

CUADERNOS DEL ISIP

INSTITUTO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES PECUARIAS (ISIP)

Revista de la Facultad de
Medicina Veterinaria y Zootecnia

Volumen I, No. 1

SUMARIO:

GESTION DE GRANDES CENTROS DE INSTRUMENTOS CIENTIFICOS

Nelson Rodríguez

SITIAL DE LOS COLIBRIES EN EL REINO ANIMAL

Fernando Ortiz

MAXIMIZACION DE BENEFICIOS EN EL SISTEMA DE PRODUCCION
AGROPECUARIA DE PEQUEÑOS PRODUCTORES DEL CARCHI -
ECUADOR. Uso de un modelo de optimización

Victor Barrera M/ Jorge Grijalva O.

TENIOSIS (*T. solium*) - CISTICERCOSIS (*C. cellulosae*) EN EL CAMAL
FRIGORÍFICO LOJA S.A. (CAFRILOSA), Y EN DOS CENTROS DE
CONSUMO DE CARNE PORCINA.

Alexei Carvajal/ Freddy Cueva/ Margoth Barrionuevo/ Richard Rodríguez/ María A. Chávez/ Marcelo Cruz/ Mayra Peña/ Freddy Proaño/ Jorge Ron/ Jef Brand/ Stanny Geerts/ Eric Van Marck/ Marco Lima/ Marco Sánchez/ Iván Viñán/ Washington Benítez

PRODUCCIÓN DE MICOTOXINAS EN AMBIENTES CONTROLADOS

Alfredo Custode/ José Efraín Espinoza Rodríguez

NEUROEPIDEMIOLOGÍA DE LA TENIOSIS/CISTICERCOSIS POR *T. solium*

Marcelo Cruz/ Washington Benítez/ A. Cruz/ J. Culebras

SUJECION QUIMICA DE ANIMALES FELINOS PARA SU TRANSPORTE AL
PARQUE ZOOLOGICO DE GUAYLLABAMBA

Edison Encalada/ Carlos Tufiño

INCORPORACION DE LEGUMINOSAS FORRAJERAS DE COBERTURA
PARA REHABILITAR PASTIZALES EN SISTEMAS PASTORILES DE
ESTRIBACIONES EXTERNAS DE CORDILLERA DEL ECUADOR.

Jorge Grijalva O./ Arsenio Oñate

ESTUDIOS CITOGENETICO BOVINO

Rosita Saltos/ Inés Verdezoto

LA LEPTOSPIROSIS, UN ASUNTO DE MEDICINA VETERINARIA Y DE
SALUD PUBLICA

Luis Vasco C.

AÑO 2000

MAXIMIZACION DE BENEFICIOS EN EL SISTEMA DE PRODUCCION AGROPECUARIA DE PEQUEÑOS PRODUCTORES DEL CARCHI-ECUADOR

Uso de un modelo de optimización

Barrera M, Víctor*, Grijalva O, Jorge**

RESUMEN

Los pequeños productores de la Provincia del Carchi poseen predios donde operan complejos sistemas de producción basados en la interacción papa-leche, cuyos limitantes no pueden ser resueltos de una manera aislada fuera del contexto de la finca. La Teoría General de Sistemas permite utilizar un enfoque holístico para resolver situaciones de una agricultura tradicional, donde la producción biológica está influenciada por factores ambientales, socioeconómicos y culturales. Este estudio utilizó un modelo de optimización como herramienta analítica para desarrollar alternativas que maximicen beneficios o minimicen costos de una función objetivo del productor que consiste en maximizar el ingreso neto. Para el efecto, se utilizó información de encuestas realizadas en la zona y otra información desarrollada por INIAP, que sirvieron de base para utilizar este modelo de programación lineal. Se observó un margen bruto de US\$ 804 en 8 meses en el sistema original, al incrementar el precio del litro de leche de US\$ 0.26 a 0.30 se generaron incrementos en los ingresos netos y el precio sombra de la leche con respecto a la papa. Al variar el precio del kg de papa de US\$ 0.07 a 0.11, se evidenciaron incrementos en los beneficios netos y precio sombra de la papa, pero se observó un mayor precio sombra de la leche al menor precio de la papa. Los resultados sugieren que la producción de leche es la alternativa económicamente más sostenible para mejorar los ingresos de los productores.

1. INTRODUCCION

Los pequeños productores, de la Provincia del Carchi, se caracterizan por poseer limitados recursos en términos de tierra, semovientes, poca capacidad de acceso a crédito, dificultades socio-culturales en términos de conocimientos, acceso a la tecnología y mercado. Los sistemas de producción se basan en una compleja interacción leche

– papa u otros cultivos, donde la producción de leche constituye el ingreso diario y capital del sistema (Arce, *et. al.*, 1993), la cual se basa en 3 vacas con producciones de 7 litros/vaca/día, la producción de papa y otros cultivos tales como trigo, avena, cebada, maíz, constituyen los componentes de consumo familiar.

Esa interacción compleja entre los distintos componentes del sistema, imponen la necesidad de recurrir a herramientas metodológicas tales como los modelos de simulación y optimización, que son útiles en el análisis de sistemas y resolución de problemas a distinto nivel en la jerarquía de sistemas. Específicamente, los modelos de optimización que se discuten en el presente trabajo, desarrollado durante 1998, han sido útiles para apoyar el proceso de toma de decisiones a fin de maximizar beneficios o reducir costos en consideración a un determinado número de restricciones; esto es, decidir sobre los rubros, la cantidad a producir y la técnica o método de producción en cada proceso productivo.

2. OBJETIVOS

Utilizar un modelo de optimización para evaluar *ex-ante* alternativas bioeconómicas que maximicen los beneficios del sistema de producción de pequeños productores del Carchi-Ecuador.

3. HIPOTESIS

La aplicación de un modelo de optimización permite plantear escenarios y determinar alternativas para maximizar beneficios en el sistema de producción de pequeños productores de la zona del Carchi-Ecuador.

4. METODOLOGIA

4.1. Método

El método de programación lineal se aplicó para propósitos de maximizar los beneficios del sistema en estudio, bajo constricciones lineales de de-

* Ing. Agr. M.Sc. Técnico del Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias INIAP.

** Ing. Agr. M.Sc. Técnico del INIAP y Profesor de la Facultad de Med. Vet. y Zoot., U. Central del Ecuador.

sigualdad y cubriendo en etapas sucesivas los siguientes aspectos:

Determinar el plan de producción que optimiza el uso de los recursos con maximización de los ingresos netos.

Observar la sensibilidad de la solución óptima ante cambios en los datos básicos.

Determinar costos de oportunidad de procesos alternativos.

4.2. Información básica

La información básica empleada para la elaboración de los coeficientes que caracterizan los distintos procesos, fue obtenido de los datos de una encuesta realizada en el área en estudio (Arce, *et. al.*, 1993), la información experimental existente en la Estación Experimental Santa Catalina del INIAP y el conocimiento adquirido por el trabajo realizado en la zona en estudio.

4.3. Los procesos

4.3.1. Variables utilizadas cultivo de papa

- X_1 = hectáreas de papa
- X_2 = consumo en kg
- X_3 = semilla en kg
- X_4 = fertilización en kg
- X_5 = fungicidas en kg
- X_6 = insecticidas en kg
- X_7 = preparación del suelo en horas
- X_8 = fertilización foliar en kg
- X_9 = mano de obra familiar
- X_{10} = mano de obra contratada

Producción de leche

- X_{11} = número de vacas
- X_{12} = consumo de leche en kg
- X_{13} = venta de leche en kg
- X_{14} = nacimientos de terneros
- X_{15} = número de terneros que quedan
- X_{16} = venta de terneros
- X_{17} = semilla en kg
- X_{18} = preparación del suelo en horas
- X_{19} = sal mineral en kg
- X_{20} = alimento suplementario en kg
- X_{21} = mano de obra familiar
- X_{22} = mano de obra contratada

Cultivos de autoconsumo

- X_{23} = hectáreas de cultivos autoconsumo
- X_{24} = consumo en kg
- X_{25} = semilla en kg
- X_{26} = fertilización en kg

- X_{27} = fungicidas en kg
- X_{28} = insecticidas en kg
- X_{29} = preparación del suelo en horas
- X_{30} = mano de obra familiar
- X_{31} = mano de obra contratada

Producción de cerdos

- X_{32} = número de cerdos
- X_{33} = consumo en kg
- X_{34} = venta en kg
- X_{35} = alimento en kg
- X_{36} = mano de obra familiar
- X_{37} = mano de obra contratada

Producción de cuyes

- X_{38} = número de cuyes
- X_{39} = consumo en kg
- X_{40} = venta en kg
- X_{41} = alimento en kg
- X_{42} = mano de obra familiar
- X_{43} = mano de obra contratada

4.3.2. La función lineal objetivo

La función que se maximizó fue los beneficios totales en consideración a 43 procesos de cinco alternativas de producción y los ingresos netos de cada alternativa. La función económica a maximizar en este estudio fue la siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Max (Z)} = & 1431X_1 - 0.09X_2 - 0.13X_3 - 0.4X_4 - 14X_5 \\ & - 11X_6 - 20X_7 - 12X_8 + 0X_9 - 1.2X_{10} + 0X_{11} - \\ & 0.28X_{12} + 0.28X_{13} + 0X_{14} + 0X_{15} + 22X_{16} - \\ & 2.37X_{17} - 20X_{18} - 0.15X_{19} - 0.18X_{20} + 0X_{21} - \\ & 1.2X_{22} + 433.07X_{23} - 0.28X_{24} - 0.32X_{25} - 0.4X_{26} - \\ & 14X_{27} - 11X_{28} - 20X_{29} + 0X_{30} - 1.2X_{31} + 0X_{32} - \\ & 1.36X_{33} + 1.36X_{34} - 0.10X_{35} + 0X_{36} - 1.2X_{37} + \\ & 0X_{38} - 2X_{39} + 2X_{40} - 0.0227X_{41} + 0X_{42} - 1.2X_{43} \end{aligned}$$

4.3.3. Coeficientes

4.3.3.1. Para cultivo de papa

- 1431 X_1 = producción por ha es 15,900 kg * el precio del kg de papa es US\$ 0.09
- 0.09 X_2 = precio del kg de papa para consumo es US\$ 0.09
- 0.13 X_3 = precio del kg de papa para semilla es US\$ 0.13
- 0.40 X_4 = precio del kg de fertilizante para papa es US\$ 0.40
- 14 X_5 = precio del kg de fungicida para papa es US\$ 14
- 11 X_6 = precio del kg de insecticida para papa es US\$ 11

- 20 X₇= precio de la hora de labranza (papa) es US\$ 20
 12 X₈= precio del kg de fertilizante foliar para papa es US\$ 12
 1.2 X₁₀= precio del jornal para papa es US\$ 1.2

4.3.3.2. Para producción de leche

- 0.28 X₁₂= precio del kg de leche para autoconsumo es US\$ 0.28
 0.28 X₁₃= precio del kg de leche para la venta es US\$ 0.28
 22 X₁₆= precio de venta de un ternero es US\$ 22
 2.37 X₁₇= precio del kg de semilla de pasto es US\$ 2.37
 20 X₁₈= precio de la hora de labranza (pasto) es US\$ 20
 0.15 X₁₉= precio del kg de sal mineral es US\$ 0.15
 0.18 X₂₀= precio del kg de alimento suplementario es US\$ 0.18
 1.2 X₂₂= precio del jornal para leche es US\$ 1.2

4.3.3.3. Para cultivos de autoconsumo

- 433 X₂₃= producción por ha es 1.547 kg por el precio del kg de cultivos autoconsumo que es US\$ 0.28
 0.28 X₂₄= precio del kg de cultivos de autoconsumo para consumo familiar es US\$ 0.28
 0.32 X₂₅= precio del kg de semilla de cultivos de autoconsumo es US\$ 0.32
 0.40 X₂₆= precio del kg de fertilizante para cultivos de autoconsumo es US\$ 0.40
 14 X₂₇= precio del kg de fungicida para cultivos de autoconsumo es US\$ 14
 11 X₂₈= precio del kg de insecticida para cultivos de autoconsumo es US\$ 11
 20 X₂₉= precio de la hora de labranza (cultivos autoconsumo) es US\$ 20
 1.2 X₃₁= precio del jornal para cultivos de autoconsumo es US\$ 1.2

4.3.3.4. Para producción de cerdos

- 1.36 X₃₃= precio del kg de cerdo para autoconsumo es US\$ 1.36
 1.36 X₃₄= precio del kg de cerdo para la venta es US\$ 1.36
 0.10 X₃₅= precio del kg de alimento para cerdos es US\$ 0.10
 1.2 X₃₇= precio del jornal para producción de cerdos es US\$ 1.2

4.3.3.5. Para producción de cuyes

- 2 X₃₉= precio del kg de cuy para autoconsumo es US\$ 2

- 2 X₄₀= precio del kg de cuy para la venta es US\$ 2
 0.022 X₄₁= precio del kg de alimento para cuyes es US\$ 0.022
 1.2 X₄₃= precio del jornal para producción de cuyes es US\$ 1.2

4.3.4. Constricciones

4.3.4.1. Para cultivo de papa

$$X_1 \leq 0.89$$

Las hectáreas de papa deben ser menores o iguales a 0.89 ha.

$$15.900 X_1 \geq 1.200$$

La producción de papa de 15.900 kg/ha debe ser mayor o igual a 1.200 kg, que es la cantidad para autoconsumo.

$$X_2 \geq 1.200$$

Los kg de papa para el autoconsumo de la familia deben ser mayores o iguales a 1.200 kg por época de 8 meses.

$$X_3 - 1.364 X_1 \geq 0$$

Los kg de semilla de papa deben ser mayores o iguales a 1.364 kg/ha.

$$X_4 - 682 X_1 \geq 0$$

Los kg de fertilizante para el cultivo de papa deben ser mayores o iguales a 682 kg/ha.

$$X_5 - 10 X_1 \geq 0$$

Los kg de fungicidas para el cultivo de papa deben ser mayores o iguales a 10 kg/ha en cuatro aplicaciones (2.5 kg/ha por aplicación).

$$X_6 - 7 X_1 \geq 0$$

Los kg de insecticidas para el cultivo de papa deben ser mayores o iguales a 7 kg/ha en cuatro aplicaciones (1.75 kg/ha por aplicación).

$$X_7 - 8 X_1 \geq 0$$

Las horas de tractor (traducidas a horas de yunta) para el cultivo de papa deben ser mayores o iguales a 8 horas/ha.

$$X_8 - 16 X_1 \geq 0$$

Los kg de fertilizante foliar para el cultivo de papa deben ser mayores o iguales a 16 kg/ha en cuatro aplicaciones (4 kg/ha por aplicación).

$$X_9 + X_{10} - 220 X_1 \geq 0$$

La mano de obra familiar más la mano de obra contratada para el cultivo de papa debe ser mayor o igual a 220 jornales por ha. Para la siembra 30 jornales, para el aporque 40 jornales, para la deshierba 40 jornales, para la fertilización 20 jornales, para los controles fitosanitarios 40 jornales y para la cosecha 50 jornales.

4.3.4.2. Para producción de leche

$$X_{11} \leq 4.1375$$

El número de vacas en producción deben ser me-

- 20 X₇= precio de la hora de labranza (papa) es US\$ 20
 12 X₈= precio del kg de fertilizante foliar para papa es US\$ 12
 1.2 X₁₀= precio del jornal para papa es US\$ 1.2

4.3.3.2. Para producción de leche

- 0.28 X₁₂= precio del kg de leche para autoconsumo es US\$ 0.28
 0.28 X₁₃= precio del kg de leche para la venta es US\$ 0.28
 22 X₁₆= precio de venta de un ternero es US\$ 22
 2.37 X₁₇= precio del kg de semilla de pasto es US\$ 2.37
 20 X₁₈= precio de la hora de labranza (pasto) es US\$ 20
 0.15 X₁₉= precio del kg de sal mineral es US\$ 0.15
 0.18 X₂₀= precio del kg de alimento suplementario es US\$ 0.18
 1.2 X₂₂= precio del jornal para leche es US\$ 1.2

4.3.3.3. Para cultivos de autoconsumo

- 433 X₂₃= producción por ha es 1.547 kg por el precio del kg de cultivos autoconsumo que es US\$ 0.28
 0.28 X₂₄= precio del kg de cultivos de autoconsumo para consumo familiar es US\$ 0.28
 0.32 X₂₅= precio del kg de semilla de cultivos de autoconsumo es US\$ 0.32
 0.40 X₂₆= precio del kg de fertilizante para cultivos de autoconsumo es US\$ 0.40
 14 X₂₇= precio del kg de fungicida para cultivos de autoconsumo es US\$ 14
 11 X₂₈= precio del kg de insecticida para cultivos de autoconsumo es US\$ 11
 20 X₂₉= precio de la hora de labranza (cultivos autoconsumo) es US\$ 20
 1.2 X₃₁= precio del jornal para cultivos de autoconsumo es US\$ 1.2

4.3.3.4. Para producción de cerdos

- 1.36 X₃₃= precio del kg de cerdo para autoconsumo es US\$ 1.36
 1.36 X₃₄= precio del kg de cerdo para la venta es US\$ 1.36
 0.10 X₃₅= precio del kg de alimento para cerdos es US\$ 0.10
 1.2 X₃₇= precio del jornal para producción de cerdos es US\$ 1.2

4.3.3.5. Para producción de cuyes

- 2 X₃₉= precio del kg de cuy para autoconsumo es US\$ 2

- 2 X₄₀= precio del kg de cuy para la venta es US\$ 2
 0.022 X₄₁= precio del kg de alimento para cuyes es US\$ 0.022
 1.2 X₄₃= precio del jornal para producción de cuyes es US\$ 1.2

4.3.4. Constricciones

4.3.4.1. Para cultivo de papa

$$X_1 \leq 0.89$$

Las hectáreas de papa deben ser menores o iguales a 0.89 ha.

$$15.900 X_1 \geq 1.200$$

La producción de papa de 15.900 kg/ha debe ser mayor o igual a 1.200 kg, que es la cantidad para autoconsumo.

$$X_2 \geq 1.200$$

Los kg de papa para el autoconsumo de la familia deben ser mayores o iguales a 1.200 kg por época de 8 meses.

$$X_3 - 1.364 X_1 \geq 0$$

Los kg de semilla de papa deben ser mayores o iguales a 1.364 kg/ha.

$$X_4 - 682 X_1 \geq 0$$

Los kg de fertilizante para el cultivo de papa deben ser mayores o iguales a 682 kg/ha.

$$X_5 - 10 X_1 \geq 0$$

Los kg de fungicidas para el cultivo de papa deben ser mayores o iguales a 10 kg/ha en cuatro aplicaciones (2.5 kg/ha por aplicación).

$$X_6 - 7 X_1 \geq 0$$

Los kg de insecticidas para el cultivo de papa deben ser mayores o iguales a 7 kg/ha en cuatro aplicaciones (1.75 kg/ha por aplicación).

$$X_7 - 8 X_1 \geq 0$$

Las horas de tractor (traducidas a horas de yunta) para el cultivo de papa deben ser mayores o iguales a 8 horas/ha.

$$X_8 - 16 X_1 \geq 0$$

Los kg de fertilizante foliar para el cultivo de papa deben ser mayores o iguales a 16 kg/ha en cuatro aplicaciones (4 kg/ha por aplicación).

$$X_9 + X_{10} - 220 X_1 \geq 0$$

La mano de obra familiar más la mano de obra contratada para el cultivo de papa debe ser mayor o igual a 220 jornales por ha. Para la siembra 30 jornales, para el aporque 40 jornales, para la deshierba 40 jornales, para la fertilización 20 jornales, para los controles fitosanitarios 40 jornales y para la cosecha 50 jornales.

4.3.4.2. Para producción de leche

$$X_{11} \leq 4.1375$$

El número de vacas en producción deben ser me-

nores o igual a 4.13 (debido a que se toma en cuenta 3.31 ha para producción de leche con una carga animal de 1.25, entonces 3.31 ha * 1.25 UBA/ha = 4.13 UBA).

$$X_{12} \geq 480$$

El consumo de leche por familia debe ser mayor o igual a 480 kg por época de 240 días.

$$X_{12} + X_{13} - 1,680 X_{11} \leq 0$$

El consumo de leche por familia más la venta de la leche deben ser menores o iguales a 1.680 kg que produce una UBA (vaca) en producción por 240 días de lactancia.

$$X_{14} - 0.70 X_{11} \leq 0$$

Los nacimientos de terneros deben ser menores o iguales al 70% de natalidad de las vacas.

$$X_{15} - 0.5 X_{14} \geq 0$$

El número de terneros que quedan con el productor deben ser mayores o iguales al 50% de los animales que nacen.

$$X_{16} - 0.5 X_{14} \leq 0$$

El número de terneros que se venden deben ser menores o iguales al 50% de los animales que nacen.

$$X_{17} - 44 X_{11} \geq 0$$

Los kg/ha de semilla que se utilizan para la siembra del pasto deben ser mayores o iguales a 44 kg/ha (este valor resulta de la siguiente reflexión: Si en una ha de potrero se mantiene una carga animal de 1.25 UBA para traducirlo a ha, se realizó una regla de tres obteniendo 0.8 X11 o sea una UBA en 0.8 ha; entonces al aplicar 55 kg de semilla/ha, se tiene que 55 kg/ha * 0.8 X11 = 44 X11).

$$X_{18} - 3.2 X_{11} \geq 0$$

Las horas de tractor/ha para la siembra del pasto deben ser mayores o iguales a 3.2 horas/ha (este valor resulta de la siguiente conversión realizada: Si en una ha de potrero se mantiene una carga animal de 1.25 UBA para traducirlo a ha, se realizó una regla de tres y se obtuvo 0.8 X11 o sea una UBA en 0.8 ha; al utilizar 4 horas de tractor, se obtiene que 4 horas/ha * 0.8 X11 = 3.2 X11).

$$X_{19} - 40.8 X_{11} - 21.6 X_{15} \geq 0$$

Los kg de sal mineral utilizada para vacas y terneros deben ser mayores o iguales a 40.8 kg (0.17 kg/vaca * 240 días) que es el consumo de las vacas más 21.6 kg (0.09 kg/ternero * 240 días) que es el consumo de los terneros que quedan con el productor.

$$X_{20} - 206.4 X_{11} - 96 X_{15} \geq 0$$

Los kg de alimento suplementario utilizado para vacas y terneros deben ser mayores o iguales a 206.4 kg (0.86 kg/vaca * 240 días) que es el consumo de las vacas más 96 kg (0.40 kg/ternero * 240 días) que es el consumo de los terneros que quedan con el productor.

$$X_{21} + X_{22} - 96 X_{11} \geq 0$$

Los mano de obra familiar más la mano de obra contratada para la producción de leche deben ser mayores o iguales a 96 jornales (este valor resulta gracias a la siguiente conversión realizada: Si en una ha de potrero se mantiene una carga animal de 1.25 UBA para traducirlo a ha, se realizó una regla de tres y se obtuvo que es igual a 0.8 X11 o sea una UBA en 0.8 ha; si se necesitan 120 jornales por ha, al realizar la transformación quedan 120 jornales/ha * 0.8 X11 = 96 X11). Se utilizaron 15 jornales para la siembra del pasto y 105 jornales (una persona trabajando 3.5 horas por día durante 240 días demanda 840 horas, si se considera que un jornal es una persona que trabaja 8 horas al día, al dividir 840/8 = 105 jornales) para cuidados de los animales.

4.3.4.3. Para cultivos de autoconsumo

$$X_{23} \leq 0.73$$

Las hectáreas de cultivos de autoconsumo deben ser menores o iguales a 0.73 ha.

$$1.547 X_{23} \geq 720$$

La producción de cultivos de autoconsumo de 1.547 kg/ha debe ser mayor o igual a 720 kg, que es la cantidad para autoconsumo familiar.

$$X_{24} \geq 720$$

Los kg para autoconsumo de la familia de los cultivos de autoconsumo deben ser mayores o iguales a 720 kg por época de 8 meses.

$$X_{25} - 90 X_{23} \geq 0$$

Los kg de semilla de cultivos de autoconsumo deben ser mayores o iguales a 90 kg/ha.

$$X_{26} - 181.8 X_{23} \geq 0$$

Los kg de fertilizante para los cultivos de autoconsumo deben ser mayores o iguales a 181.8 kg/ha.

$$X_{27} - 2.5 X_{23} \geq 0$$

Los kg de fungicidas para los cultivos de autoconsumo deben ser mayores o iguales a 2.5 kg/ha en una aplicación.

$$X_{28} - 1.75 X_{23} \geq 0$$

Los kg de insecticidas para los cultivos de autoconsumo deben ser mayores o iguales a 1.75 kg/ha en una aplicación.

$$X_{29} - 4 X_{23} \geq 0$$

Las horas de tractor (traducidas de horas de yunta) para los cultivos de autoconsumo deben ser mayores o iguales a 4 horas/ha.

$$X_{30} + X_{31} - 70 X_{23} \geq 0$$

La mano de obra familiar más la mano de obra contratada para los cultivos de autoconsumo deben ser mayores o iguales a 70 jornales por ha. Para la siembra 15 jornales, para la deshierba 10 jornales, para la fertilización 10 jornales, para los controles fitosanitarios 15 jornales y para la cosecha 20 jornales.

4.3.4.4. Para producción de cerdos

$$X_{33} \geq 50$$

El consumo de carne de cerdo por familia por época de 240 días debe ser mayor o igual a 50 kg.

$$X_{33} + X_{34} - 35 X_{32} \leq 0$$

El consumo de carne de cerdo más la venta de carne de cerdo deben ser menores o iguales a 35 kg por cerdo por época de 240 días.

$$X_{35} - 210 X_{32} \geq 0$$

El consumo de alimento por parte de los cerdos debe ser mayor o igual a 210 kg/cerdo por época de 240 días.

$$X_{32} \leq 4$$

El número de cerdos debe ser menor o igual a 4 cerdos por época de 240 días.

$$X_{36} + X_{37} - 4 X_{32} \geq 0$$

Los mano de obra familiar más la mano de obra contratada para la producción de cerdos deben ser mayores o iguales a 4 jornales por cerdo por época de 240 días.

4.3.4.5. Para producción de cuyes

$$X_{39} \geq 10$$

El consumo de carne de cuy (cobayo) por familia por época de 240 días debe ser mayor o igual a 10 kg.

$$X_{39} + X_{40} - 0.5 X_{38} \leq 0$$

El consumo de carne de cuy más la venta de carne de cuy deben ser menores o iguales a 0.5 kg por cuy por época de 240 días.

$$X_{41} - 5 X_{38} \geq 0$$

El consumo de alimento por parte de los cuyes debe ser mayor o igual a 5 kg/cuy por época de 240 días.

$$X_{38} \leq 30$$

El número de cuyes debe ser menor o igual a 30 cuyes por época de 240 días.

$$X_{42} + X_{43} - 0.5 X_{38} \geq 0$$

Los mano de obra familiar más la mano de obra contratada para la producción de cuyes deben ser mayores o iguales a 0.5 jornales por cuy por época de 240 días.

4.3.4.6. Constricciones generales

$$X_1 + 0.8 X_{11} + X_{23} \leq 5$$

Las hectáreas de papa más las hectáreas de potreros (traducidas por carga animal) más las hectáreas de autoconsumo deben ser menores o iguales a 5 ha.

$$X_9 + X_{21} + X_{30} + X_{36} + X_{42} \leq 569$$

La mano de obra familiar para el cultivo de papa, producción de leche, cultivos de autoconsumo, producción de cerdos y producción de cuyes debe ser menor o igual a 569 jornales.

4.3.5. La solución de programación lineal por computadora

El programa de computación utilizado para resolver el problema de maximización por programación lineal por el método simple es el QSB. Este programa permite trabajar con gran número de variables y restricciones.

4.3.6. La solución óptima

Se partió de una solución óptima básica para el sistema de producción de pequeños productores del Carchi. Posteriormente se procedió a realizar cambios en algunos valores de restricciones y coeficientes de beneficios para determinar los resultados de optimización ante las nuevas condiciones creadas.

La situación base consistió en una alternativa de producción de leche, sobre una superficie de 3.31 ha de potreros compuestos de kikuyo (*Penisetum clandestinum*), holco (*Holcus lanatus*), ryegrass (*Lolium multiflorum*) y trébol blanco (*Trifolium repens*). La producción de papa en una superficie de 0.89 ha y otros cultivos como el trigo, cebada, haba, maíz y arveja, que son parte de seguridad alimentaria de las familias. Las especies animales están formadas de bovinos, como la especie de mayor importancia económica, cuyes, cerdos, aves, sirven para consumo y generan ocasionalmente ingresos económicos adicionales.

5. RESULTADOS Y DISCUSION

5.1. Beneficios netos del sistema de producción actual.

Los resultados obtenidos para el problema de programación lineal planteado en este estudio se presenta en el Cuadro 1, en donde se puede observar que la solución final es la maximización de beneficios en US\$ 804.63 durante un período de 8 meses. Para obtener este beneficio, los pequeños productores de Carchi mantienen el componente de producción de papa en 0.89 ha, para lo cual el productor utiliza 90 jornales de mano de obra familiar y 106 jornales de mano de obra contratada. El consumo de este producto que es la base de la alimentación de los productores de esta zona alcanza los 1.200 kg durante 8 meses, para una familia de seis personas en promedio.

La producción de leche proviene de 4 vacas que pastorean 3.31 ha, con un total de leche para venta de 6.471 kg durante 8 meses. La producción de leche por vaca por lactancia de 8 meses es de 1.680 kg y una producción de 7 litros/vaca/día. La mano de obra utilizada en esta actividad es familiar, alcanzando a 397 jornales por época. Para esta actividad el productor no necesita contratar mano de obra. El consumo de le-

che por parte del productor y su familia es de 480 kg en ese período.

La producción de cultivos para autoconsumo (trigo, avena, cebada y maíz) se realiza en 0.73 ha, para lo cual el productor utiliza 51 jornales, únicamente de la mano de obra familiar. La utilización de los productos de autoconsumo es casi total, ya que solamente una mínima proporción es utilizado para la venta. En la mayoría de los casos, la producción de cultivos de autoconsumo alcanza solo para la utilización del productor y su familia, ya que la cantidad asciende a 720 kg durante una época de 8 meses. La producción de cerdos y cuyes es utilizada básicamente para el autoconsumo, siendo esporádicas las ventas que realiza. La cantidad de carne de cerdo y cuy consumida por parte del productor y su familia asciende a 50 kg y 10 kg durante 8 meses, respectivamente.

Como se puede apreciar en el Anexo 1, la mayor rentabilidad está dada por el cultivo de papa y la producción de leche. En el caso de la producción de papa, si las condiciones fueran favorables para aumentar la superficie de este cultivo, los ingresos se incrementarían en US\$ 147.88 (precio sombra) por cada ha que se incrementa. Algo similar ocurriría con la producción de leche, cuyos ingresos se incrementarían en US\$ 144.16 (precio sombra) por cada ha de pasto que se aumente. A pesar de que el cultivo de papa presenta un leve incremento en el máximo beneficio en comparación al máximo beneficio que se obtiene con la producción de leche, es importante resaltar que el precio de venta del kg de papa en el mercado es muy variable debido a la fluctuación de la oferta y demanda. Además, el cultivo de papa ha ido dis-

minuyendo en superficie, debido a problemas fitosanitarios que en muchos de los casos no han permitido cosechar el producto final. Por lo anotado, la producción de leche representa una opción más sostenible para mejorar los ingresos del productor.

La producción de los cultivos para autoconsumo y la producción de cerdos y cuyes, no contribuyen significativamente a maximizar los ingresos del productor y su familia. Estos forman parte importante de la dieta alimenticia, por lo que deben ser tomados en consideración al momento de realizar cualquier tipo de mejora en este tipo de sistema. En el caso de que el productor decidiera incrementar los cultivos de autoconsumo y la producción de cerdos, los ingresos de éste se incrementarían en U\$ 71.69 (precio sombra) por cada ha adicional de cultivos de autoconsumo, y US\$ 21.80 (precio sombra) por cada cerdo adicional. Según la solución óptima encontrada para el modelo planteado, la mano de obra familiar disponible de 569 jornales por un período de 8 meses, no es suficiente para alcanzar los niveles productivos de mayor rentabilidad, ya que ésta alcanza solamente para la producción de leche, autoconsumo, cerdos, cuyes y parte de la producción de papa; siendo necesario entonces, contratar 106 jornales para complementar los requerimientos de mano de obra del cultivo de papa.

Para la restricción relacionada con la superficie del sistema de producción se consideró un máximo de 5 ha, de los cuales la solución óptima reportó que el productor utiliza 0.89 ha para la producción de papa, 3.31 ha para la producción de leche y 0.73 ha para la producción de cultivos de autoconsumo.

Cuadro 1. Maximización de beneficios para el sistema de producción actual de pequeños productores de Carchi-Ecuador, Solución óptima. Año 1998.

COMPONENTES DEL SISTEMA	SOLUCION
PAPA (0.89 ha)	
X ₁ = hectáreas de papa	0.89
X ₂ = consumo en kg	1.200
X ₃ = semilla en kg	1.213.90
X ₉ = mano de obra familiar	90
X ₁₀ = mano de obra contratada	106
LECHE (3.31 ha)	
X ₁₁ = número de vacas	4
X ₁₂ = consumo de leche en kg	480
X ₁₃ = venta de leche en kg	6.471
X ₁₄ = nacimientos de terneros	3
X ₁₅ = número de terneros que quedan	1.50
X ₁₆ = venta de terneros	1.50
X ₁₉ = sal mineral en kg	200.08
X ₂₀ = alimento suplementario en kg	992.99
X ₂₁ = mano de obra familiar	397
AUTOCONSUMO (0.73 ha)	
X ₂₃ = hectáreas de cultivos autoconsumo	0.73
X ₂₄ = consumo en kg	720
X ₃₀ = mano de obra familiar	51
PORCINOS	
X ₃₂ = número de cerdos	4
X ₃₃ = consumo en kg	50
X ₃₄ = venta en kg	90
X ₃₅ = alimento en kg	840
X ₃₆ = mano de obra familiar	16
CUYES	
X ₃₈ = número de cuyes	30
X ₃₉ = consumo en kg	10
X ₄₀ = venta en kg	5
X ₄₁ = alimento en kg	150
X ₄₂ = mano de obra familiar	15
MAXIMIZACION DE BENEFICIOS = US\$ 804.63 en 8 meses	

5.2. Beneficios netos en nuevos escenarios.

Posteriormente a la obtención de la solución óptima encontrada para el modelo que representa los procesos que practica el pequeño productor, se procedió a realizar cambios en algunos valores de constricciones y coeficientes de beneficios para determinar los resultados de optimización ante nuevas condiciones creadas.

5.2.1. Variación del precio del kg de leche

Dado que la producción de leche es una alternativa viable para el productor y su familia, y debido a que el precio del kg de leche en el mercado varía progresivamente, se afectó el coeficiente de beneficios para la variable venta y consumo de leche, en un rango de US\$ 0.26 a US\$ 0.30 por kg de leche, siendo el coeficiente original de US\$ 0.28 por kg.

Los resultados obtenidos (Cuadro 2) al variar el

precio del kg de la leche en el modelo original, indican que los máximos beneficios que puede alcanzar el productor y su familia tienen una tendencia lineal, es decir a medida que se incrementa el precio de la leche, los beneficios también se incrementan, desde US\$ 684.81 cuando el precio de la leche es de US\$ 0.26 el kg, hasta un beneficio de US\$ 924.45 cuando el precio de la leche se incrementa a US\$ 0.30. Los otros componentes del sistema se mantienen constantes.

Por otra parte, tanto en la producción de papa como en la producción de autoconsumo, los precios sombra permanecen invariables en US\$ 147.88 y US\$ 71.69, respectivamente. Contrariamente, el precio sombra de la producción de leche presenta una tendencia lineal desde US\$ 110.57 cuando el precio es de US\$ 0.26 hasta US\$ 177.76 cuando el precio se incrementa a US\$ 0.30.

Cuadro 2. Maximización de beneficios y precios sombra en el sistema de producción de pequeños productores de Carchi-Ecuador, al variar el precio del kg de leche. Soluciones óptimas. Año 1998.

COMPONENTES DEL SISTEMA	PRECIO SOMBRA/ ha		
	US\$ 0.26	US\$ 0.28	US\$ 0.30
Producción de papa	147.88	147.88	147.88
Producción de leche	110.57	144.17	177.76
Producción autoconsumo	71.69	71.69	71.69
BENEFICIOS (US\$ en 8 meses)	648.81	804.63	924.45

Es importante destacar que cuando el precio del kg de leche baja hasta US\$ 0.26, el precio sombra de la producción de papa es superior en un 25% al precio sombra de la producción de leche, lo que estimularía al productor a incrementar su cultivo de papa; sin embargo, por el hecho de que la producción de papa es de riesgo tanto por la oferta como por problemas fitosanitarios del cultivo, el incremento del 25% en comparación a la producción de leche, no sería atractivo para el productor.

Cuando el precio de la leche se establece en US\$ 0.28 los precios sombra de la producción de papa, leche y autoconsumo son los establecidos en el modelo original y cuando el precio del kg de leche se incrementa hasta US\$ 0.30, el precio sombra de la producción de papa es un 17% menos que el precio sombra de la producción de leche. Este incremento le podría resultar favora-

ble al productor, ya que la producción de leche no es de riesgo sino más bien permite la capitalización del sistema, ya que el productor puede vender animales cuando tiene necesidades; además, es un componente para el consumo del productor y su familia.

5.2.2. Variación del precio del kg de papa

Dado los resultados obtenidos en el modelo original, el cultivo de papa influye en gran medida sobre los beneficios obtenidos por el productor y su familia (US\$ 147.88 por ha). Por esta razón, se creyó adecuado variar el precio de la papa ya que eso ocurre normalmente; es decir, se consideró que si la oferta es alta el precio podría bajar a US\$ 0.07 y si la oferta es baja el precio del kg se podría incrementar a US\$ 0.11, dejando constante el precio original de US\$ 0.09 por kg de papa.

En el Cuadro 3, se aprecia que al variar el precio del kg de la papa en los valores establecidos para este análisis, el modelo determina que los máximos beneficios que puede alcanzar el productor y su familia no tienen una tendencia lineal definida, es decir a medida que se incrementa el precio de la papa los beneficios no se incrementan proporcionalmente, debido a que cuando se consideró el precio de la papa en US\$ 0.07, los diferentes procesos del sistema no se mantuvieron constantes al modelo inicial; es decir, el cultivo de papa cambió de 0.89 ha a 0.41 ha, la producción de leche se estableció en 3.31, los cultivos de autoconsumo en 0.73 ha, el número de porcinos en 4 y 30 cuyes. Con estos componentes el productor alcanza una maximización de beneficios de US\$ 638.78 en 8 meses.

Cuando el precio del kg de papa se establece en

US\$ 0.09 y US\$ 0.11, los componentes en estudio se mantuvieron constantes, de manera similar a lo que acontece en el modelo inicial. Así, los beneficios se establecieron en US\$ 804.63 cuando el precio de la papa es de US\$ 0.09 el kg, y US\$ 1.039.37 cuando el precio de la papa se incrementa a US\$ 0.11 el kg.

Cuando el precio de la papa varía de US\$ 0.07 a US\$ 0.11 el kg, los precios sombra de la producción de papa, autoconsumo y leche varían. Para el caso de la producción de papa el precio sombra es US\$ 0.00 cuando el kg de papa es de US\$ 0.07, sugiriendo que a ese precio el productor no recibiría ningún beneficio si incrementara el cultivo. Sin embargo, cuando sube el precio de la papa a US\$ 0.11, el precio sombra se establece en US\$ 438.60, beneficio que sería muy significativo para el productor.

Cuadro 3. Maximización de beneficios y precios sombra en el sistema de producción de pequeños productores de Carchi-Ecuador, al variar el precio del kg de papa. Soluciones óptimas. Año 1998.

COMPONENTES DEL SISTEMA	PRECIO SOMBRA / ha		
	US\$ 0.07	US\$ 0.09	US\$ 0.11
Producción de papa	0.00	147.88	438.60
Producción de leche	206.50	144.17	144.17
Producción autoconsumo	117.14	71.69	71.69
BENEFICIOS (US\$ en 8 meses)	638.78	804.63	1.039.37

Para el componente producción de leche (Cuadro 3), se observa que el precio sombra más alto se estableció cuando el precio del kg de papa era US\$ 0.07, determinando que a ese precio el productor optaría por establecer en su sistema una mayor superficie para la producción de leche. Cuando el precio del kg de papa es de 0.09 y US\$ 0.11, el precio sombra permanece constante en US\$ 144.17, es decir que el pequeño productor siempre recibiría beneficios por cada unidad que incrementa para producción de leche.

De forma similar a lo que acontece con la leche, la producción de autoconsumo (Cuadro 3) tiene su mayor precio sombra cuando el precio de la papa se establece en US\$ 0.07 el kg, siendo de US\$ 117.14. El precio sombra de la producción de autoconsumo cuando el precio del kg de papa es de US\$ 0.09 y US\$ 0.11 permanece constante en US\$ 71.69.

Cuando el precio del kg de papa se reduce a US\$ 0.07, el precio sombra de la producción de leche

es superior en un 100% en comparación al precio sombra de la producción de papa, lo cual ha motivado al productor a optar por la producción de leche. Caso contrario acontece cuando el precio del kg de papa se incrementa hasta US \$ 0.11 el kg, en donde el precio sombra de la producción de papa se ve incrementado en un 67% en comparación al precio sombra de la producción de leche.

5.2.3. Variación del precio de papa y leche

Cuando varía el precio del kg de leche, los procesos del sistema permanecen constantes; esto es, el cultivo de papa se realiza en 0.89 ha, la producción de leche se establece en 3.31, los cultivos de autoconsumo ocupan 0.73 ha, el número de porcinos es de 4 y el número de cuyes es de 30. Esto determina que únicamente cambien los precios sombra de la producción de leche, con una tendencia a incrementar.

Al disminuir el precio del kg de papa, el productor apenas debe sembrar para subsistencia; esto

significa que a ese nivel, el cultivo de papa no garantiza la estabilidad del sistema, a pesar de que al incrementar el precio del kg de papa a US\$ 0.11, el precio sombra se incrementa a US\$ 438.60.

Por lo anterior, a pesar de que el cultivo de papa puede ser rentable cuando las condiciones de precio en el mercado se establecen en US\$ 0.11 el kg, el productor corre un riesgo muy grande cuando el precio de la papa disminuye de precio. Entonces, la producción de leche juega el rol más importante dentro del sistema.

5.2.4. Variación de la superficie de producción de leche

Los resultados del Cuadro 4 indican que al variar la construcción para superficie de producción de leche desde 1 hasta 4 ha, los máximos beneficios que puede alcanzar el productor y su familia tienen una tendencia lineal, es decir a medida que se incrementa la superficie para leche, los beneficios marginales también se incrementan en US\$ 32.33, pasando desde US\$ 760.45 cuando la superficie para producción de leche es 1 ha, hasta un beneficio de US\$ 857.44 cuando la superficie para leche es de 4 ha. Cuando la construcción de superficie de leche es de 5 ha, los beneficios adicionales disminuyen a US\$ 14.84 en relación a manejar su sistema con 4 ha para la producción de leche.

Cuadro 4. Maximización de beneficios y superficie ocupada por los componentes del sistema de producción de pequeños productores de Carchi-Ecuador, al variar la superficie para producción de leche.

COMPONENTES DEL SISTEMA	SUPERFICIE PARA PRODUCCION DE LECHE ha				
	1	2	3	4	5
Producción de papa (ha)	3.54	2.54	1.54	0.54	0.08
Producción de leche (ha)	1.00	2.00	3.00	4.00	4.46
Producción autoconsumo (ha)	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46
BENEFICIOS (US\$ en 8 meses)	760.45	792.78	825.11	857.44	872.28

6. CONCLUSIONES

6.1. Los resultados muestran gran estabilidad de las soluciones de optimización del uso de recursos en el sistema de producción de pequeños productores del Carchi, cuyos componentes básicos son: la producción de papa, leche, autoconsumo, cerdos y cuyes.

6.2. Al variar los coeficientes y constricciones de la papa y leche, el componente producción de leche es la alternativa económica comparativamente más sostenible.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ARCE, B., BARRERA, V. y SUQUILLO, J. 1993. Caracterización del Sistema de Producción del Pequeño Productor del Cantón Espejo, Provincia del Carchi, Ecuador. INSTITUTO NACIONAL AUTONOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS-FUNDACION PARA EL DESARROLLO AGROPECUARIO. Quito, Ecuador. 46 p.

HILLIER, F. y LIEBERMAN, G. 1986. Introduc-

tion to operations research. 4th edition. Hoday, Inc. Oakland, California. 887 p.

HILLIER, F. y LIEBERMAN, G. 1991. Introducción a la investigación de operaciones. 3ra. ed. Traducido de la 5ta. ed. en inglés. Introduction to operations research por González, M. México, 956 p.

HOLLE, M. 1990. El Concepto de Sistemas y una Metodología de Investigación Agropecuaria. En: II Seminario-Taller "Enfoque y Análisis de Sistemas Agropecuarios Andinos. Puno, Perú. 9 p.

INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS. 1971. Análisis Económico de los Datos de la Investigación en Ganadería. Editado por Edmundo Gastal. Montevideo, Uruguay. 570 p.

KOVACEVIC, A. 1974. Aspectos prácticos de la programación lineal. Universidad Católica de Chile, Escuela de Administración. Publicación docente No. 10. Santiago, Chile. 63 p.

LEON - VELARDE, C. y QUIROZ, R. 1994. Análisis de Sistemas Agropecuarios. Puno, Perú. 238 p.