



INSTITUTO LATINOAMERICANO DE CIENCIAS

MODELO DE SIMULACIÓN PARA LA EVALUACIÓN ECONÓMICA DE PROYECTOS AMBIENTALES DE RESTAURACIÓN HIDROLÓGICA Y EL APROVECHAMIENTO DEL AGUA PARA LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA BAJO RIEGO

Presentado por

Carlos Alfredo Castrillo Delgado

Para optar al diploma

Diplomado de Experto en Creación de Modelos de Simulación Ambiental

Tarija, Bolivia

Julio de 2012

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	2
ABSTRACT	3
1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	4
2. OBJETIVO	5
3. JUSTIFICACIÓN.....	6
4. DIAGRAMA CAUSAL	6
5. DESCRIPCIÓN DEL MODELO	7
6. DIAGRAMA DE FLUJO.....	8
7. PARAMETROS Y ECUACIONES	8
8. DATOS PARA LA SIMULACIÓN.....	15
9. RESULTADOS	17
10. CONCLUSIONES.....	25
BIBLIOGRAFIA	26

RESUMEN

La comunidad de Colón (Bolivia) se ha caracterizado por ser una comunidad altamente productiva, por el hecho de contar con buenos suelos y un clima favorable para la actividad agrícola. Sin embargo, es estos últimos años la producción agrícola está comenzando a disminuir lo que es motivo de preocupación de los pobladores.

La causa se debe principalmente a que los caudales del río Colón están disminuyendo lo que reduce la oferta de agua para riego, la superficie cultivada, la producción y los ingresos económicos. Se ha podido identificar que la causa de la disminución de los caudales del río Colón, se debe al deterioro ambiental de la cabecera de la cuenca, por la acción humana. La pérdida de la cobertura vegetal y la erosión de los suelos resultante, se han traducido en una disminución de la capacidad de infiltración de las aguas de las lluvias, lo que reduce la escorrentía subsuperficial y por la tanto el caudal de base del río.

Ante esta situación se están analizando alternativas para intervenir la cabecera de la cuenca del río Colón, ejecutándose prácticas de manejo de cuenca para su restauración, lo que permitirá evitar que el deterioro ambiental y el deterioro de la calidad de vida se sigan profundizando. En el proceso de análisis de las diferentes alternativas, se está prestando

especial atención a la evaluación económica, la cual presenta una serie de dificultades técnicas como ser la necesidad de integrar de manera simultánea los aspectos tecnológicos, productivos, económicos y ambientales.

Para dar solución a las dificultades y así realizar una evaluación más realista de las diferentes alternativas, se ha previsto la utilización de un enfoque de sistemas y la construcción de un modelo de simulación dinámico.

En el presente proyecto se desarrolla el modelo de simulación requerido para la evaluación económica y se muestran los resultados obtenidos para diferentes alternativas de solución al problema de deterioro de la cuenca y la disminución de la oferta de agua para riego, la producción agrícola y los ingresos de los productores.

ABSTRACT

The community of Colón (Bolivia) has been characterized as a highly productive community, the fact of having good soils and favorable climate for agriculture. However, in recent years agricultural production is beginning to lessen what is of concern to the residents.

The cause is mainly due to the Colón River flows are declining which reduces the supply of water for irrigation, the acreage, production and income. It was verified that the cause of the decline in river flows Columbus, is due to environmental deterioration of the head of the basin, by human action. The loss of vegetation cover and the resulting soil erosion, have resulted in a decrease in the infiltration of rainwater, reducing runoff and subsurface for both the base flow of the river.

In this situation alternatives are being analyzed to intervene the head of the Columbus Basin, running watershed management practices for restoration, which will prevent environmental degradation and deterioration of quality of life is still deepening. In the process of analyzing the different alternatives, it is focusing on the economic evaluation, which has a number of technical difficulties such as the need to integrate simultaneously the technological, productive, economic and environmental.

To address the difficulties and thus perform a more realistic assessment of the alternatives, there is provided the use of a systems approach and building a dynamic simulation model.

This project is required simulation model for economic evaluation and displays the results obtained for different alternative solutions to the problem of deterioration of the watershed and the reduced supply of irrigation water, agricultural production and income producers.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La comunidad de Colón (Bolivia) se ha caracterizado por ser una comunidad altamente productiva, gracias al trabajo tesonero de sus pobladores y por el hecho de contar con buenos suelos y un clima favorable para la actividad agrícola. Sin embargo, en estos últimos años la producción agrícola está comenzando a disminuir lo que es motivo de preocupación de los pobladores.

La causa de la baja de la producción agrícola se debe principalmente a que los caudales del río Colón, la fuente de agua para el sistema de riego, están disminuyendo. Al reducirse la oferta de agua para riego, se reduce la superficie cultivada y por lo tanto también se reduce la producción y los ingresos económicos.

Se ha podido identificar que la causa de la disminución de los caudales del río Colón, se debe al deterioro ambiental de la cabecera de la cuenca del río Colón, por la acción humana. Los pobladores han explotado irracionalmente los bosques naturales, han realizado prácticas agrícolas inadecuadas en suelos inestables y han incrementado la carga animal lo que ha derivado en el sobrepastoreo y la pérdida de cobertura vegetal.

La pérdida de la cobertura vegetal y la erosión de los suelos resultante, se han traducido en una perturbación hidrológica de la cuenca, ya que al disminuirse la capacidad de infiltración de las aguas de las lluvias, aumenta la escorrentía directa y con ello los picos de las crecidas causando inundaciones en la parte de baja de la cuenca. Por otra parte, la disminución de los volúmenes de agua infiltrados, reduce el caudal de base del río lo que tiene un impacto negativo importante en el caudal total del río en la época de estiaje, ya que en este periodo el caudal está constituido en su integralidad por el caudal de base.

La disminución de los caudales del río y de la producción agrícola asociada, se traduce a su vez en un mayor deterioro de la cuenca, ya que los productores al ver disminuidos sus ingresos económicos, presionan los recursos naturales de la cuenca, generándose un círculo vicioso entre deterioro de las condiciones de vida y el deterioro ambiental.

Ante esta situación se están analizando alternativas tecnológicas para intervenir la cabecera de la cuenca del río, ejecutándose prácticas de manejo de cuenca lo que permitiría evitar que el deterioro ambiental y el deterioro de la calidad de vida se sigan profundizando.

Al concretarse la restauración de la cabecera de la cuenca y al mejorarse su calidad ambiental, los caudales del río en la época de estiaje se verían incrementados y con ello se impactaría positivamente a la producción agrícola, se mejorarían los ingresos económicos y la calidad de vida de los pobladores.

En el proceso de análisis de las diferentes alternativas, se está prestando especial atención a la evaluación económica. Dicha evaluación está considerando como costos las inversiones requeridas para implementar las prácticas de manejo de cuencas y como beneficios los ingresos obtenidos por la producción agrícola bajo riego.

Sin embargo, al procederse con las evaluaciones económicas de las diferentes alternativas, se han encontrado una serie de dificultades técnicas para poder contar con una evaluación representativa de la realidad y que permita tomar decisiones acertadas. Entre las dificultades encontradas se indican las siguientes:

- ◆ La oferta de agua depende de la lluvia, la cual presente variaciones importantes de un año a otro.
- ◆ Los volúmenes de producción agrícola varían de año en año, ya que los mismos dependen principalmente de la cantidad de hectáreas sembradas, las que a su vez depende de los volúmenes ofertados de agua, que presentan variaciones anuales importantes.
- ◆ Los ingresos económicos dependen de los precios de los productos agrícolas, los cuales también presentan fluctuaciones periódicas.
- ◆ Los ingresos económicos también dependen de las superficies asignadas a los diferentes cultivos, ya que existen cultivos que son más rentables que otros.
- ◆ Es necesario integrar y considerar de manera simultánea los aspectos tecnológicos, productivos, económicos y ambientales, tomando en cuenta su evolución en el tiempo.

Para dar solución a las dificultades indicadas y así realizar una evaluación más realista de las diferentes alternativas, se ha previsto la utilización de un enfoque de sistemas y la construcción de un modelo de simulación dinámico.

El modelo a construir permitirá analizar diferentes escenarios, integrando los aspectos físicos, productivos, económicos y ambientales, considerando su evolución en el tiempo.

2. OBJETIVO

El objetivo principal del proyecto es la construcción de un modelo dinámico que permita la simulación de diferentes escenarios para la evaluación económica de las inversiones requeridas para la restauración ambiental e hidrológica de la cabecera de la cuenca del río Colón, lo que permitirá incrementar la oferta de agua para la producción agrícola bajo riego, los ingresos económicos y el nivel de vida de los pobladores.

3. JUSTIFICACIÓN

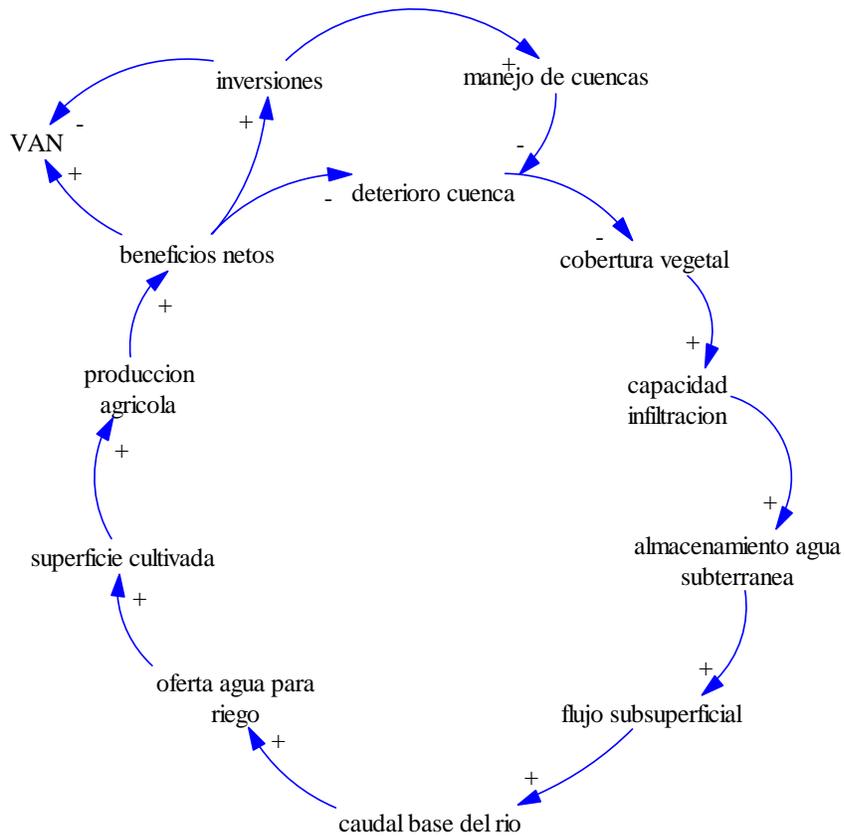
Las simulaciones que se realizarán con el modelo dinámico a desarrollar, nos permitirá contar con una visión integral y dinámica de las prácticas de manejo de cuencas, la oferta de agua para riego y los procesos de producción agrícola bajo riego.

El modelo a desarrollar contribuirá al desarrollo sostenible de la región, al ofrecer una herramienta de simulación que permitirá mejorar los procedimientos tradicionales para la evaluación de los proyectos ambientales, al integrar los aspectos productivos, económicos y ambientales, y contar con una representación microeconómica de las actividades productivas.

Asimismo, con el modelo se podrá evidenciar las ventajas económicas que ofrecen las iniciativas orientadas a la conservación y la preservación de las cabeceras de los ríos.

4. DIAGRAMA CAUSAL

El diagrama causal correspondiente se muestra en la Figura No. 1.



5. DESCRIPCIÓN DEL MODELO

El modelo comprende básicamente tres componentes:

- ◆ Prácticas de manejo de cuencas e incremento de la oferta de agua para riego
- ◆ Función de producción
- ◆ Costos, beneficio y evaluación económica

Prácticas de manejo de cuencas e incremento de la oferta de agua para riego

La implementación de las prácticas del manejo de cuencas en las cabeceras de los ríos, permite reponer la cobertura vegetal y aumentar la infiltración del agua de lluvia para la recarga de los acuíferos, lo que aumenta la disponibilidad de agua subterránea que escurre subsuperficialmente hacia los ríos, aumentando la oferta de agua para la producción agrícola bajo riego.

La cantidad del agua lluvia infiltrada y que escurre subsuperficialmente hacia las fuentes de agua depende de parámetro que denominamos “coeficiente de aporte agua subterránea”. Este coeficiente representa la fracción de del agua de lluvia que se infiltra y escurre subsuperficialmente alimentando el flujo del río y sus tributarios.

De acuerdo a lo indicado podemos ver que la implementación de las prácticas de manejo de cuencas se traduce en un incremento de este factor, lo que deriva en un incremento de los volúmenes de agua infiltrados y escurridos subsuperficialmente al río y sus tributarios.

Por otra parte, otro elemento importante que influye en la disponibilidad del agua para riego es la precipitación pluvial, la cual varía de manera importante de año en año.

El aumento del caudal de los ríos incrementa la oferta de agua para riego lo que se traduce en una mayor superficie de cultivos, incrementándose la producción agrícola, los ingresos económicos y la calidad de vida de los agricultores.

Función de producción

Los niveles de producción de los cultivos dependen del volumen de agua disponible para riego, de la superficie de tierra ocupada por los cultivos y de los fondos necesarios para acceder al uso de maquinaria, herramientas y de la mano de obra disponible y los insumos requeridos para las tareas agrícolas.

El equipo y los insumos requeridos son diferenciados en equipo e insumos para la preparación de los suelos, insumos para el control de plagas, y equipos e insumos para la producción. El trabajo también es diferenciado según su aplicación durante la siembra, el control de malezas, el riego y la cosecha.

Costos, beneficio y evaluación económica

Los costos de producción incluyen la remuneración del trabajo necesario para la preparación del suelo, siembra, riego, tareas culturales y cosecha; la compra de la semilla, estiércol, fertilizantes, desfoliantes, plaguicidas; así como el pago por el uso de los servicios de las herramientas y eventualmente de la maquinaria agrícola. Incluyen también, los costos del agua de riego, en términos de los montos necesarios para asegurar el mantenimiento de los canales.

Los beneficios son el resultado de la venta de la producción agrícola y dependen principalmente de los precios de venta y de los rendimientos agrícolas. Hay que tomar en cuenta que los precios presentan importantes fluctuaciones en el tiempo, por lo que para su consideración se debe disponer de registros detallados y un tratamiento estadístico.

Las inversiones comprenden los recursos económicos requeridos para la implementación de las prácticas de manejo de cuencas y para las inversiones en el mejoramiento de la infraestructura de riego.

Para la evaluación económica de las inversiones se calcula el Valor Actual Neto (VAN) para una determinada tasa de retorno.

6. DIAGRAMA DE FLUJO

El diagrama de flujo correspondiente al modelo de simulación se muestra en la Figura No. 2.

7. PARAMETROS Y ECUACIONES

(01) **area cuenca a intervenir** = 3000

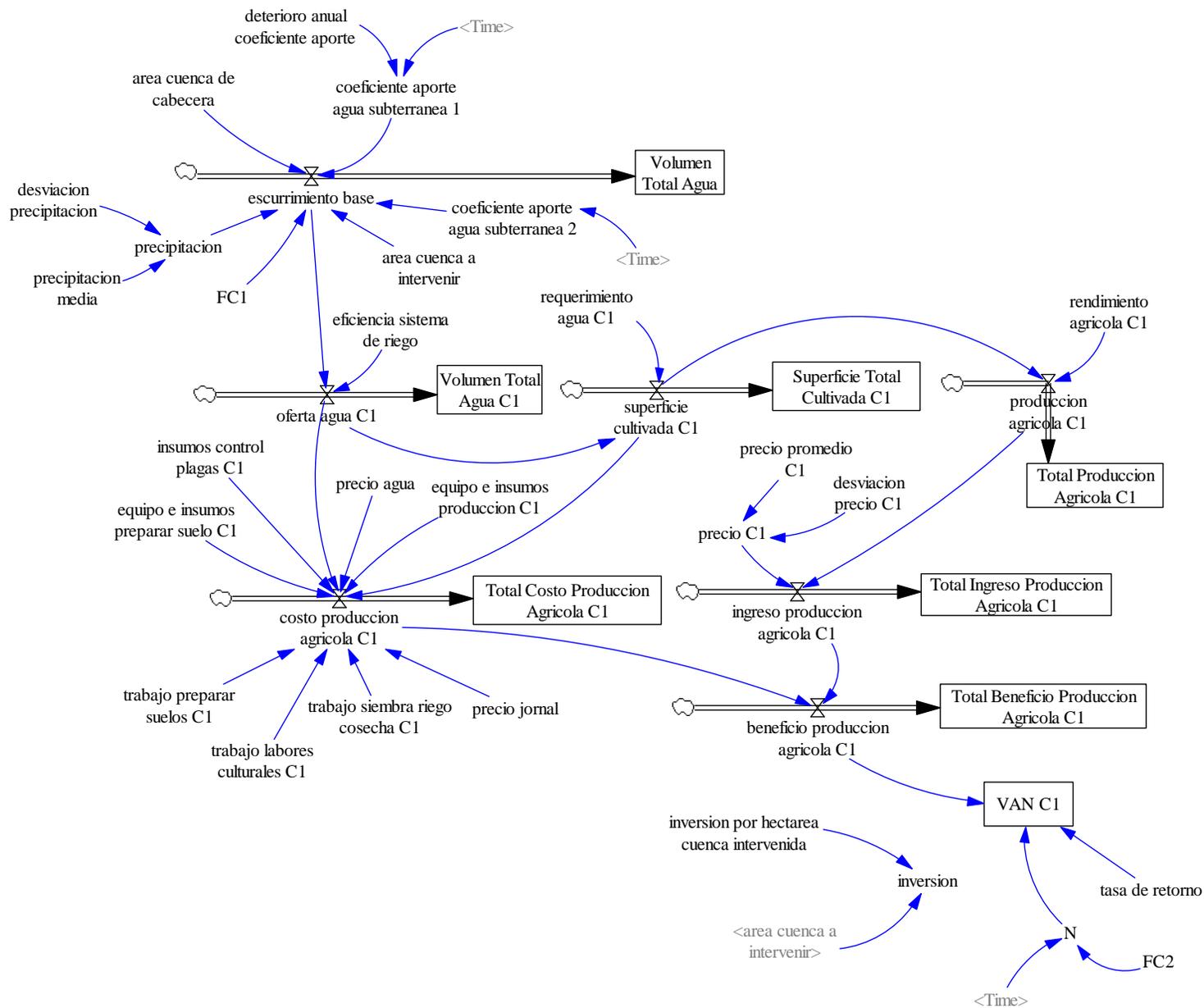
Units: ha (hectáreas)

Área de la cuenca de cabecera que será intervenida con prácticas de manejo de cuencas.

(02) **area cuenca de cabecera**= 3000

Units: ha (hectáreas)

FIGURA No. 2. DIAGRAMA DE FLUJO



Corresponde al área sobre la cual el agua precipitada que cae, se infiltra y escurre por su superficie, contribuyendo al escurrimiento del flujo del río y sus tributarios.

- (03) **beneficio produccion agricola C1= ingreso produccion agricola C1-costo produccion agricola C1**

Units: \$/año

Beneficio neto anual de la venta de la producción agrícola.

- (04) **coeficiente aporte agua subterranea 1= 0.2*(1-Time*deterioro anual coeficiente aporte)**

Units: Dmnl

Es la fracción del agua de lluvia que se infiltra y escurre subsuperficialmente alimentando el flujo del río y sus tributarios, para las condiciones actuales. Este coeficiente por el deterioro de la cuenca disminuye de año en año.

- (05) **coeficiente aporte agua subterranea 2= IF THEN ELSE(Time<5,(0.2+0.01*Time), 0.25)**

Units: Dmnl

Es la fracción del agua de lluvia que se infiltra y escurre subsuperficialmente alimentando el flujo del río y sus tributarios, para la condiciones de manejo de cuencas. Se considera que el coeficiente se incrementa de 0.2 a 0.25 en un periodo de 5 años

- (06) **costo produccion agricola C1= superficie cultivada C1*(equipo e insumos preparar suelo C1+equipo e insumos produccion C1+insumos control plagas C1)+precio agua*oferta agua C1+precio jornal*superficie cultivada C1*(trabajo labores culturales C1 +trabajo preparar suelos C1+trabajo siembra riego cosecha C1)**

Units: \$/año

Costo anual total para la producción agrícola.

- (07) **desviación precio C1= 42**

Units: \$/Tn

Desviación estándar del precio por tonelada correspondiente a una serie histórica de precios del cultivo C1.

- (08) **desviación precipitación= 122**

Units: mm

Corresponde a la desviación estándar de una serie histórica de precipitaciones anuales.

- (09) **deterioro anual coeficiente aporte= 0.025**
 Units: Dmnl
 Corresponde al deterioro o la disminución anual del coeficiente de aporte de agua subterránea.
- (10) **eficiencia sistema de riego= 0.5**
 Units: Dmnl
 Fracción del agua escurrida que está disponible para las cultivos. Toma en cuenta la eficiencia de captación, conducción y aplicación del agua.
- (11) **equipo e insumos preparar suelo C1= 189**
 Units: \$/ha
 Costo de la maquinaria agrícola e insumos requeridos por hectárea para la preparación de los suelos.
- (12) **equipo e insumos produccion C1= 900**
 Units: \$/ha
 Costo por hectárea correspondiente a la maquinaria agrícola e insumos requeridos para la producción agrícola.
- (13) **escurrimiento base= (coeficiente aporte agua subterránea
 1*(precipitacion/1000)*(area cuenca de cabecera
 *10000-area cuenca a intervenir*10000)+coeficiente aporte agua subterránea 2
 (precipitacion/1000)(area cuenca a intervenir*10000))*FC1**
 Units: m³/año
 Es el formado por el flujo subsuperficial y el subterráneo, es decir es el que se produce cuando concluye la temporada de las lluvias.
- (14) **FC1= 1**
 Units: m³/(año*mm*ha)
 Factor de corrección de unidades.
- (15) **FC2= 1**
 Units: 1/año
 Factor corrección unidades.
- (16) **FINAL TIME = 20**
 Units: año
 The final time for the simulation.
- (17) **ingreso produccion agricola C1= precio C1*produccion agricola C1**

- Units: \$/año
Ingreso anual total correspondiente a la venta de la producción agrícola.
- (18) **INITIAL TIME = 0**
Units: año
The initial time for the simulation.
- (19) **insumos control plagas C1=109**
Units: \$/ha
Costo de los insumos por hectárea para el control de las plagas.
- (20) **inversion= area cuenca a intervenir*inversion por hectarea cuenca intervenida**
Units: \$
Inversión total en prácticas de manejo de cuencas e infraestructura de riego.
- (21) **inversion por hectarea cuenca intervenida= 1000**
Units: \$/ha
Inversión por hectárea correspondiente a la ejecución de las prácticas de manejo de cuenca.
- (22) **N= Time*FC2**
Units: Dmnl
Corresponde al número del año simulado.
- (23) **oferta agua C1= eficiencia sistema de riego*escurrimiento base**
Units: m³/año
Cantidad de agua anual disponible para el cultivo C1 en la época de estiaje.
- (24) **precio agua= 0.01**
Units: \$/m³
Precio del m³ del agua para riego.
- (25) **precio C1= precio promedio C1+desviacion precio C1*RANDOM NORMAL(-1,+1,0,1,0.1)**
Units: \$/Tn
Corresponde al precio por tonelada del cultivo C1 simulado para un año determinado.
- (26) **precio jornal= 8**
Units: \$/Jor
Precio unitario del Jornal

- (27) **precio promedio C1= 290**
 Units: \$/Tn
 Precio promedio por tonelada correspondiente a una serie histórica de precios del cultivo C1.
- (28) **precipitacion= precipitacion media+desviacion precipitacion*RANDOM NORMAL(-1,+1,0,1,0.1)**
 Units: mm
 Corresponde a la precipitación (lluvia) anual simulada para un año determinado.
- (29) **precipitacion media= 846**
 Units: mm
 Corresponde a la media anual de una serie histórica de precipitaciones (lluvias) anuales.
- (30) **produccion agricola C1= rendimiento agricola C1*superficie cultivada C1**
 Units: Tn/año
 Producción agrícola correspondiente al cultivo C1.
- (31) **rendimiento agricola C1= 11.34**
 Units: Tn/ha
 Producción agrícola por hectárea correspondiente al cultivo C1.
- (32) **requerimiento agua C1= 7411**
 Units: m3/ha
 Requerimiento de agua total del cultivo C1.
- (33) **SAVEPER = TIME STEP**
 Units: año [0,?]
 The frequency with which output is stored.
- (34) **superficie cultivada C1= (oferta agua C1/requerimiento agua C1)**
 Units: ha/año
 Superficie cultivada anual con el cultivo C1.
- (35) **Superficie Total Cultivada C1= INTEG (superficie cultivada C1, 0)**
 Units: ha
 Suma de las superficies cultivadas anuales con el cultivo C1.
- (36) **tasa de retorno= 0.12**

Units: Dmnl

Tasa de descuento para la evaluación de las inversiones.

(37) **TIME STEP = 1**

Units: año [0,?]

The time step for the simulation.

(38) **Total Beneficio Produccion Agricola C1= INTEG (beneficio produccion agricola C1, 0)**

Units: \$

Suma de los beneficios netos anuales de la venta de la producción agrícola.

(39) **Total Costo Produccion Agricola C1= INTEG (costo produccion agricola C1, 0)**

Units: \$

Suma de los costos anuales producción agrícola

(40) **Total Ingreso Produccion Agricola C1= INTEG (ingreso produccion agricola C1, 0)**

Units: \$

Suma de los ingresos anuales de la venta de la producción agrícola.

(41) **Total Produccion Agricola C1= INTEG (produccion agricola C1, 0)**

Units: Tn

Suma de las producciones agrícolas anuales del cultivo C1.

(42) **trabajo labores culturales C1= 12**

Units: Jor/ha

Cantidad de jornales por hectárea requeridos para las labores culturales.

(43) **trabajo preparar suelos C1= 4**

Units: Jor/ha

Cantidad de jornales por hectárea requeridos para preparar los suelos.

(44) **trabajo siembra riego cosecha C1= 104**

Units: Jor/ha

Cantidad de jornales por hectárea requeridos para las labores de siembra y cosecha.

(45) **VAN C1= INTEG (Beneficio produccion agricola C1/(1+tasa de retorno)^N, -inversion)**

Units: \$

Valor Actual Neto

(46) **Volumen Total Agua= INTEG (escurrimiento base, 0)**

Units: m3

Suma de los volúmenes anuales de escurrimiento base.

(47) **Volumen Total Agua C1= INTEG (oferta agua C1, 0)**

Units: m3

Suma de los volúmenes de agua anuales disponibles para el cultivo C1.

8. DATOS PARA LA SIMULACIÓN

La información referida a las actividades productivas bajo riego de la zona han sido extractados de los base de datos de la OTNPB, habiéndose seleccionado como cultivo representativo de la zona el cultivo de la papa. Los datos recabados se indican a continuación:

Cuadro No. 1. Información Producción Agrícola

Parámetro	Unidad	cantidad
Trabajo preparar suelos	Jornal	4
Trabajo labores culturales	Jornal	12
Trabajo siembra riego	Jornal	104
Insumos control plagas	\$	109
Equipo e insumos preparar suelos	\$	189
Esquipo e insumo producción	\$	900
Precio promedio	\$	290
Desviación precio promedio	\$	190
Requerimiento de agua	m3/ha	7411
Rendimiento agrícola	Tn/ha	11.34
Eficiencia sistema (riego por gravedad)		0.50
Precio del agua para riego	\$/m3	0.01

La información hidrológica correspondiente a la zona se resume a continuación:

Cuadro No. 2. Información Hidrológica

Parámetro	Unidad	cantidad
Precipitación anual promedio	mm	846
Desviación precipitación anual	mm	122

Para el análisis de las diferentes alternativas se pueden considerar escenarios donde se simule la influencia de la cantidad de hectáreas de la cuenca intervenida, las inversiones en las prácticas de manejo de cuenca (representadas por la inversión por hectárea intervenida), el efecto de estas inversiones en el flujo de agua subterránea que alimenta el río (representado por el coeficiente de aporte agua subterránea), la tasa de retorno de la inversión y el horizonte de la inversión principalmente, así como también se pueden considerar diferentes combinaciones entre los diferentes elementos.

En nuestro caso y considerando que nos encontramos en una etapa de afinamiento del modelo, se han simulados dos alternativas. La primera alternativa comprende una simulación para el área de la cuenca a intervenir, considerando cuatro escenarios, el primer escenario corresponde a la situación sin intervención y los otros tres a las áreas de 1000, 2000 y 3000 hectáreas intervenidas respectivamente. La segunda alternativa es similar a la primera pero el costo de inversión por hectárea intervenida se incrementa de 1000 a 1500 \$/ha y el coeficiente de aporte del agua subterránea se incrementa de 0.20 a 0.30 en lugar de los 0.20 a 0.25 de la primera alternativa.

Los parámetros referidos a las prácticas de manejo de cuencas, a los coeficientes de aporte y a las inversiones para las dos alternativas se resumen a continuación:

Cuadro No. 3. Alternativa 1 - Información Escenarios

Parámetro	Unidad	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
Área de la cuenca cabecera	ha	3000	3000	3000	3000
Área cuenca a intervenir	ha		2000	3000	3000
Inversión por hectárea cuenca intervenida	\$		1000	1000	1000
Tasa de retorno			0.12	0.12	0.12
N (horizonte de la inversión)	Años		20	20	20
Coeficiente aporte agua subterránea 1 (sin intervención)		0.20 a 0.10	0.20 a 0.10	0.20 a 0.10	0.20 a 0.10
Coeficiente aporte agua subterránea 2 (con intervención)			0.20 a 0.25	0.20 a 0.25	0.20 a 0.25

Cuadro No. 4. Alternativa 2 - Información Escenarios

Parámetro	Unidad	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
Área de la cuenca cabecera	ha	3000	3000	3000	3000
Área cuenca a intervenir	ha		1000	2000	3000
Inversión por hectárea cuenca intervenida	\$		1500	1500	1500
Tasa de retorno			0.12	0.12	0.12
N (horizonte de la inversión)	Años		20	20	20
Coefficiente aporte agua subterránea 1 (sin intervención)		0.20 a 0.10	0.20 a 0.10	0.20 a 0.10	0.20 a 0.10
Coefficiente aporte agua subterránea 2 (con intervención)			0.20 a 0.30	0.20 a 0.30	0.20 a 0.30

9. RESULTADOS

Se han seleccionado como resultados de interés para la toma de decisiones, la información referida a la evolución de los coeficientes de aporte agua subterránea, la oferta de agua, la superficie cultivada, la producción agrícola, los ingresos agrícolas, los beneficios agrícolas y el VAN (Valor Actual Neto). Los resultados correspondientes para las dos alternativas se indican en los siguientes gráficos.

ALTERNATIVA 1

Gráfico No. 1. Evolución del Coeficiente de aporte agua subterránea para el área de la cuenca sin intervención

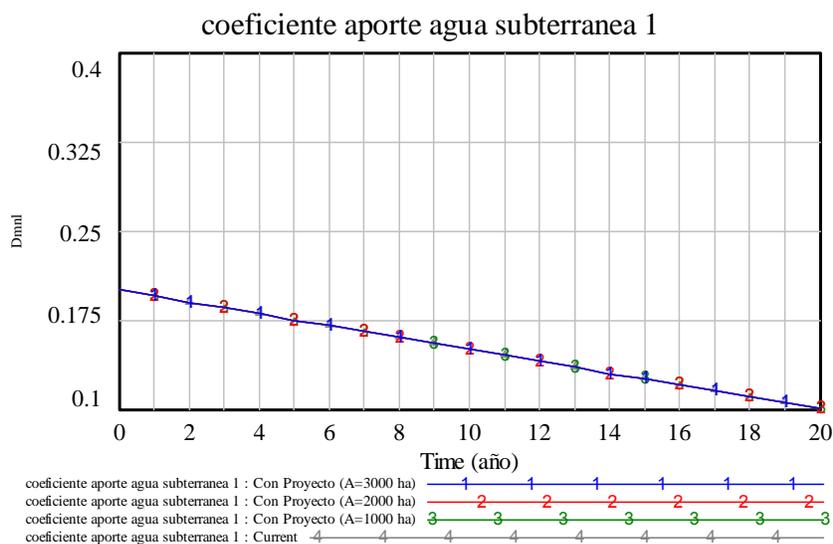


Grafico No. 2. Evolución del Coeficiente de aporte agua subterránea para el área de la cuenca con intervención

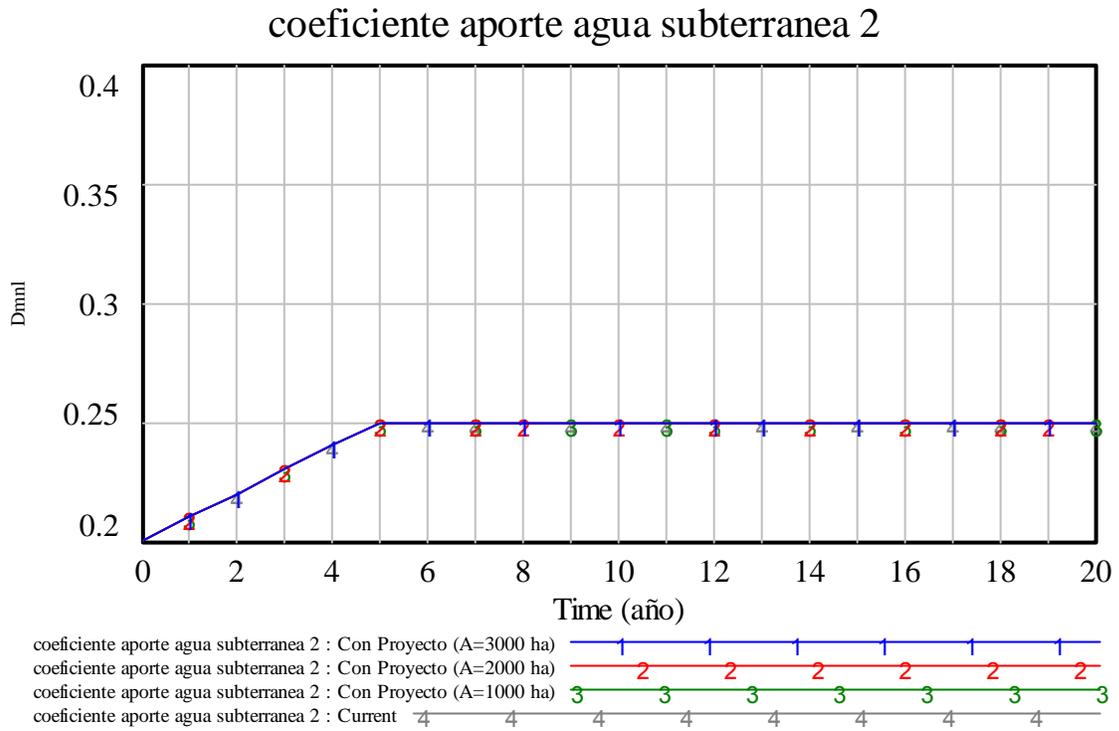


Gráfico No. 3

oferta agua C1

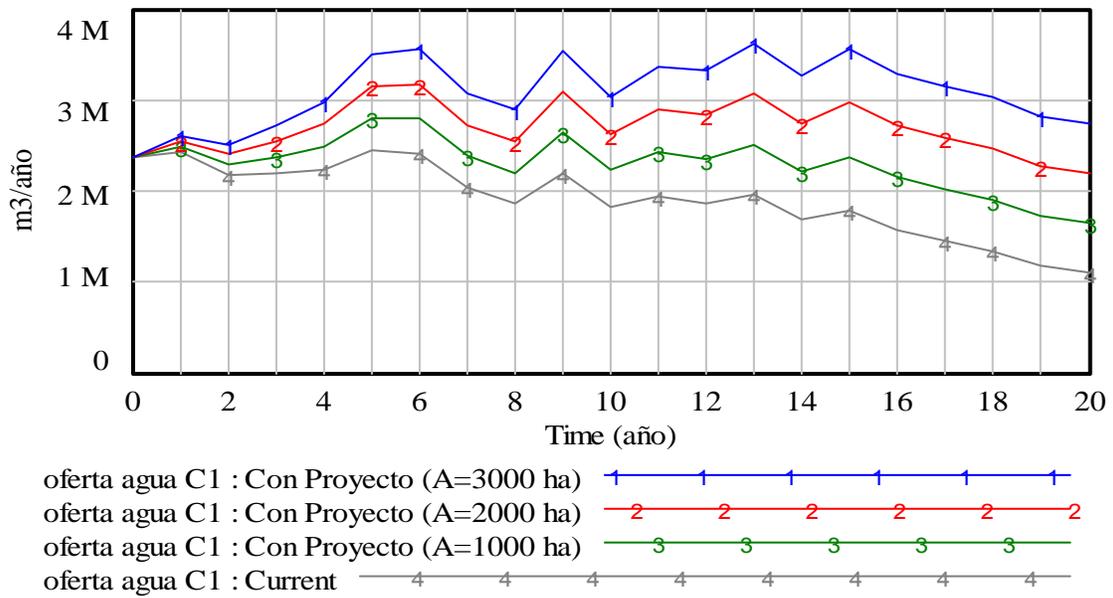


Gráfico No. 4

superficie cultivada C1

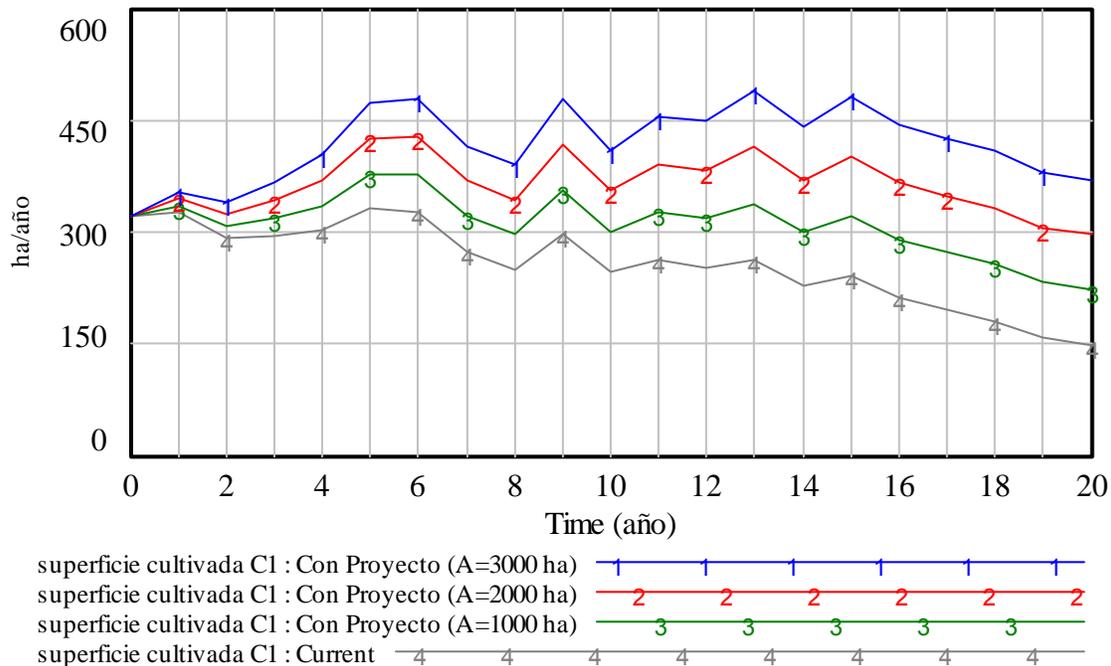
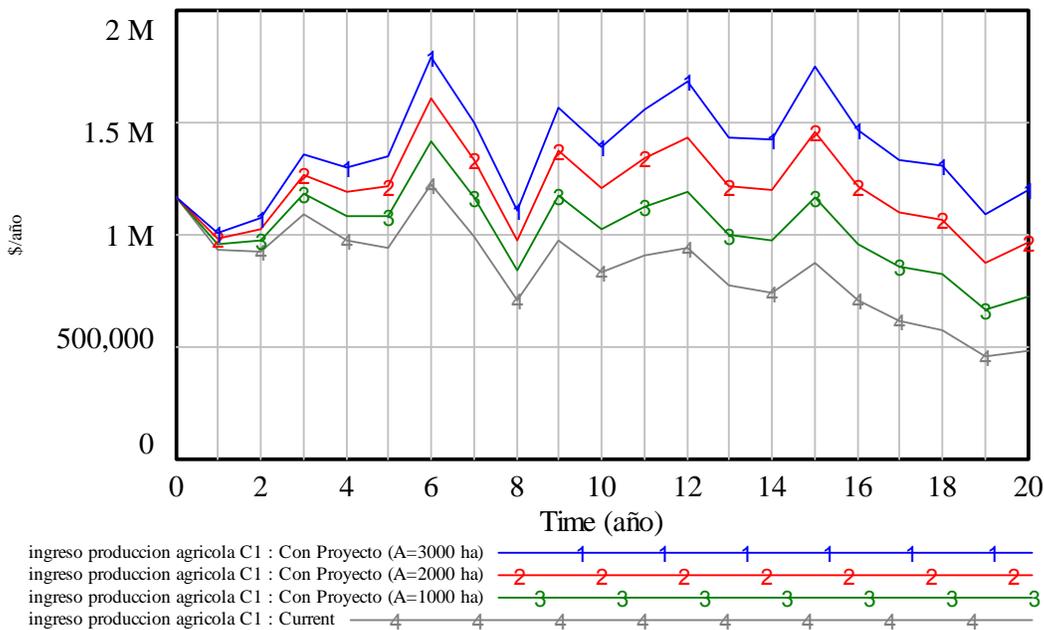


Gráfico No. 5

ingreso produccion agricola C1



ALTERNATIVA 2

Grafico No. 8. Evolución del Coeficiente de aporte agua subterránea para el área de la cuenca sin intervención

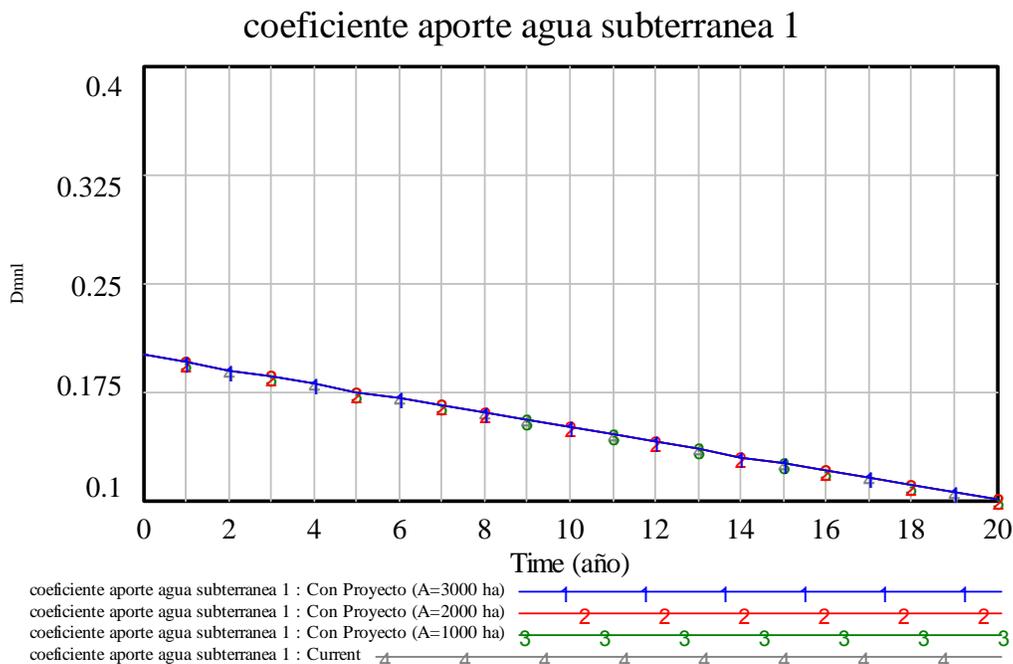
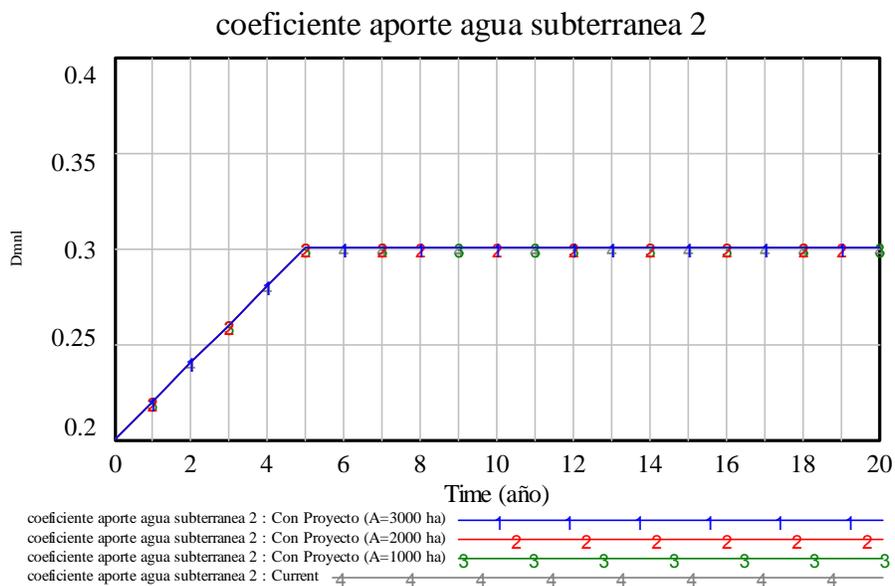


Grafico No. 9. Evolución del Coeficiente de aporte agua subterránea para el área de la cuenca con intervención



10. CONCLUSIONES

Se han simulado dos alternativas que comprenden cuatro escenarios cada una. La primer alternativa comprende la situación sin intervención y el incremento del área de intervención en la cuenca de cabecera de 1000 a 2000 y a 3000 ha respectivamente. La segunda alternativa es similar a la primera pero considera un incremento del coeficiente de aporte de agua subterránea de 0.20 a 0.3 en un lapso de 5 años, en lugar al incremento de 0.2 a 0.25 de la primera alternativa.

Tanto para la primera como para la segunda alternativa, todas las variables de interés (oferta de agua, superficie cultivada, producción agrícola, ingresos agrícolas y beneficios agrícolas) se incrementan en proporción al área intervenida.

El VAN para los tres escenarios de la primer alternativa presenta un valor positivo para un horizonte mayor de 3 años para el primer escenario, 7 años para el segundo y 12 para el tercer escenario. Para el caso de la segunda alternativa, el VAN presenta un valor positivo para un horizonte mayor de 5 años para el primer escenario, 12 años para el segundo y negativo para el tercer escenario.

Se observa que mientras mayor es la superficie intervenida, lo que representa más inversión, el VAN es menor. Lo que podría llevar a la conclusión de que desde el punto de vista económico es mejor no invertir y dejar las cosas como están, lo que obviamente se traduciría en un desastre ambiental y económico. Estas discrepancias se presentan porque solo se están considerando como beneficios de la restauración de la cuenca de cabecera los beneficios por la producción agrícola cuando existen otros beneficios ambientales importantes que no se están considerando.

También se observa que pese a la exageración de cargar todas las inversiones del manejo de cuencas a solo la producción agrícola bajo riego, la inversión es rentable para un horizonte mayor a 12 años tanto para la primera como la segunda alternativa, a excepción del tercer escenario de la alternativa 2.

Si tomamos en cuenta que para este tipo de inversiones el Estado es el principal financiador (a fondo perdido), resulta evidente el beneficio importante que tendrán estas inversiones en la calidad de vida de los productores.

Si bien el modelo desarrollado ha demostrado su importancia para la evaluación económica de diferentes alternativas, se debe continuar con su afinamiento incluyendo sobre todo los beneficios ambientales (valorados) que resultan de un manejo de cuencas.

BIBLIOGRAFIA

OTNPB. 1999. Plan de Manejo de los Recursos Naturales de la Cuenca del Río Camacho. Tarija, Bolivia.

Monzon Perala, A. 1985. Plan Maestro para el ordenamiento de la Cuenca Alta del Río Guadalquivir. Documento de Trabajo No. 3. PERTT/FAO (GCP/Bol/016/Nor). Tarija, Bolivia.

Moreno Díaz, Alonso; Renner, Isabel (Editores). 2007. Gestión Integral de Cuencas. La experiencia del Proyecto Regional Cuencas Andinas. CIP. Lima, Perú.

Montes, C.; F. Borja, F. y Moreira, J.M. Naturaleza de la aproximación ecosistémica. Departamento Interuniversitario de Ecología. Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma de Madrid. España.

Martín García, Juan. 2011. Teoría y ejercicios prácticos de Dinámica de Sistemas. Barcelona, España.



<http://dinamica-de-sistemas.com/>

Distribuidor Oficial Vensim:

<http://atc-innova.com/>

Libros

Cursos Online



[Ejercicios](#)



[Curso Básico Intensivo en Dinámica de Sistemas](#)



[Avanzado](#)



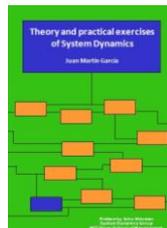
[Curso Superior en creación de modelos de simulación](#)



[Conceptos](#)



[Modelos de simulación en ecología y medioambiente](#)



[English](#)



[Planificación de empresas con modelos de simulación](#)



[Português](#)



[System Thinking aplicado al Project Management](#)