0	19	25	0	0	0	0	0	<=	22239
	24	8	10	2	16	0	29	19	0	0	0	0	0	<=	22239
M E R C A D O (Ha)	25	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	120
	26	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	80
	27	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	190
	28	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	40
	29	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	<=	260
	30	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	<=	110
	31	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	<=	125
	32	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	<=	200
	33	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	<=	150
	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	<=	50
	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	<=	130
	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	<=	190
SUELO(Ha)	37	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	<=	2506

MODELO N° 06 : EFICIENCIA = 31%, CON DERIVACION DE UCHUSUMA, CON ROTACION DE CULTIVOS

FUNCION OBJETIVO : MAXIMIZAR $980X1 + 759X2 + 882X3 + 382X4 + 1060X5 + 618X6 + 591X7 + 747X8 + 937X9 + 1615X10 + 1845X11 + 574X12 + 1252X13 + 810X14 + 774X15 + 1408X16 + 1306X17$

RESTRICCIONES	N°	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17			
A G U A (m³/mes-Ha)	1	2200	3000	3400	4000	4200	3400	3400	4200	4000	4200	3400	4000	4200	3400	3600	4200	4200	<=	2127721	
	2	1987	2710	3071	0	0	2529	2529	3613	0	0	2890	0	0	2529	2168	0	0	<=	2195666	
	3	2090	2850	3230	0	0	0	0	0	0	0	2850	0	0	0	0	0	0	<=	2058083	
	4	1597	2177	2468	1161	1161	1161	1161	1161	1161	1161	1161	1161	1161	1161	1306	1306	0	<=	1879701	
	5	1320	1800	2040	1992	1992	1992	1680	1680	1680	1680	1680	1680	1680	1680	1680	1440	1440	960	<=	2021121
	6	1011	1379	1563	1931	1931	1931	1655	1655	1931	1931	1931	1747	1747	1747	1655	1655	1287	<=	2092262	
	7	1100	1500	0	1800	1800	1800	2000	2000	1700	1700	1700	1700	1700	1700	2100	2100	2100	<=	2160397	
	8	1320	1800	2040	1440	1440	1440	1440	1440	1680	1680	1680	1680	1680	1680	2400	2400	1920	<=	2173789	
	9	1544	2105	2385	0	0	0	0	1263	0	0	842	0	0	0	1965	1965	1684	<=	2143584	
	10	1980	2700	3060	1080	2880	1440	1440	2160	1080	2880	2160	1080	2880	1440	1440	2880	2880	<=	2452879	
	11	2076	2831	3208	2642	3963	2642	2642	3397	2642	3963	3585	2642	3963	2642	3133	3963	3963	<=	2993242	
	12	2310	3150	3570	4410	4410	3990	3990	4410	4410	4410	3780	4410	4410	3990	4410	4410	4410	<=	3155155	
MANO DE OBRA (Jor/Ha)	13	20	13	4	29	16	45	45	36	29	16	18	29	16	45	39	16	16	<=	22239	
	14	23	15	4	0	0	46	46	40	0	0	26	0	0	46	38	0	0	<=	22239	
	15	14	12	2	0	0	0	0	0	0	0	26	0	0	0	0	0	0	<=	22239	
	16	9	5	4	29	29	29	21	21	41	41	41	23	23	23	40	40	0	<=	22239	
	17	8	4	3	28	28	28	20	20	37	37	37	21	21	21	34	34	28	<=	22239	
	18	7	4	2	20	20	20	16	16	29	29	29	22	22	22	27	27	26	<=	22239	
	19	10	5	4	39	39	39	21	21	34	34	34	45	45	45	21	21	19	<=	22239	
	20	16	7	3	38	38	38	20	20	32	32	32	46	46	46	36	36	21	<=	22239	
21	8	5	2	0	0	0	0	40	0	0	28	0	0	0	40	40	38	<=	22239		
22	9	4	3	29	13	23	23	34	29	13	28	29	13	23	29	13	13	<=	22239		
23	17	11	2	33	13	21	21	27	33	13	25	33	13	21	28	13	13	<=	22239		
24	8	10	2	19	17	22	22	21	19	17	19	19	17	22	20	17	17	<=	22239		
M E R C A D O (Ha)	25	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	120	
	26	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	80	
	27	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	190	
	28	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	<=	200	
	29	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	150	
	30	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	<=	260	
	31	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	<=	190	
	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	<=	130	
	33	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	<=	110	
	34	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	<=	40	
	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	<=	125	
	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	<=	50	
SUELO(Ha)	37	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	<=	2506	

MODELO N° 07 : EFICIENCIA = 31%, SIN DERIVACION DE UCHUSUMA, SIN ROTACION DE CULTIVOS

FUNCION OBJETIVO : MAXIMIZAR $980X1 + 759X2 + 882X3 + 847X4 + 768X5 + 169X6 + 1077X7 + 213X8 + 186X9 + 459X10 + 561X11 + 405X12$

RESTRICCIONES	N°	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12		
A G U A (m³/mes-Ha)	1	2200	3000	3400	0	0	0	3400	0	0	0	0	0	<=	1582934
	2	1987	2710	3071	0	0	0	2890	0	0	0	0	0	<=	1874880
	3	2090	2850	3230	0	0	0	2850	0	0	0	0	1520	<=	1909699
	4	1597	2177	2468	0	1161	0	0	1161	1161	0	0	2032	<=	1462406
	5	1320	1800	2040	0	1680	0	0	1992	1680	960	1080	2280	<=	1331165
	6	1011	1379	1563	0	1931	0	0	1931	1655	1287	1103	1563	<=	1319328
	7	1100	1500	1700	0	1700	0	0	1800	2000	2100	1800	1400	<=	1312416
	8	1320	1800	2040	0	1680	0	0	1440	1440	1920	2520	0	<=	1272240
	9	1544	2105	2385	2245	0	842	842	0	0	1684	2806	0	<=	1174176
	10	1980	2700	3060	3780	0	2520	2160	0	0	0	2520	0	<=	1159747
	11	2076	2831	3208	3963	0	3963	3585	0	0	0	0	0	<=	1039392
	12	2310	3150	3570	4410	0	4200	3780	0	0	0	0	0	<=	1157069
MANO DE OBRA (Jor/Ha)	13	20	13	4	0	0	0	18	0	0	0	0	0	<=	22239
	14	23	15	4	0	0	0	26	0	0	0	0	0	<=	22239
	15	14	12	2	0	0	0	26	0	0	0	0	23	<=	22239
	16	9	5	4	0	41	0	0	29	21	0	0	21	<=	22239
	17	8	4	3	0	37	0	0	28	20	28	40	22	<=	22239
	18	7	4	2	0	29	0	0	20	16	26	34	45	<=	22239
	19	10	5	4	0	34	0	0	39	21	19	27	46	<=	22239
	20	16	7	3	0	32	0	0	38	20	21	21	0	<=	22239
	21	8	5	2	13	0	29	28	0	0	38	36	0	<=	22239
	22	9	4	3	13	0	33	28	0	0	0	40	0	<=	22239
	23	17	11	2	17	0	19	25	0	0	0	0	0	<=	22239
	24	8	10	2	16	0	29	19	0	0	0	0	0	<=	22239
M E R C A D O (Ha)	25	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	120
	26	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	80
	27	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	190
	28	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	40
	29	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	<=	260
	30	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	<=	110
	31	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	<=	125
	32	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	<=	200
	33	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	<=	150
	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	<=	50
	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	<=	130
	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	<=	190
SUELO(Ha)	37	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	<=	2506

MODELO Nº 08 : EFICIENCIA = 31%, SIN DERIVACION DE UCHUSUMA, CON ROTACION DE CULTIVOS

FUNCION OBJETIVO : MAXIMIZAR $980X_1 + 759X_2 + 882X_3 + 382X_4 + 1060X_5 + 618X_6 + 591X_7 + 747X_8 + 937X_9 + 1615X_{10} + 1845X_{11} + 674X_{12} + 1252X_{13} + 810X_{14} + 774X_{15} + 1408X_{16} + 1306X_{17}$

RESTRICCIONES	Nº	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17		
A G U A (m³/mes-Ha)	1	2200	3000	3400	4000	4200	3400	3400	4200	4000	4200	3400	4000	4200	3400	3600	4200	4200	<=	1582934
	2	1987	2710	3071	0	0	2529	2529	3613	0	0	2890	0	0	2529	2168	0	0	<=	1874880
	3	2090	2850	3230	0	0	0	0	0	0	0	2850	0	0	0	0	0	0	<=	1909699
	4	1597	2177	2468	1161	1161	1161	1161	1161	1161	1161	1161	1161	1161	1161	1306	1306	0	<=	1462406
	5	1320	1800	2040	1992	1992	1992	1680	1680	1680	1680	1680	1680	1680	1680	1440	1440	960	<=	1331165
	6	1011	1379	1563	1931	1931	1931	1655	1655	1931	1931	1931	1747	1747	1747	1655	1655	1287	<=	1319328
	7	1100	1500	0	1800	1800	1800	2000	2000	1700	1700	1700	1700	1700	1700	2100	2100	2100	<=	1312416
	8	1320	1800	2040	1440	1440	1440	1440	1440	1680	1680	1680	1680	1680	1680	2400	2400	1920	<=	1272240
	9	1544	2105	2385	0	0	0	0	1263	0	0	842	0	0	0	1965	1965	1684	<=	1174176
	10	1980	2700	3060	1080	2880	1440	1440	2160	1080	2880	2160	1080	2880	1440	1440	2880	2880	<=	1159747
	11	2076	2831	3208	2642	3963	2642	2642	3397	2642	3963	3585	2642	3963	2642	3133	3963	3963	<=	1039392
	12	2310	3150	3570	4410	4410	3990	3990	4410	4410	4410	3780	4410	4410	3990	4410	4410	4410	<=	1157069
MANO DE OBRA (Jor/Ha)	13	20	13	4	29	16	45	45	36	29	16	18	29	16	45	39	16	16	<=	22239
	14	23	15	4	0	0	46	46	40	0	0	26	0	0	46	38	0	0	<=	22239
	15	14	12	2	0	0	0	0	0	0	0	26	0	0	0	0	0	0	<=	22239
	16	9	5	4	29	29	29	21	21	41	41	41	23	23	23	40	40	0	<=	22239
	17	8	4	3	28	28	28	20	20	37	37	37	21	21	21	34	34	28	<=	22239
	18	7	4	2	20	20	20	16	16	29	29	29	22	22	22	27	27	26	<=	22239
	19	10	5	4	39	39	39	21	21	34	34	34	45	45	45	21	21	19	<=	22239
	20	16	7	3	38	38	38	20	20	32	32	32	46	46	46	36	36	21	<=	22239
	21	8	5	2	0	0	0	0	40	0	0	28	0	0	0	40	40	38	<=	22239
	22	9	4	3	29	13	23	23	34	29	13	28	29	13	23	29	13	13	<=	22239
	23	17	11	2	33	13	21	21	27	33	13	25	33	13	21	28	13	13	<=	22239
	24	8	10	2	19	17	22	22	21	19	17	19	19	17	22	20	17	17	<=	22239
M E R C A D O (Ha)	25	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	120
	26	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	80
	27	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	190
	28	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	<=	200
	29	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	150
	30	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	<=	260
	31	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	<=	190
	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	<=	130
	33	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	<=	110
	34	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	<=	40
	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	<=	125
	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	<=	50
SUELO(Ha)	37	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	<=	2506

ANEXO 5: INGRESO DE DATOS Y RESULTADOS

%MODELO 1 :EFICIENCIA=46%, CON DERIVACION DE UCHUSUMA, SIN ROTACION DE CULTIVOS

% max c'*X

% A*X<=b

A=[1483	2022	2291	0	0	0	2291	0	0	0	0	0
1339	1826	2070	0	0	0	1948	0	0	0	0	0
1408	1921	2177	0	0	0	1921	0	0	0	0	1024
1076	1467	1663	0	783	0	0	783	783	0	0	1370
890	1213	1375	0	1132	0	0	1342	1132	647	728	1537
682	929	1053	0	1301	0	0	1301	1115	867	743	1053
741	1011	1146	0	1146	0	0	1213	1348	1415	1213	943
890	1213	1375	0	1132	0	0	970	970	1294	1698	0
1040	1418	1608	1513	0	567	567	0	0	1135	1891	0
1334	1820	2062	2547	0	1698	1456	0	0	0	1698	0
1399	1908	2162	2671	0	2671	2416	0	0	0	0	0
1557	2123	2406	2972	0	2830	2547	0	0	0	0	0
20	13	4	0	0	0	18	0	0	0	0	0
23	15	4	0	0	0	26	0	0	0	0	0
14	12	2	0	0	0	26	0	0	0	0	23
9	5	4	0	41	0	0	29	21	0	0	21
8	4	3	0	37	0	0	28	20	28	40	22
7	4	2	0	29	0	0	20	16	26	34	45
10	5	4	0	34	0	0	39	21	19	27	46
16	7	3	0	32	0	0	38	20	21	21	0
8	5	2	13	0	29	28	0	0	38	36	0
9	4	3	13	0	33	28	0	0	0	40	0
17	11	2	17	0	19	25	0	0	0	0	0
8	10	2	16	0	29	19	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1];

c=[980 ; 759 ; 882 ; 847 ; 768 ; 169 ; 1077 ; 213 ; 186 ; 459 ; 561 ; 405];

b=[2127721 ; 2195666 ; 2058083 ; 1879701 ; 2021121 ; 2092262 ; 2160397 ; ...
 2173789 ; 2143584 ; 2452879 ; 2993242 ; 3155155 ; 22239 ; 22239 ; ...
 22239 ; 22239 ; 22239 ; 22239 ; 22239 ; 22239 ; 22239 ; 22239 ; ...
 22239 ; 22239 ; 120 ; 80 ; 190 ; 40 ; 260 ; 110 ; 125 ; 200 ; 150 ; ...
 50 ; 130 ; 190 ; 2506];

Método de Karmarkar para "n" variables

Si esta en la forma canónica de Karmarkar $A*x=0$ $F=0$
Si esta en la forma $A*x \geq b$ $F=1$
Si esta en la forma estándar de optimo finito $A*x=b$ $F=2$

Ingrese F: 1

Para Minimizar $P=0$

Para Maximizar $P=1$

Ingrese P: 1

N.	x	F
1	120.00	117600.00
2	80.00	60720.00
3	190.00	167580.00
4	40.00	33880.00
5	260.00	199680.00
6	110.00	18590.00
7	125.00	134625.00
8	0.00	0.00
9	102.69	19101.95
10	50.00	22950.00
11	130.00	72930.00
12	96.13	38932.65

La función objetivo optimizada F es: 886 592.686

Restr.	Recurso	Holgura
1)	2127721	1066336.000000
2)	2195666	1252106.000000
3)	2058083	983243.125000
4)	1879701	901549.500000
5)	2021121	870702.687500
6)	2092262	1042090.125000
7)	2160397	1017361.437500
8)	2173789	1029321.250000
9)	2143584	1103479.000000
10)	2452879	1064019.000000
11)	2993242	1559292.000000
12)	3155155	1592780.000000
13)	22239	15789.000000
14)	22239	14269.000000
15)	22239	13757.835938
16)	22239	5163.438965
17)	22239	0.000000
18)	22239	1469.630981
19)	22239	0.000000
20)	22239	5035.026367
21)	22239	6709.000000
22)	22239	7419.000000
23)	22239	13044.000000
24)	22239	13894.000000
25)	120	0.000000
26)	80	0.000000
27)	190	0.000000
28)	40	0.000000
29)	260	0.000000
30)	110	0.000000
31)	125	0.000000
32)	200	200.000000
33)	150	47.301311
34)	50	0.000000
35)	130	0.000000
36)	190	93.862442
37)	2506	1202.163696

*** Analisis de Sensibilidad ***

MODELO N°01

a) Cambiar los coeficientes de la funcion objetivo

Variable	Coef.	F.O.	Min Coef	Max Coef	Costo de Oportunidad
x1	980.0000		88.4017	infinity	0.0000
x2	759.0000		44.2009	infinity	0.0000
x3	882.0000		35.3384	infinity	0.0000
x4	847.0000		0.0000	infinity	0.0000
x5	768.0000		301.6572	infinity	0.0000
x6	169.0000		0.0000	infinity	0.0000
x7	1077.0000		0.0000	infinity	0.0000
x8	213.0000		-infinity	344.4105	131.4105
x9	186.0000		184.8913	303.7223	0.0000
x10	459.0000		169.3886	infinity	0.0000
x11	561.0000		240.7336	infinity	0.0000
x12	405.0000		204.6000	407.4286	0.0000

b) Cambiar los coeficientes de las restricciones del lado derecho
(Recursos)

Restr.	Recurso	Min Recurso	Max Recurso	Precio Dual
1	2127721.0000	1061385.0000	infinity	0.0000
2	2195666.0000	943560.0000	infinity	0.0000
3	2058083.0000	1074839.8750	infinity	0.0000
4	1879701.0000	978151.5000	infinity	0.0000
5	2021121.0000	1150418.3125	infinity	0.0000
6	2092262.0000	1050171.8750	infinity	0.0000
7	2160397.0000	1143035.5625	infinity	0.0000
8	2173789.0000	1144467.7500	infinity	0.0000
9	2143584.0000	1040105.0000	infinity	0.0000

10	2452879.0000	1388860.0000	infinity	0.0000
11	2993242.0000	1433950.0000	infinity	0.0000
12	3155155.0000	1562375.0000	infinity	0.0000
13	22239.0000	6450.0000	infinity	0.0000
14	22239.0000	7970.0000	infinity	0.0000
15	22239.0000	8481.1641	infinity	0.0000
16	22239.0000	17075.5610	infinity	0.0000
17	22239.0000	22239.0000	22239.0000	0.1114
18	22239.0000	20769.3691	infinity	0.0000
19	22239.0000	22239.0000	22239.0000	8.7511
20	22239.0000	17203.9736	infinity	0.0000
21	22239.0000	15530.0000	infinity	0.0000
22	22239.0000	14820.0000	infinity	0.0000
23	22239.0000	9195.0000	infinity	0.0000
24	22239.0000	8345.0000	infinity	0.0000
25	120.0000	120.0000	120.0000	891.5983
26	80.0000	80.0000	80.0000	714.7991
27	190.0000	190.0000	190.0000	846.6616
28	40.0000	40.0000	40.0000	847.0000
29	260.0000	260.0000	260.0000	466.3428
30	110.0000	110.0000	110.0000	169.0000
31	125.0000	125.0000	125.0000	1077.0000
32	200.0000	0.0000	infinity	0.0000
33	150.0000	102.6987	infinity	0.0000
34	50.0000	50.0000	50.0000	289.6114
35	130.0000	130.0000	130.0000	320.2664
36	190.0000	96.1376	infinity	0.0000
37	2506.0000	1303.8362	infinity	0.0000

%MODELO 2 :EFICIENCIA=46%, CON DERIVACION DE UCHUSUMA, CON ROTACION DE CULTIVOS

% max c'*X

% A*X<=b

A=[1483 2022 2291 2696 2830 2291 2291 2830 2696 2830 2291 2696 2830 2291 2426 2830 2830
 1339 1826 2070 0 0 1704 1704 2435 0 0 1948 0 0 1704 1461 0 0
 1408 1921 2177 0 0 0 0 0 0 0 1921 0 0 0 0 0 0
 1076 1467 1663 783 783 783 783 783 783 783 783 783 783 783 880 880 0
 890 1213 1375 1342 1342 1342 1132 1132 1132 1132 1132 1132 1132 1132 970 970 647
 682 929 1053 1301 1301 1301 1115 1115 1301 1301 1301 1177 1177 1177 1115 1115 867
 741 1011 1146 1213 1213 1213 1348 1348 1146 1146 1146 1146 1146 1146 1415 1415 1415
 890 1213 1375 970 970 970 970 970 1132 1132 1132 1132 1132 1132 1617 1617 1294
 1040 1418 1608 0 0 0 0 851 0 0 567 0 0 0 1324 1324 1135
 1334 1820 2062 728 1941 970 970 1456 728 1941 1456 728 1941 970 970 1941 1941
 1399 1908 2162 1780 2671 1780 1780 2289 1780 2671 2416 1780 2671 1780 2111 2671 2671
 1557 2123 2406 2972 2972 2689 2689 2972 2972 2972 2547 2972 2972 2689 2972 2972 2972
 20 13 4 29 16 45 45 36 29 16 18 29 16 45 39 16 16
 23 15 4 0 0 46 46 40 0 0 26 0 0 46 38 0 0
 14 12 2 0 0 0 0 0 0 0 26 0 0 0 0 0 0
 9 5 4 29 29 29 21 21 41 41 41 23 23 23 40 40 0
 8 4 3 28 28 28 20 20 37 37 37 21 21 21 34 34 28
 7 4 2 20 20 20 16 16 29 29 29 22 22 22 27 27 26
 10 5 4 39 39 39 21 21 34 34 34 45 45 45 21 21 19
 16 7 3 38 38 38 20 20 32 32 32 46 46 46 36 36 21
 8 5 2 0 0 0 0 40 0 0 28 0 0 0 40 40 38
 9 4 3 29 13 23 23 34 29 13 28 29 13 23 29 13 13
 17 11 2 33 13 21 21 27 33 13 25 33 13 21 28 13 13
 8 10 2 19 17 22 22 21 19 17 19 19 17 22 20 17 17
 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
 0 0 0 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0
 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0
 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 0 0 0 0 0
 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 1 1 1 0 0 0
 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0
 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 1 0 0 0 0 0
 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 1 0 0 0 1
 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0
 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1
 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1];

c=[980 ; 759 ; 882 ; 382 ; 1060 ; 618 ; 591 ; 747 ; 937 ; 1615 ; 1845 ; 574 ; ...
 1252 ; 810 ; 774 ; 1408 ; 1306];

b=[2127721 ; 2195666 ; 2058083 ; 1879701 ; 2021121 ; 2092262 ; 2160397 ; ...
 2173789 ; 2143584 ; 2452879 ; 2993242 ; 3155155 ; 22239 ; 22239 ; 22239 ; ...
 22239 ; 22239 ; 22239 ; 22239 ; 22239 ; 22239 ; 22239 ; 22239 ; 22239 ; ...
 120 ; 80 ; 190 ; 200 ; 150 ; 260 ; 190 ; 130 ; 110 ; 40 ; 125 ; 50 ; 2506];

Método de Karmarkar para "n" variables

Si esta en la forma canónica de Karmarkar $A*x=0$ $F=0$
 Si esta en la forma $A*x \geq b$ $F=1$
 Si esta en la forma estándar de optimo finito $A*x=b$ $F=2$

Ingrese F: 1

Para Minimizar $P=0$
 Para Maximizar $P=1$

Ingrese P: 1

N.	x	F
1	120.00	117600.00
2	80.00	60720.00
3	190.00	167580.00
4	0.00	0.00
5	0.00	0.00
6	0.00	0.00
7	0.00	0.00
8	40.02	29894.94
9	95.00	89015.00
10	40.00	64600.00
11	125.00	230625.00
12	0.00	0.00
13	0.00	0.00
14	117.14	94883.40
15	130.00	100620.00
16	0.00	0.00
17	0.00	0.00

La función objetivo optimizada F es: 955 539.840

Restr.	Recurso	Holgura
1)	2127721	0.000000
2)	2195666	765111.375000
3)	2058083	1081688.000000
4)	1879701	876211.125000
5)	2021121	957700.625000
6)	2092262	1070320.625000
7)	2160397	1102751.875000
8)	2173789	1032742.250000
9)	2143584	1322770.250000
10)	2452879	1128618.625000
11)	2993242	1109447.750000
12)	3155155	801438.125000
13)	22239	611.790405
14)	22239	2339.559814
15)	22239	15969.000000
16)	22239	604.257874
17)	22239	3088.565186
18)	22239	6431.510742
19)	22239	2197.120605
20)	22239	0.000000
21)	22239	10198.119141
22)	22239	5668.971680
23)	22239	4978.411133
24)	22239	9221.400391
25)	120	0.000000
26)	80	0.000000
27)	190	0.000000
28)	200	70.000000
29)	150	109.977989
30)	260	0.000000
31)	190	72.857399
32)	130	0.000000
33)	110	15.000000
34)	40	0.000000
35)	125	0.000000
36)	50	50.000000
37)	2506	1568.835327

*** Analisis de Sensibilidad ***

MODELO N°02

a) Cambiar los coeficientes de la funcion objetivo

Variable	Coef. F.O.	Min Coef	Max Coef	Costo de Oportunidad
x1	980.0000	429.4573	infinity	0.0000
x2	759.0000	483.5233	infinity	0.0000
x3	882.0000	513.8918	infinity	0.0000
x4	382.0000	-infinity	842.1032	460.1032
x5	1060.0000	-infinity	1520.1032	460.1032
x6	618.0000	-infinity	754.9100	136.9101
x7	591.0000	-infinity	630.9578	39.9578
x8	747.0000	690.4100	758.0027	0.0000
x9	937.0000	800.7858	1034.0372	0.0000
x10	1615.0000	1517.9628	infinity	0.0000
x11	1845.0000	849.8069	infinity	0.0000
x12	574.0000	-infinity	897.1931	323.1931
x13	1252.0000	-infinity	1575.1931	323.1931
x14	810.0000	622.8688	816.0045	0.0000
x15	774.0000	770.2020	infinity	0.0000
x16	1408.0000	-infinity	1510.1287	102.1287
x17	1306.0000	-infinity	1403.0372	97.0372

b)Cambiar los coeficientes de las restricciones del lado derecho
(Recursos)

Restr.	Recurso	Min Recurso	Max Recurso	Precio Dual
1	2127721.0000	2127721.0000	2127721.0000	0.2153
2	2195666.0000	1430554.6250	infinity	0.0000
3	2058083.0000	976395.0000	infinity	0.0000
4	1879701.0000	1003489.8750	infinity	0.0000
5	2021121.0000	1063420.3750	infinity	0.0000
6	2092262.0000	1021941.3750	infinity	0.0000
7	2160397.0000	1057645.1250	infinity	0.0000
8	2173789.0000	1141046.7500	infinity	0.0000
9	2143584.0000	820813.7500	infinity	0.0000
10	2452879.0000	1324260.3750	infinity	0.0000
11	2993242.0000	1883794.2500	infinity	0.0000
12	3155155.0000	2353716.8750	infinity	0.0000
13	22239.0000	21627.2096	infinity	0.0000
14	22239.0000	19899.4402	infinity	0.0000
15	22239.0000	6270.0000	infinity	0.0000
16	22239.0000	21634.7421	infinity	0.0000
17	22239.0000	19150.4348	infinity	0.0000
18	22239.0000	15807.4893	infinity	0.0000
19	22239.0000	20041.8794	infinity	0.0000
20	22239.0000	22239.0000	22239.0000	6.8862
21	22239.0000	12040.8808	infinity	0.0000
22	22239.0000	16570.0283	infinity	0.0000
23	22239.0000	17260.5889	infinity	0.0000
24	22239.0000	13017.5996	infinity	0.0000
25	120.0000	120.0000	120.0000	550.5427
26	80.0000	80.0000	80.0000	275.4767
27	190.0000	190.0000	190.0000	368.1082
28	200.0000	130.0000	infinity	0.0000
29	150.0000	40.0220	infinity	0.0000
30	260.0000	260.0000	260.0000	136.2142
31	190.0000	117.1426	infinity	0.0000
32	130.0000	130.0000	130.0000	3.7980
33	110.0000	95.0000	infinity	0.0000
34	40.0000	40.0000	40.0000	649.1509
35	125.0000	125.0000	125.0000	995.1931
36	50.0000	0.0000	infinity	0.0000
37	2506.0000	937.1647	infinity	0.0000

%MODELO 3 :EFICIENCIA=46%, SIN DERIVACION DE UCHUSUMA, SIN ROTACION DE CULTIVOS

% max c'*X

% A*X<=b

A=[1483	2022	2291	0	0	0	2291	0	0	0	0	0
1339	1826	2070	0	0	0	1948	0	0	0	0	0
1408	1921	2177	0	0	0	1921	0	0	0	0	1024
1076	1467	1663	0	783	0	0	783	783	0	0	1370
890	1213	1375	0	1132	0	0	1342	1132	647	728	1537
682	929	1053	0	1301	0	0	1301	1115	867	743	1053
741	1011	1146	0	1146	0	0	1213	1348	1415	1213	943
890	1213	1375	0	1132	0	0	970	970	1294	1698	0
1040	1418	1608	1513	0	567	567	0	0	1135	1891	0
1334	1820	2062	2547	0	1698	1456	0	0	0	1698	0
1399	1908	2162	2671	0	2671	2416	0	0	0	0	0
1557	2123	2406	2972	0	2830	2547	0	0	0	0	0
20	13	4	0	0	0	18	0	0	0	0	0
23	15	4	0	0	0	26	0	0	0	0	0
14	12	2	0	0	0	26	0	0	0	0	23
9	5	4	0	41	0	0	29	21	0	0	21
8	4	3	0	37	0	0	28	20	28	40	22
7	4	2	0	29	0	0	20	16	26	34	45
10	5	4	0	34	0	0	39	21	19	27	46
16	7	3	0	32	0	0	38	20	21	21	0
8	5	2	13	0	29	28	0	0	38	36	0
9	4	3	13	0	33	28	0	0	0	40	0
17	11	2	17	0	19	25	0	0	0	0	0
8	10	2	16	0	29	19	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1];

c=[980 ; 759 ; 882 ;847 ; 768 ; 169 ; 1077 ; 213 ; 186 ; 459 ; 561 ; 405];

b=[1582934 ; 1874880 ; 1909699 ; 1462406 ; 1331165 ; 1319328 ; 1312416 ; ...
 1272240 ; 1174176 ; 1159747 ; 1039392 ; 1157069 ; 22239 ; 22239 ; 22239 ; ...
 22239 ; 22239 ; 22239 ; 22239 ; 22239 ; 22239 ; 22239 ; 22239 ; ...
 120 ; 80 ; 190 ; 40 ; 260 ; 110 ; 125 ; 200 ; 150 ; 50 ; 130 ; 190 ; 2506];

Método de Karmarkar para "n" variables

Si esta en la forma canónica de Karmarkar $A*x=0$ $F=0$
Si esta en la forma $A*x \geq b$ $F=1$
Si esta en la forma estándar de optimo finito $A*x=b$ $F=2$

Ingreso F: 1

Para Minimizar $P=0$
Para Maximizar $P=1$

Ingreso P: 1

N.	x	F
1	120.00	117600.00
2	80.00	60720.00
3	190.00	167580.00
4	2.28	1935.90
5	260.00	199680.00
6	0.00	0.00
7	125.00	134625.00
8	0.00	0.00
9	102.69	19101.95
10	50.00	22950.00
11	130.00	72930.00
12	96.13	38932.65

La función objetivo optimizada F es: 836 058.589

Restr.	Recurso	Holgura
1)	1582934	521549.000000
2)	1874880	931320.000000
3)	1909699	834859.125000
4)	1462406	484254.468750
5)	1331165	180746.656250
6)	1319328	269156.125000
7)	1312416	169380.453125
8)	1272240	127772.273438
9)	1174176	253510.156250
10)	1159747	53737.820312
11)	1039392	0.000000
12)	1157069	18095.480469
13)	22239	15789.000000
14)	22239	14269.000000
15)	22239	13757.835938
16)	22239	5163.438965
17)	22239	0.000000
18)	22239	1469.630981
19)	22239	0.000000
20)	22239	5035.026367
21)	22239	10389.349609
22)	22239	11539.349609
23)	22239	15775.226562
24)	22239	17687.507812
25)	120	0.000000
26)	80	0.000000
27)	190	0.000000
28)	40	37.719208
29)	260	0.000000
30)	110	110.000000
31)	125	0.000000
32)	200	200.000000
33)	150	47.301311
34)	50	0.000000
35)	130	0.000000
36)	190	93.862442
37)	2506	1349.882935

*** Analisis de Sensibilidad ***

MODELO N°03

a) Cambiar los coeficientes de la funcion objetivo

Variable	Coef.	F.O.	Min Coef	Max Coef	Costo de Oportunidad
x1	980.0000		532.0382	infinity	0.0000
x2	759.0000		649.2462	infinity	0.0000
x3	882.0000		720.9296	infinity	0.0000
x4	847.0000		169.0000	1000.6438	0.0000
x5	768.0000		301.6572	infinity	0.0000
x6	169.0000		-infinity	847.0000	678.0000
x7	1077.0000		766.1370	infinity	0.0000
x8	213.0000		-infinity	344.4105	131.4105
x9	186.0000		184.8913	303.7223	0.0000
x10	459.0000		169.3886	infinity	0.0000
x11	561.0000		240.7336	infinity	0.0000
x12	405.0000		204.6000	407.4286	0.0000

b) Cambiar los coeficientes de las restricciones del lado derecho
(Recursos)

Restr.	Recurso	Min Recurso	Max Recurso	Precio Dual
1	1582934.0000	1061385.0000	infinity	0.0000
2	1874880.0000	943560.0000	infinity	0.0000
3	1909699.0000	1074839.8750	infinity	0.0000
4	1462406.0000	978151.5313	infinity	0.0000
5	1331165.0000	1150418.3438	infinity	0.0000
6	1319328.0000	1050171.8750	infinity	0.0000
7	1312416.0000	1143035.5469	infinity	0.0000
8	1272240.0000	1144467.7266	infinity	0.0000
9	1174176.0000	920665.8438	infinity	0.0000

10	1159747.0000	1106009.1797	infinity	0.0000
11	1039392.0000	1039392.0000	1039392.0000	0.3171
12	1157069.0000	1138973.5195	infinity	0.0000
13	22239.0000	6450.0000	infinity	0.0000
14	22239.0000	7970.0000	infinity	0.0000
15	22239.0000	8481.1641	infinity	0.0000
16	22239.0000	17075.5610	infinity	0.0000
17	22239.0000	22239.0000	22239.0000	0.1114
18	22239.0000	20769.3691	infinity	0.0000
19	22239.0000	22239.0000	22239.0000	8.7511
20	22239.0000	17203.9736	infinity	0.0000
21	22239.0000	11849.6504	infinity	0.0000
22	22239.0000	10699.6504	infinity	0.0000
23	22239.0000	6463.7734	infinity	0.0000
24	22239.0000	4551.4922	infinity	0.0000
25	120.0000	120.0000	120.0000	447.9618
26	80.0000	80.0000	80.0000	109.7538
27	190.0000	190.0000	190.0000	161.0704
28	40.0000	2.2808	infinity	0.0000
29	260.0000	260.0000	260.0000	466.3428
30	110.0000	0.0000	infinity	0.0000
31	125.0000	125.0000	125.0000	310.8630
32	200.0000	0.0000	infinity	0.0000
33	150.0000	102.6987	infinity	0.0000
34	50.0000	50.0000	50.0000	289.6114
35	130.0000	130.0000	130.0000	320.2664
36	190.0000	96.1376	infinity	0.0000
37	2506.0000	1156.1171	infinity	0.0000

%MODELO 4 :EFICIENCIA=46%, SIN DERIVACION DE UCHUSUMA, CON ROTACION DE CULTIVOS

% max c'*X

% A*X<=b

```
A=[1483 2022 2291 2696 2830 2291 2291 2830 2696 2830 2291 2696 2830 2291 2426 2830 2830
1339 1826 2070 0 0 1704 1704 2435 0 0 1948 0 0 1704 1461 0 0
1408 1921 2177 0 0 0 0 0 0 0 1921 0 0 0 0 0 0
1076 1467 1663 783 783 783 783 783 783 783 783 783 783 783 880 880 0
890 1213 1375 1342 1342 1342 1132 1132 1132 1132 1132 1132 1132 1132 970 970 647
682 929 1053 1301 1301 1301 1115 1115 1301 1301 1301 1177 1177 1177 1115 1115 867
741 1011 1146 1213 1213 1213 1348 1348 1146 1146 1146 1146 1146 1146 1415 1415 1415
890 1213 1375 970 970 970 970 970 1132 1132 1132 1132 1132 1132 1617 1617 1294
1040 1418 1608 0 0 0 0 851 0 0 567 0 0 0 1324 1324 1135
1334 1820 2062 728 1941 970 970 1456 728 1941 1456 728 1941 970 970 1941 1941
1399 1908 2162 1780 2671 1780 1780 2289 1780 2671 2416 1780 2671 1780 2111 2671 2671
1557 2123 2406 2972 2972 2689 2689 2972 2972 2547 2972 2972 2689 2972 2972 2972 2972
20 13 4 29 16 45 45 36 29 16 18 29 16 45 39 16 16
23 15 4 0 0 46 46 40 0 0 26 0 0 46 38 0 0
14 12 2 0 0 0 0 0 0 0 26 0 0 0 0 0 0
9 5 4 29 29 29 21 21 41 41 23 23 23 40 40 0
8 4 3 28 28 28 20 20 37 37 37 21 21 21 34 34 28
7 4 2 20 20 20 16 16 29 29 29 22 22 22 27 27 26
10 5 4 39 39 39 21 21 34 34 34 45 45 45 21 21 19
16 7 3 38 38 38 20 20 32 32 32 46 46 46 36 36 21
8 5 2 0 0 0 0 40 0 0 28 0 0 0 40 40 38
9 4 3 29 13 23 23 34 29 13 28 29 13 23 29 13 13
17 11 2 33 13 21 21 27 33 13 25 33 13 21 28 13 13
8 10 2 19 17 22 22 21 19 17 19 19 17 22 20 17 17
1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0
0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0
0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 1 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 1 0 0 1
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1];
```

c=[980 ; 759 ; 882 ; 382 ; 1060 ; 618 ; 591 ; 747 ; 937 ; 1615 ; 1845 ; 574 ; ...
1252 ; 810 ; 774 ; 1408 ; 1306];

b=[1582934 ; 1874880 ; 1909699 ; 1462406 ; 1331165 ; 1319328 ; 1312416 ; ...
1272240 ; 1174176 ; 1159747 ; 1039392 ; 1157069 ; 22239 ; 22239 ; 22239 ; ...
22239 ; 22239 ; 22239 ; 22239 ; 22239 ; 22239 ; 22239 ; 22239 ; 22239 ; ...
120 ; 80 ; 190 ; 200 ; 150 ; 260 ; 190 ; 130 ; 110 ; 40 ; 125 ; 50 ; 2506];

MODELO N°4 EFICIENCIA=46%, SIN DERIVACION DE UCHUSUMA, CON ROTACION DE CULTIVOS

Método de Karmarkar para "n" variables

Si esta en la forma canónica de Karmarkar $A*x=0$ $F=0$
Si esta en la forma $A*x \geq b$ $F=1$
Si esta en la forma estándar de optimo finito $A*x=b$ $F=2$

Ingrese F: 1

Para Minimizar $P=0$
Para Maximizar $P=1$

Ingrese P: 1

N.	x	F
1	120.00	117600.00
2	10.17	7719.25
3	190.00	167580.00
4	0.00	0.00
5	0.00	0.00
6	0.00	0.00
7	0.00	0.00
8	0.00	0.00
9	18.25	17101.37
10	40.00	64600.00
11	125.00	230625.00
12	0.00	0.00
13	0.00	0.00
14	0.00	0.00
15	0.00	0.00
16	0.00	0.00
17	0.00	0.00

La función objetivo optimizada F es: 605 225.630

Restr.	Recurso	Holgura
1)	1582934	500339.531250
2)	1874880	1058829.000000
3)	1909699	1067446.875000
4)	1462406	858910.500000
5)	1331165	743338.125000
6)	1319328	789560.000000
7)	1312416	785468.000000
8)	1272240	684413.125000
9)	1174176	658559.500000
10)	1159747	316450.218750
11)	1039392	0.000000
12)	1157069	0.000000
13)	22239	15527.501953
14)	22239	15316.445312
15)	22239	16806.957031
16)	22239	12834.850586
17)	22239	13888.025391
18)	22239	15664.035156
19)	22239	13997.609375
20)	22239	13813.770508
21)	22239	17348.148438
22)	22239	15999.035156
23)	22239	15459.837891
24)	22239	17395.525391
25)	120	0.000000
26)	80	69.829704
27)	190	0.000000
28)	200	200.000000
29)	150	150.000000
30)	260	76.748840
31)	190	190.000000
32)	130	130.000000
33)	110	91.748840
34)	40	0.000000
35)	125	0.000000
36)	50	50.000000
37)	2506	2002.578491

*** Analisis de Sensibilidad ***

MODELO N°04

a) Cambiar los coeficientes de la funcion objetivo

Variable	Coef. F.O.	Min Coef	Max Coef	Costo de Oportunidad
x1	980.0000	556.6026	infinity	0.0000
x2	759.0000	669.3308	778.3082	0.0000
x3	882.0000	860.1283	infinity	0.0000
x4	382.0000	-infinity	937.0000	555.0000
x5	1060.0000	-infinity	1615.0000	555.0000
x6	618.0000	-infinity	871.6557	253.6557
x7	591.0000	-infinity	871.6557	280.6557
x8	747.0000	-infinity	1008.7088	261.7088
x9	937.0000	850.7142	1062.5285	0.0000
x10	1615.0000	1408.0000	infinity	0.0000
x11	1845.0000	928.4689	infinity	0.0000
x12	574.0000	-infinity	937.0000	363.0000
x13	1252.0000	-infinity	1615.0000	363.0000
x14	810.0000	-infinity	871.6557	61.6557
x15	774.0000	-infinity	983.6318	209.6319
x16	1408.0000	-infinity	1615.0000	207.0000
x17	1306.0000	-infinity	1615.0000	309.0000

b) Cambiar los coeficientes de las restricciones del lado derecho
(Recursos)

Restr.	Recurso	Min Recurso	Max Recurso	Precio Dual
1	1582934.0000	1082594.4688	infinity	0.0000
2	1874880.0000	816051.0000	infinity	0.0000
3	1909699.0000	842252.1250	infinity	0.0000
4	1462406.0000	603495.5000	infinity	0.0000
5	1331165.0000	587826.8750	infinity	0.0000
6	1319328.0000	529768.0000	infinity	0.0000
7	1312416.0000	526948.0000	infinity	0.0000
8	1272240.0000	587826.875	infinity	0.0000
9	1174176.0000	515616.5000	infinity	0.0000
10	1159747.0000	843296.7813	infinity	0.0000
11	1039392.0000	1039392.0000	1039392.0000	0.1409
12	1157069.0000	1157069.0000	1157069.0000	0.2309
13	22239.0000	6711.4980	infinity	0.0000
14	22239.0000	6922.5547	infinity	0.0000
15	22239.0000	5432.0430	infinity	0.0000
16	22239.0000	9404.1494	infinity	0.0000
17	22239.0000	8350.9746	infinity	0.0000
18	22239.0000	6574.9648	infinity	0.0000
19	22239.0000	8241.3906	infinity	0.0000
20	22239.0000	8425.2295	infinity	0.0000
21	22239.0000	4890.8516	infinity	0.0000
22	22239.0000	6239.9648	infinity	0.0000
23	22239.0000	6779.1621	infinity	0.0000
24	22239.0000	4843.4746	infinity	0.0000
25	120.0000	120.0000	120.0000	423.3974
26	80.0000	10.1703	infinity	0.0000
27	190.0000	190.0000	190.0000	21.8717
28	200.0000	0.0000	infinity	0.0000
29	150.0000	0.0000	infinity	0.0000
30	260.0000	183.2512	infinity	0.0000
31	190.0000	0.0000	infinity	0.0000
32	130.0000	0.0000	infinity	0.0000
33	110.0000	18.2512	infinity	0.0000
34	40.0000	40.0000	40.0000	552.4744
35	125.0000	125.0000	125.0000	916.5311
36	50.0000	0.0000	infinity	0.0000
37	2506.0000	503.4215	infinity	0.0000

%MODELO 5 :EFICIENCIA=31%, CON DERIVACION DE UCHUSUMA, CON ROTACION DE CULTIVOS

% max c'*X

% A*X<=b

A=	[22003000	3400	0	0	0	3400	0	0	0	0	0	0
	19872710	3071	0	0	0	2890	0	0	0	0	0	0
	20902850	3230	0	0	0	2850	0	0	0	0	0	1520
	15972177	2468	0	1161	0	0	1161	1161	0	0	0	2032
	13201800	2040	0	1680	0	0	1992	1680	960	1080	2280	2280
	10111379	1563	0	1931	0	0	1931	1655	1287	1103	1563	1563
	11001500	1700	0	1700	0	0	1800	2000	2100	1800	1400	1400
	13201800	2040	0	1680	0	0	1440	1440	1920	2520	0	0
	15442105	2385	2245	0	842	842	0	0	1684	2806	0	0
	19802700	3060	3780	0	2520	2160	0	0	0	2520	0	0
	20762831	3208	3963	0	3963	3585	0	0	0	0	0	0
	23103150	3570	4410	0	4200	3780	0	0	0	0	0	0
	20	13	4	0	0	18	0	0	0	0	0	0
	23	15	4	0	0	26	0	0	0	0	0	0
	14	12	2	0	0	26	0	0	0	0	0	23
	9	5	4	0	41	0	29	21	0	0	0	21
	8	4	3	0	37	0	28	20	28	40	22	22
	7	4	2	0	29	0	20	16	26	34	45	45
	10	5	4	0	34	0	39	21	19	27	46	46
	16	7	3	0	32	0	38	20	21	21	0	0
	8	5	2	13	0	29	28	0	38	36	0	0
	9	4	3	13	0	33	28	0	0	40	0	0
	17	11	2	17	0	19	25	0	0	0	0	0
	8	10	2	16	0	29	19	0	0	0	0	0
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1];

c=[980 ; 759 ; 882 ;847 ; 768 ; 169 ; 1077 ; 213 ; 186 ; 459 ; 561 ; 405];

b=[2127721 ; 2195666 ; 2058083 ; 1879701 ; 2021121 ; 2092262 ; 2160397 ; ...
 2173789 ; 2143584 ; 2452879 ; 2993242 ; 3155155 ; 22239 ; 22239 ; ...
 22239 ; 22239 ; 22239 ; 22239 ; 22239 ; 22239 ; 22239 ; 22239 ; ...
 22239 ; 22239 ; 120 ; 80 ; 190 ; 40 ; 260 ; 110 ; 125 ; 200 ; 150 ; ...
 50 ; 130 ; 190 ; 2506];

Método de Karmarkar para "n" variables

Si esta en la forma canónica de Karmarkar $A*x=0$ $F=0$
Si esta en la forma $A*x \geq b$ $F=1$
Si esta en la forma estándar de optimo finito $A*x=b$ $F=2$

Ingrese F: 1

Para Minimizar $P=0$

Para Maximizar $P=1$

Ingrese P: 1

N.	x	F
1	120.00	117600.00
2	80.00	60720.00
3	190.00	167580.00
4	40.00	33880.00
5	260.00	199680.00
6	110.00	18590.00
7	125.00	134625.00
8	0.00	0.00
9	102.69	19101.95
10	50.00	22950.00
11	130.00	72930.00
12	96.13	38932.65

La función objetivo optimizada F es: 886 592.686

Restr.	Recurso	Holgura
1)	2127721	552721.000000
2)	2195666	795686.000000
3)	2058083	463203.906250
4)	1879701	428536.312500
5)	2021121	314193.562500
6)	2092262	533622.687500
7)	2160397	464407.031250
8)	2173789	475502.875000
9)	2143584	600104.000000
10)	2452879	391879.000000
11)	2993242	865547.000000
12)	3155155	836755.000000
13)	22239	15789.000000
14)	22239	14269.000000
15)	22239	13757.835938
16)	22239	5163.438965
17)	22239	0.000000
18)	22239	1469.630981
19)	22239	0.000000
20)	22239	5035.026367
21)	22239	6709.000000
22)	22239	7419.000000
23)	22239	13044.000000
24)	22239	13894.000000
25)	120	0.000000
26)	80	0.000000
27)	190	0.000000
28)	40	0.000000
29)	260	0.000000
30)	110	0.000000
31)	125	0.000000
32)	200	200.000000
33)	150	47.301311
34)	50	0.000000
35)	130	0.000000
36)	190	93.862442
37)	2506	1202.163696

*** Analisis de Sensibilidad ***

MODELO N°05

a) Cambiar los coeficientes de la funcion objetivo

Variable	Coef.	F.O.	Min Coef	Max Coef	Costo de Oportunidad
x1	980.0000		88.4017	infinity	0.0000
x2	759.0000		44.2009	infinity	0.0000
x3	882.0000		35.3384	infinity	0.0000
x4	847.0000		0.0000	infinity	0.0000
x5	768.0000		301.6572	infinity	0.0000
x6	169.0000		0.0000	infinity	0.0000
x7	1077.0000		0.0000	infinity	0.0000
x8	213.0000		-infinity	344.4105	131.4105
x9	186.0000		184.8913	303.7223	0.0000
x10	459.0000		169.3886	infinity	0.0000
x11	561.0000		240.7336	infinity	0.0000
x12	405.0000		204.6000	407.4286	0.0000

b) Cambiar los coeficientes de las restricciones del lado derecho
(Recursos)

Restr.	Recurso	Min Recurso	Max Recurso	Precio Dual
1	2127721.0000	1575000.0000	infinity	0.0000
2	2195666.0000	1399980.0000	infinity	0.0000
3	2058083.0000	1594879.0938	infinity	0.0000
4	1879701.0000	1451164.6875	infinity	0.0000
5	2021121.0000	1706927.4375	infinity	0.0000
6	2092262.0000	1558639.3125	infinity	0.0000
7	2160397.0000	1695989.9688	infinity	0.0000
8	2173789.0000	1698286.1250	infinity	0.0000
9	2143584.0000	1543480.0000	infinity	0.0000

10	2452879.0000	2061000.0000	infinity	0.0000
11	2993242.0000	2127695.0000	infinity	0.0000
12	3155155.0000	2318400.0000	infinity	0.0000
13	22239.0000	6450.0000	infinity	0.0000
14	22239.0000	7970.0000	infinity	0.0000
15	22239.0000	8481.1641	infinity	0.0000
16	22239.0000	17075.5610	infinity	0.0000
17	22239.0000	22239.0000	22239.0000	0.1114
18	22239.0000	20769.3691	infinity	0.0000
19	22239.0000	22239.0000	22239.0000	8.7511
20	22239.0000	17203.9736	infinity	0.0000
21	22239.0000	15530.0000	infinity	0.0000
22	22239.0000	14820.0000	infinity	0.0000
23	22239.0000	9195.0000	infinity	0.0000
24	22239.0000	8345.0000	infinity	0.0000
25	120.0000	120.0000	120.0000	891.5983
26	80.0000	80.0000	80.0000	714.7991
27	190.0000	190.0000	190.0000	846.6616
28	40.0000	40.0000	40.0000	847.0000
29	260.0000	260.0000	260.0000	466.3428
30	110.0000	110.0000	110.0000	169.0000
31	125.0000	125.0000	125.0000	1077.0000
32	200.0000	0.0000	infinity	0.0000
33	150.0000	102.6987	infinity	0.0000
34	50.0000	50.0000	50.0000	289.6114
35	130.0000	130.0000	130.0000	320.2664
36	190.0000	96.1376	infinity	0.0000
37	2506.0000	1303.8362	infinity	0.0000

%MODELO 6 :EFICIENCIA=31%, CON DERIVACION DE UCHUSUMA, CON ROTACION DE CULTIVOS

% max c'*X

% A*X<=b

```
A=[2200 3000 3400 4000 4200 3400 3400 4200 4000 4200 3400 4000 4200 3400 3600 4200 4200
1987 2710 3071 0 0 2529 2529 3613 0 0 2890 0 0 2529 2168 0 0
2090 2850 3230 0 0 0 0 0 0 0 2850 0 0 0 0 0 0
1597 2177 2468 1161 1161 1161 1161 1161 1161 1161 1161 1161 1161 1161 1306 1306 0
1320 1800 2040 1992 1992 1992 1680 1680 1680 1680 1680 1680 1680 1680 1440 1440 960
1011 1379 1563 1931 1931 1931 1655 1655 1931 1931 1931 1747 1747 1747 1655 1655 1287
1100 1500 0 1800 1800 1800 2000 2000 1700 1700 1700 1700 1700 1700 2100 2100 2100
1320 1800 2040 1440 1440 1440 1440 1440 1680 1680 1680 1680 1680 1680 2400 2400 1920
1544 2105 2385 0 0 0 0 1263 0 0 842 0 0 0 1965 1965 1684
1980 2700 3060 1080 2880 1440 1440 2160 1080 2880 2160 1080 2880 1440 1440 2880 2880
2076 2831 3208 2642 3963 2642 2642 3397 2642 3963 3585 2642 3963 2642 3133 3963 3963
2310 3150 3570 4410 4410 3990 3990 4410 4410 4410 3780 4410 4410 3990 4410 4410 4410
20 13 4 29 16 45 45 36 29 16 18 29 16 45 39 16 16
23 15 4 0 0 46 46 40 0 0 26 0 0 46 38 0 0
14 12 2 0 0 0 0 0 0 0 26 0 0 0 0 0 0
9 5 4 29 29 29 21 21 41 41 41 23 23 23 40 40 0
8 4 3 28 28 28 20 20 37 37 37 21 21 21 34 34 28
7 4 2 20 20 20 16 16 29 29 29 22 22 22 27 27 26
10 5 4 39 39 39 21 21 34 34 34 45 45 45 21 21 19
16 7 3 38 38 38 20 20 32 32 32 46 46 46 36 36 21
8 5 2 0 0 0 0 40 0 0 28 0 0 0 40 40 38
9 4 3 29 13 23 23 34 29 13 28 29 13 23 29 13 13
17 11 2 33 13 21 21 27 33 13 25 33 13 21 28 13 13
8 10 2 19 17 22 22 21 19 17 19 19 17 22 20 17 17
1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0
0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 1 1 1 1 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0
0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 1 0 0 0 0 0
0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 1 0 0 1 1
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1];
```

c=[980 ; 759 ; 882 ; 382 ; 1060 ; 618 ; 591 ; 747 ; 937 ; 1615 ; 1845 ; 574 ; ...
1252 ; 810 ; 774 ; 1408 ; 1306];

b=[2127721 ; 2195666 ; 2058083 ; 1879701 ; 2021121 ; 2092262 ; 2160397 ; ...
2173789 ; 2143584 ; 2452879 ; 2993242 ; 3155155 ; 22239 ; 22239 ; 22239 ; ...
22239 ; 22239 ; 22239 ; 22239 ; 22239 ; 22239 ; 22239 ; 22239 ; 22239 ; ...
120 ; 80 ; 190 ; 200 ; 150 ; 260 ; 190 ; 130 ; 110 ; 40 ; 125 ; 50 ; 2506];

Método de Karmarkar para "n" variables

Si esta en la forma canónica de Karmarkar $A*x=0$ $F=0$
Si esta en la forma $A*x \geq b$ $F=1$
Si esta en la forma estándar de optimo finito $A*x=b$ $F=2$

Ingrese F: 1

Para Minimizar $P=0$
Para Maximizar $P=1$

Ingrese P: 1

N.	x	F
1	120.00	117600.00
2	80.00	60720.00
3	190.00	167580.00
4	0.00	0.00
5	0.00	0.00
6	0.00	0.00
7	0.00	0.00
8	0.00	0.00
9	0.00	0.00
10	40.00	64600.00
11	125.00	230625.00
12	0.00	0.00
13	0.00	0.00
14	113.15	91654.09
15	0.00	0.00
16	0.00	0.00
17	0.00	0.00

La función objetivo optimizada F es: 732 779.090

Restr.	Recurso	Holgura
1)	2127721	0.000000
2)	2195666	509521.468750
3)	2058083	609333.000000
4)	1879701	722045.125000
5)	2021121	863823.562500
6)	2092262	1047358.312500
7)	2160397	1435536.500000
8)	2173789	1016491.562500
9)	2143584	1231504.000000
10)	2452879	869738.312500
11)	2993242	1002526.125000
12)	3155155	847273.562500
13)	22239	10057.104492
14)	22239	9063.951172
15)	22239	15969.000000
16)	22239	10631.475586
17)	22239	11907.782227
18)	22239	13424.628906
19)	22239	9177.104492
20)	22239	8703.951172
21)	22239	16999.000000
22)	22239	13646.475586
23)	22239	12917.782227
24)	22239	14554.628906
25)	120	0.000000
26)	80	0.000000
27)	190	0.000000
28)	200	200.000000
29)	150	150.000000
30)	260	95.000000
31)	190	76.846764
32)	130	130.000000
33)	110	110.000000
34)	40	0.000000
35)	125	0.000000
36)	50	50.000000
37)	2506	1837.846802

*** Analisis de Sensibilidad ***

MODELO N°06

a) Cambiar los coeficientes de la funcion objetivo

Variable	Coef. F.O.	Min Coef	Max Coef	Costo de Oportunidad
x1	980.0000	524.1176	infinity	0.0000
x2	759.0000	714.7059	infinity	0.0000
x3	882.0000	810.0000	infinity	0.0000
x4	382.0000	-infinity	952.9411	570.9411
x5	1060.0000	-infinity	1615.0000	555.0000
x6	618.0000	-infinity	810.0000	192.0000
x7	591.0000	-infinity	810.0000	219.0000
x8	747.0000	-infinity	1000.5882	253.5882
x9	937.0000	-infinity	952.9411	15.9411
x10	1615.0000	1408.0000	infinity	0.0000
x11	1845.0000	810.0000	infinity	0.0000
x12	574.0000	-infinity	952.9411	378.9411
x13	1252.0000	-infinity	1615.0000	363.0000
x14	810.0000	796.4500	860.1200	0.0000
x15	774.0000	-infinity	857.6470	83.6470
x16	1408.0000	-infinity	1615.0000	207.0000
x17	1306.0000	-infinity	1615.0000	309.0000

b)Cambiar los coeficientes de las restricciones del lado derecho
(Recursos)

Restr.	Recurso	Min Recurso	Max Recurso	Precio Dual
1	2127721.0000	2127721.0000	2127721.0000	0.2382
2	2195666.0000	1686144.5313	infinity	0.0000
3	2058083.0000	1448750.0000	infinity	0.0000
4	1879701.0000	1157655.8750	infinity	0.0000
5	2021121.0000	1157297.4375	infinity	0.0000
6	2092262.0000	1044903.6875	infinity	0.0000
7	2160397.0000	724860.5000	infinity	0.0000
8	2173789.0000	1157297.4375	infinity	0.0000
9	2143584.0000	912080.0000	infinity	0.0000
10	2452879.0000	1583140.6875	infinity	0.0000
11	2993242.0000	1990715.8750	infinity	0.0000
12	3155155.0000	2307881.4375	infinity	0.0000
13	22239.0000	12181.8955	infinity	0.0000
14	22239.0000	13175.0488	infinity	0.0000
15	22239.0000	6270.0000	infinity	0.0000
16	22239.0000	11607.5244	infinity	0.0000
17	22239.0000	10331.2177	infinity	0.0000
18	22239.0000	8814.3711	infinity	0.0000
19	22239.0000	13061.8955	infinity	0.0000
20	22239.0000	13535.0488	infinity	0.0000
21	22239.0000	5240.0000	infinity	0.0000
22	22239.0000	8592.5244	infinity	0.0000
23	22239.0000	9321.2177	infinity	0.0000
24	22239.0000	7684.3711	infinity	0.0000
25	120.0000	120.0000	120.0000	455.8823
26	80.0000	80.0000	80.0000	44.2941
27	190.0000	190.0000	190.0000	72.0000
28	200.0000	0.0000	infinity	0.0000
29	150.0000	0.0000	infinity	0.0000
30	260.0000	165.0000	infinity	0.0000
31	190.0000	113.1532	infinity	0.0000
32	130.0000	0.0000	infinity	0.0000
33	110.0000	0.0000	infinity	0.0000
34	40.0000	40.0000	40.0000	614.4117
35	125.0000	125.0000	125.0000	1035.0000
36	50.0000	0.0000	infinity	0.0000
37	2506.0000	668.1532	infinity	0.0000

%MODELO 7 :EFICIENCIA=31%, SIN DERIVACION DE UCHUSUMA, SIN ROTACION DE CULTIVOS

% max c'*X

% A*X<=b

```

A=[22003000 3400 0 0 0 3400 0 0 0 0 0
19872710 3071 0 0 0 2890 0 0 0 0 0
20902850 3230 0 0 0 2850 0 0 0 0 1520
15972177 2468 0 1161 0 0 1161 1161 0 0 2032
13201800 2040 0 1680 0 0 1992 1680 960 1080 2280
10111379 1563 0 1931 0 0 1931 1655 1287 1103 1563
11001500 1700 0 1700 0 0 1800 2000 2100 1800 1400
13201800 2040 0 1680 0 0 1440 1440 1920 2520 0
15442105 2385 2245 0 842 842 0 0 1684 2806 0
19802700 3060 3780 0 2520 2160 0 0 0 2520 0
20762831 3208 3963 0 3963 3585 0 0 0 0 0
23103150 3570 4410 0 4200 3780 0 0 0 0 0
20 13 4 0 0 0 18 0 0 0 0
23 15 4 0 0 0 26 0 0 0 0
14 12 2 0 0 0 26 0 0 0 23
9 5 4 0 41 0 29 21 0 0 21
8 4 3 0 37 0 28 20 28 40 22
7 4 2 0 29 0 20 16 26 34 45
10 5 4 0 34 0 0 39 21 19 27 46
16 7 3 0 32 0 38 20 21 21 0
8 5 2 13 0 29 28 0 0 38 36 0
9 4 3 13 0 33 28 0 0 0 40 0
17 11 2 17 0 19 25 0 0 0 0 0
8 10 2 16 0 29 19 0 0 0 0 0
1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1];

```

c=[980 ; 759 ; 882 ;847 ; 768 ; 169 ; 1077 ; 213 ; 186 ; 459 ; 561 ; 405];

b=[1582934 ; 1874880 ; 1909699 ; 1462406 ; 1331165 ; 1319328 ; 1312416 ; ...
1272240 ; 1174176 ; 1159747 ; 1039392 ; 1157069 ; 22239 ; 22239 ; 22239 ; ...
22239 ; 22239 ; 22239 ; 22239 ; 22239 ; 22239 ; 22239 ; 22239 ; 22239 ; ...
120 ; 80 ; 190 ; 40 ; 260 ; 110 ; 125 ; 200 ; 150 ; 50 ; 130 ; 190 ; 2506];

Método de Karmarkar para "n" variables

Si esta en la forma canónica de Karmarkar $A*x=0$ $F=0$
Si esta en la forma $A*x \geq b$ $F=1$
Si esta en la forma estándar de optimo finito $A*x=b$ $F=2$

Ingrese F: 1

Para Minimizar $P=0$
Para Maximizar $P=1$

Ingrese P: 1

N.	x	F
1	120.00	117600.00
2	0.00	0.00
3	88.93	78440.14
4	14.34	12149.36
5	260.00	199680.00
6	0.00	0.00
7	125.00	134625.00
8	0.00	0.00
9	0.00	0.00
10	50.00	22950.00
11	129.28	72930.00
12	160.92	65175.79

La función objetivo optimizada F es: 703 146.781

Restr.	Recurso	Holgura
1)	1582934	591556.937500
2)	1874880	1002072.375000
3)	1909699	770780.375000
4)	1462406	422410.312500
5)	1331165	0.000000
6)	1319328	98466.585938
7)	1312416	24223.207031
8)	1272240	73826.531250
9)	1174176	192373.546875
10)	1159747	0.000000
11)	1039392	0.000000
12)	1157069	26615.958984
13)	22239	17233.261719
14)	22239	15873.262695
15)	22239	13429.789062
16)	22239	6763.775879
17)	22239	1280.556152
18)	22239	743.832153
19)	22239	0.000000
20)	22239	7967.302734
21)	22239	10860.555664
22)	22239	12034.498047
23)	22239	16652.283203
24)	22239	18496.626953
25)	120	0.000000
26)	80	80.000000
27)	190	101.065582
28)	40	25.655973
29)	260	0.000000
30)	110	110.000000
31)	125	0.000000
32)	200	200.000000
33)	150	150.000000
34)	50	0.000000
35)	130	0.719345
36)	190	29.072073
37)	2506	1557.512939

*** Analisis de Sensibilidad ***

MODELO N°07

a) Cambiar los coeficientes de la funcion objetivo

Variable	Coef. F.O.	Min Coef	Max Coef	Costo de Oportunidad
x1	980.0000	603.8415	infinity	0.0000
x2	759.0000	-infinity	784.8400	25.8401
x3	882.0000	851.3386	1048.0245	0.0000
x4	847.0000	641.9018	1042.1038	0.0000
x5	768.0000	298.8914	infinity	0.0000
x6	169.0000	-infinity	674.0615	505.0615
x7	1077.0000	593.3475	infinity	0.0000
x8	213.0000	-infinity	348.5275	135.5275
x9	186.0000	-infinity	240.8068	54.8068
x10	459.0000	168.8802	infinity	0.0000
x11	561.0000	215.1204	779.7913	0.0000
x12	405.0000	276.4533	982.2837	0.0000

b) Cambiar los coeficientes de las restricciones del lado derecho
(Recursos)

Restr.	Recurso	Min Recurso	Max Recurso	Precio Dual
1	1582934.0000	991377.0625	infinity	0.0000
2	1874880.0000	872807.6250	infinity	0.0000
3	1909699.0000	1138918.6250	infinity	0.0000
4	1462406.0000	1039995.6875	infinity	0.0000
5	1331165.0000	1331165.0000	1331165.0000	0.0875
6	1319328.0000	1220861.4141	infinity	0.0000
7	1312416.0000	1288192.7930	infinity	0.0000
8	1272240.0000	1198413.4688	infinity	0.0000
9	1174176.0000	981802.4531	infinity	0.0000

10	1159747.0000	1159747.0000	1159747.0000	0.1373
11	1039392.0000	1039392.0000	1039392.0000	0.0828
12	1157069.0000	1130453.0410	infinity	0.0000
13	22239.0000	5005.7383	infinity	0.0000
14	22239.0000	6365.7373	infinity	0.0000
15	22239.0000	8809.2109	infinity	0.0000
16	22239.0000	15475.2241	infinity	0.0000
17	22239.0000	20958.4438	infinity	0.0000
18	22239.0000	21495.1678	infinity	0.0000
19	22239.0000	22239.0000	22239.0000	4.4680
20	22239.0000	14271.6973	infinity	0.0000
21	22239.0000	11378.4443	infinity	0.0000
22	22239.0000	10204.5019	infinity	0.0000
23	22239.0000	5586.7168	infinity	0.0000
24	22239.0000	3742.3730	infinity	0.0000
25	120.0000	120.0000	120.0000	376.1585
26	80.0000	0.0000	infinity	0.0000
27	190.0000	88.9344	infinity	0.0000
28	40.0000	14.3440	infinity	0.0000
29	260.0000	260.0000	260.0000	469.1086
30	110.0000	0.0000	infinity	0.0000
31	125.0000	125.0000	125.0000	483.6525
32	200.0000	0.0000	infinity	0.0000
33	150.0000	0.0000	infinity	0.0000
34	50.0000	50.0000	50.0000	290.1198
35	130.0000	129.2807	infinity	0.0000
36	190.0000	160.9279	infinity	0.0000
37	2506.0000	948.4871	infinity	0.0000

%MODELO 8 :EFICIENCIA=31%, SIN DERIVACION DE UCHUSUMA, CON ROTACION DE CULTIVOS

% max c'*X

% A*X<=b

```
A=[2200 3000 3400 4000 4200 3400 3400 4200 4000 4200 3400 4000 4200 3400 3600 4200 4200
1987 2710 3071 0 0 2529 2529 3613 0 0 2890 0 0 2529 2168 0 0
2090 2850 3230 0 0 0 0 0 0 0 2850 0 0 0 0 0 0
1597 2177 2468 1161 1161 1161 1161 1161 1161 1161 1161 1161 1161 1161 1306 1306 0
1320 1800 2040 1992 1992 1992 1680 1680 1680 1680 1680 1680 1680 1680 1440 1440 960
1011 1379 1563 1931 1931 1931 1655 1655 1931 1931 1931 1747 1747 1747 1655 1655 1287
1100 1500 0 1800 1800 1800 2000 2000 1700 1700 1700 1700 1700 1700 2100 2100 2100
1320 1800 2040 1440 1440 1440 1440 1440 1680 1680 1680 1680 1680 1680 2400 2400 1920
1544 2105 2385 0 0 0 0 0 1263 0 0 842 0 0 0 1965 1965 1684
1980 2700 3060 1080 2880 1440 1440 2160 1080 2880 2160 1080 2880 1440 1440 2880 2880
2076 2831 3208 2642 3963 2642 2642 3397 2642 3963 3585 2642 3963 2642 3133 3963 3963
2310 3150 3570 4410 4410 3990 3990 4410 4410 4410 3780 4410 4410 3990 4410 4410 4410
20 13 4 29 16 45 45 36 29 16 18 29 16 45 39 16 16
23 15 4 0 0 46 46 40 0 0 26 0 0 46 38 0 0
14 12 2 0 0 0 0 0 0 0 26 0 0 0 0 0 0
9 5 4 29 29 29 21 21 41 41 41 23 23 23 40 40 0
8 4 3 28 28 28 20 20 37 37 37 21 21 21 34 34 28
7 4 2 20 20 20 16 16 29 29 29 22 22 22 27 27 26
10 5 4 39 39 39 21 21 34 34 34 45 45 45 21 21 19
16 7 3 38 38 38 20 20 32 32 32 46 46 46 36 36 21
8 5 2 0 0 0 0 0 40 0 0 28 0 0 40 40 38
9 4 3 29 13 23 23 34 29 13 28 29 13 23 29 13 13
17 11 2 33 13 21 21 27 33 13 25 33 13 21 28 13 13
8 10 2 19 17 22 22 21 19 17 19 19 17 22 20 17 17
1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0
0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 1 1 1 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0
0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 1 0 0 0 0
0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 1 0 0 1
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1];
```

c=[980 ; 759 ; 882 ; 382 ; 1060 ; 618 ; 591 ; 747 ; 937 ; 1615 ; 1845 ; 574 ; ...
1252 ; 810 ; 774 ; 1408 ; 1306];

b=[1582934 ; 1874880 ; 1909699 ; 1462406 ; 1331165 ; 1319328 ; 1312416 ; ...
1272240 ; 1174176 ; 1159747 ; 1039392 ; 1157069 ; 22239 ; 22239 ; 22239 ; ...
22239 ; 22239 ; 22239 ; 22239 ; 22239 ; 22239 ; 22239 ; 22239 ; 22239 ; ...
120 ; 80 ; 190 ; 200 ; 150 ; 260 ; 190 ; 130 ; 110 ; 40 ; 125 ; 50 ; 2506];

Método de Karmarkar para "n" variables

Si esta en la forma canónica de Karmarkar $A*x=0$ $F=0$
Si esta en la forma $A*x \geq b$ $F=1$
Si esta en la forma estándar de optimo finito $A*x=b$ $F=2$

Ingrese F: 1

Para Minimizar $P=0$
Para Maximizar $P=1$

Ingrese P: 1

N.	x	F
1	120.00	117600.00
2	0.00	0.00
3	42.32	37330.29
4	0.00	0.00
5	0.00	0.00
6	0.00	0.00
7	0.00	0.00
8	0.00	0.00
9	18.11	16970.10
10	40.00	64600.00
11	125.00	230625.00
12	0.00	0.00
13	0.00	0.00
14	0.00	0.00
15	0.00	0.00
16	0.00	0.00
17	0.00	0.00

La función objetivo optimizada F es: 467 125.400

Restr.	Recurso	Holgura
1)	1582934	509585.750000
2)	1874880	1145211.125000
3)	1909699	1165940.500000
4)	1462406	953716.812500
5)	1331165	778796.062500
6)	1319328	778267.000000
7)	1312416	869127.062500
8)	1272240	719871.062500
9)	1174176	782701.812500
10)	1159747	387873.625000
11)	1039392	0.000000
12)	1157069	0.000000
13)	22239	16254.478516
14)	22239	16059.701172
15)	22239	17224.351562
16)	22239	13482.144531
17)	22239	14376.914062
18)	22239	16004.127930
19)	22239	14643.922852
20)	22239	14332.469727
21)	22239	17694.351562
22)	22239	16486.802734
23)	22239	15871.683594
24)	22239	17795.238281
25)	120	0.000000
26)	80	80.000000
27)	190	147.675385
28)	200	200.000000
29)	150	150.000000
30)	260	76.888863
31)	190	190.000000
32)	130	130.000000
33)	110	91.888863
34)	40	0.000000
35)	125	0.000000
36)	50	50.000000
37)	2506	2160.564209

*** Analisis de Sensibilidad ***

MODELO N°08

a) Cambiar los coeficientes de la funcion objetivo

Variable	Coef. F.O.	Mín Coef	Max Coef	Costo de Oportunidad
x1	980.0000	570.7331	infinity	0.0000
x2	759.0000	-infinity	778.2828	19.2828
x3	882.0000	860.1556	1138.7351	0.0000
x4	382.0000	-infinity	937.0000	555.0000
x5	1060.0000	-infinity	1615.0000	555.0000
x6	618.0000	-infinity	876.8190	258.8190
x7	591.0000	-infinity	876.8190	285.8190
x8	747.0000	-infinity	1024.1878	277.1878
x9	937.0000	843.4500	1089.5294	0.0000
x10	1615.0000	1408.0000	infinity	0.0000
x11	1845.0000	955.6266	infinity	0.0000
x12	574.0000	-infinity	937.0000	363.0000
x13	1252.0000	-infinity	1615.0000	363.0000
x14	810.0000	-infinity	876.1990	66.8190
x15	774.0000	-infinity	993.7009	219.7009
x16	1408.0000	-infinity	1615.0000	207.0000
x17	1306.0000	-infinity	1615.0000	309.0000

b) Cambiar los coeficientes de las restricciones del lado derecho
(Recursos)

Restr.	Recurso	Min Recurso	Max Recurso	Precio Dual
1	1582934.0000	1073348.2500	infinity	0.0000
2	1874880.0000	729668.8750	infinity	0.0000
3	1909699.0000	743758.5000	infinity	0.0000
4	1462406.0000	508689.1875	infinity	0.0000
5	1331165.0000	552368.9375	infinity	0.0000
6	1319328.0000	541061.0000	infinity	0.0000
7	1312416.0000	443288.9375	infinity	0.0000
8	1272240.0000	552368.9375	infinity	0.0000
9	1174176.0000	391474.1875	infinity	0.0000
10	1159747.0000	771873.3750	infinity	0.0000
11	1039392.0000	1039392.0000	1039392.0000	0.1154
12	1157069.0000	1157069.0000	1157069.0000	0.1432
13	22239.0000	5984.5215	infinity	0.0000
14	22239.0000	6179.2988	infinity	0.0000
15	22239.0000	5014.6484	infinity	0.0000
16	22239.0000	8756.8554	infinity	0.0000
17	22239.0000	7862.0859	infinity	0.0000
18	22239.0000	6234.8721	infinity	0.0000
19	22239.0000	7595.0771	infinity	0.0000
20	22239.0000	7906.5303	infinity	0.0000
21	22239.0000	4544.6484	infinity	0.0000
22	22239.0000	5752.1972	infinity	0.0000
23	22239.0000	6367.3164	infinity	0.0000
24	22239.0000	4443.7617	infinity	0.0000
25	120.0000	120.0000	120.0000	409.2669
26	80.0000	0.0000	infinity	0.0000
27	190.0000	42.3246	infinity	0.0000
28	200.0000	0.0000	infinity	0.0000
29	150.0000	0.0000	infinity	0.0000
30	260.0000	183.1112	infinity	0.0000
31	190.0000	0.0000	infinity	0.0000
32	130.0000	0.0000	infinity	0.0000
33	110.0000	18.1112	infinity	0.0000
34	40.0000	40.0000	40.0000	525.4502
35	125.0000	125.0000	125.0000	889.3733
36	50.0000	0.0000	infinity	0.0000
37	2506.0000	345.4358	infinity	0.0000