

# MODELADO CUANTITATIVO PARA SISTEMAS SILVOPASTORILES

## ESTUDIANTES:

- Malena Costa
- Juan Diego González
- Victoria Martínez

# AGENDA

- INTRODUCCIÓN
- MARCO TEÓRICO
- DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA
- MODELO MATEMÁTICO
- EXPERIMENTACIÓN NUMÉRICA
- CONCLUSIONES

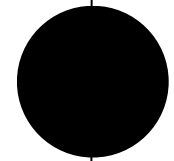
---

# INTRODUCCIÓN

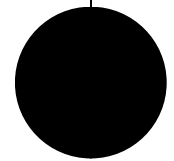
---

# INTRODUCCIÓN

## SISTEMAS AGROFORESTALES



Sistemas que llevan un uso integrado de la tierra.



Tres tipos

- Agrosilvicultura: Cultivos + Árboles
- Agrosilvopastoral: Cultivos + Árboles + Pasturas + Animales
- Silvopastoral: Árboles + Pasturas + Animales



# INTRODUCCIÓN

Definición de sistemas silvopastoriles (SSP):

“Integración deliberada y a largo plazo de árboles, ganado y pasturas, que interactúan en forma armónica, propendiendo a la sinergia de sus componentes, con el objetivo de maximizar la producción del sistema en forma sostenible”

- Sancho, L. (2021)





# INTRODUCCIÓN



El objetivo principal del proyecto es desarrollar y evaluar un modelo matemático que maximice la ganancia de un SSP en base a tres decisiones principales:

- Disposición espacial de los árboles.
- Año de corte de la madera.
- Carga ganadera por año.

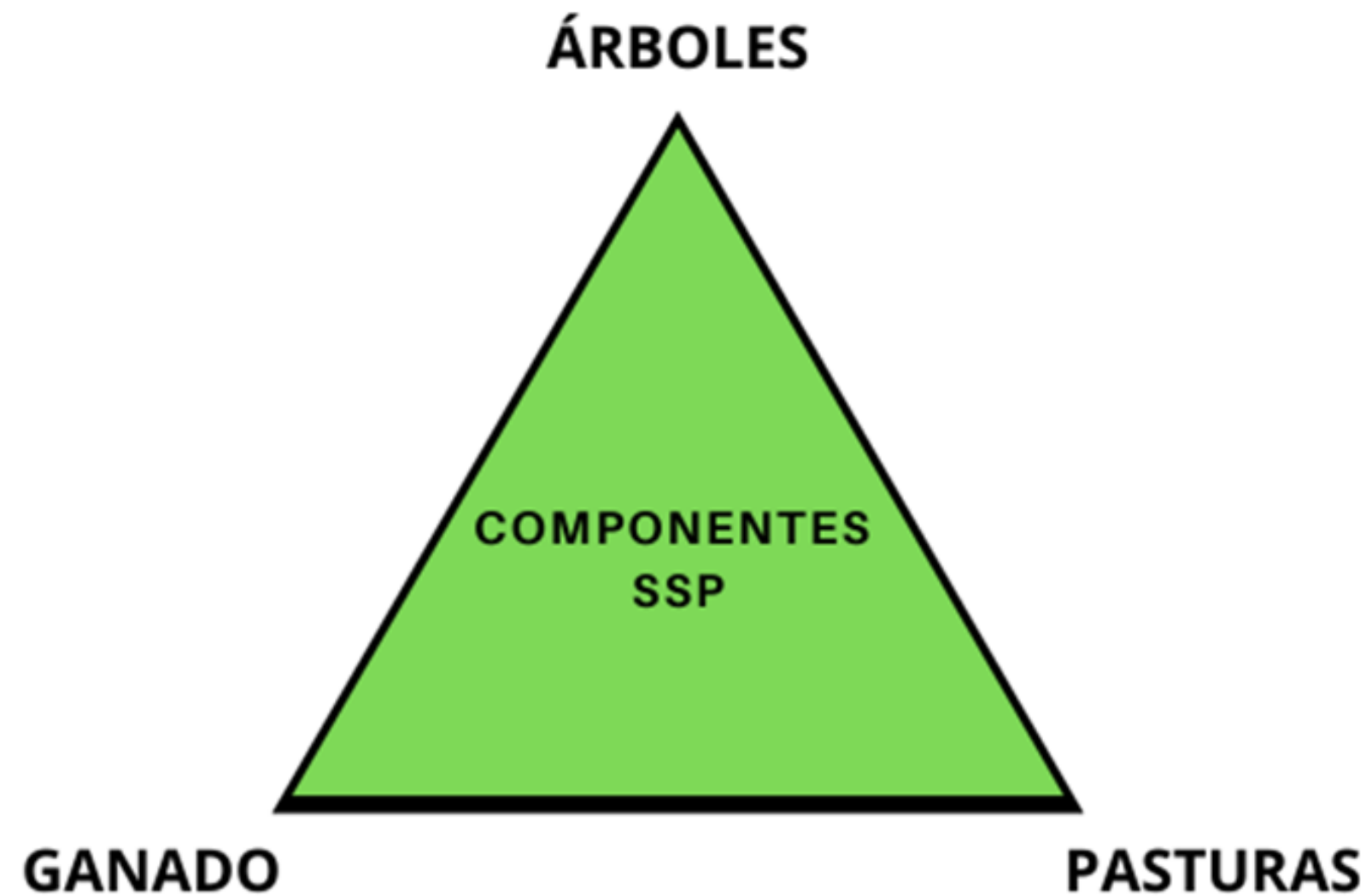
---

# MARCO TEÓRICO

---

# MARCO TEÓRICO

## COMPONENTES DE LOS SSP



Fuente: Elaboración propia

# MARCO TEÓRICO

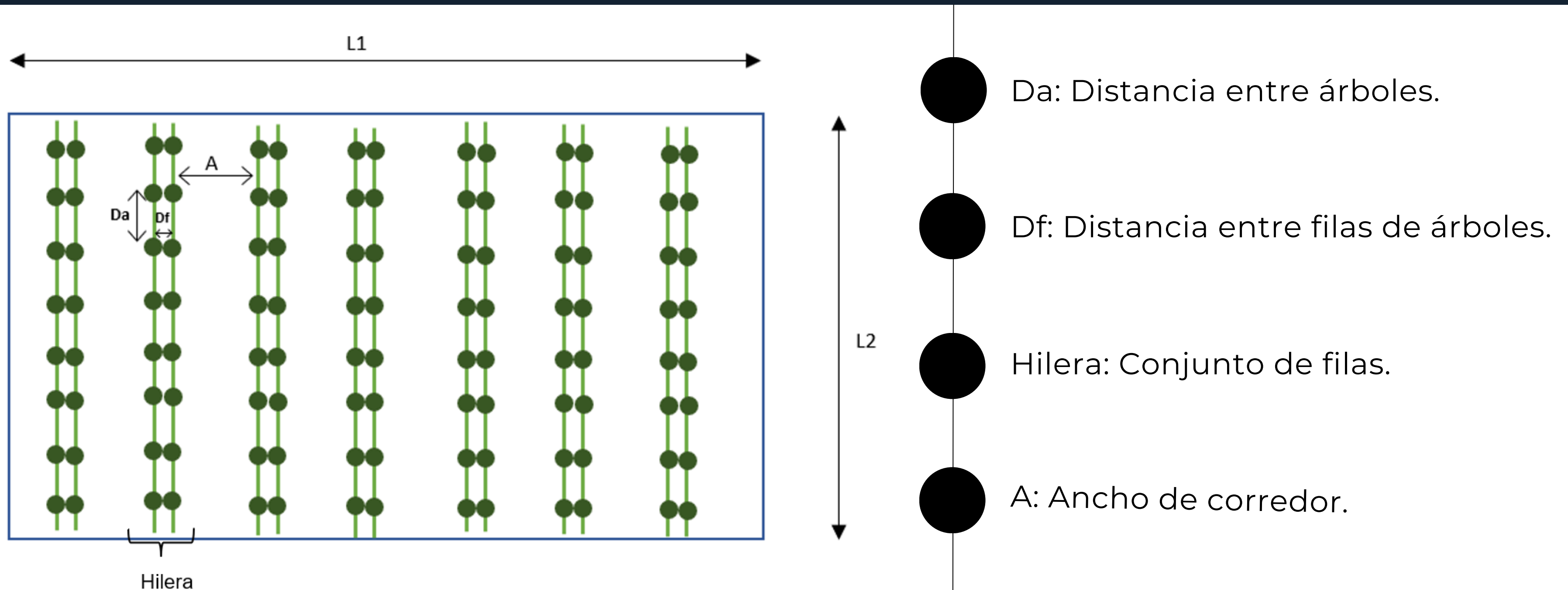
## CICLOS DE LOS COMPONENTES DEL SSP



Fuente: E. Varela (2019)

# MARCO TEÓRICO

## CONCEPTOS DE FORESTACIÓN

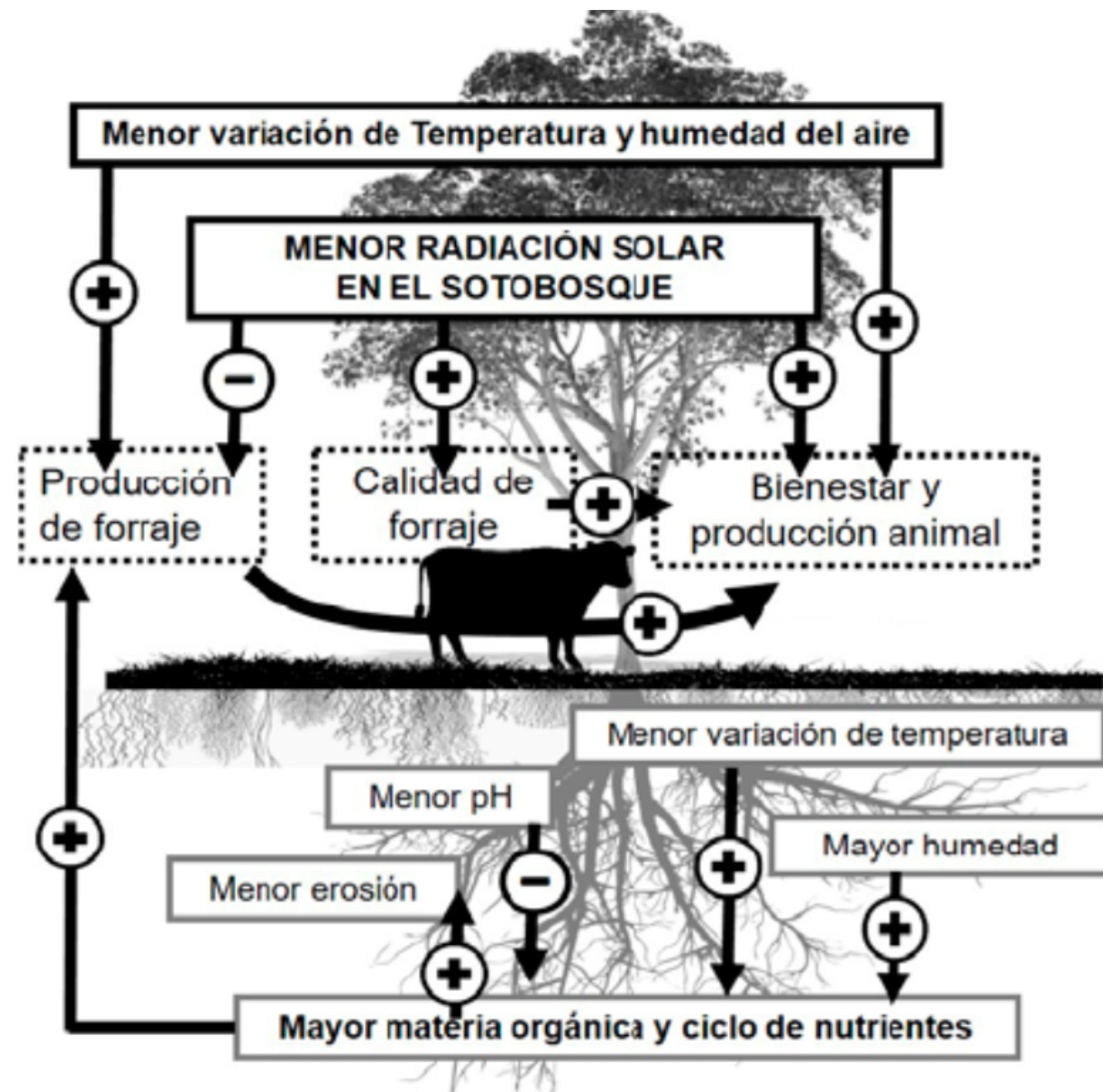


Fuente: Elaboración propia

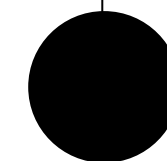


# MARCO TEÓRICO

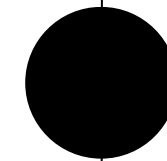
## INTERACCIONES ENTRE COMPONENTES



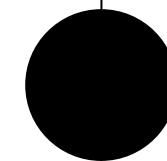
Fuente: J. Fedrigo (2018)



Forestal - Ganadería



Ganadería - Pastura



Forestal - Pastura



# MARCO TEÓRICO

## BENEFICIOS AMBIENTALES

CAPTACIÓN DE  
FÓSFORO

NEUTRALIZACIÓN  
DE ANTIBIÓTICOS

EROSIÓN DE  
LOS SUELOS





---

# DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

---

# DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

## DECISIONES IMPORTANTES EN LOS SSP:

- DISPOSICIÓN ESPACIAL DE FORESTACIÓN
- AÑO DE CORTE DE LA MADERA
- CARGA GANADERA POR AÑO

## CONSIDERANDO:

- COSTOS FIJOS
- COSTOS VARIABLES
- GANANCIAS CORRESPONDIENTES
- COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA EN EL TIEMPO

# DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

ALGUNOS DE LOS FACTORES QUE BUSCA DETERMINAR EL PROBLEMA SON :

- CANTIDAD DE FILAS POR HILERA
- DISTANCIA ENTRE ÁRBOLES
- DISTANCIA ENTRE FILAS DE ÁRBOLES
- ANCHO DE CORREDORES

**TRATAMIENTO:** VALORES QUE TOMEN LA CANTIDAD DE FILAS, LA DISTANCIA ENTRE FILAS, LA DISTANCIA ENTRE ÁRBOLES Y EL ANCHO DE CORREDORES.

EXISTIRÁN TANTOS TRATAMIENTOS COMO COMBINACIONES POSIBLES ENTRE LOS VALORES DE ESTOS PARÁMETROS.

# DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

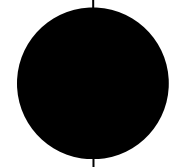


Fuente: J. Dutra da Silveira (2022)

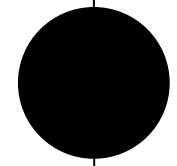
# DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

- Al inicio del ciclo queda definida la cantidad de árboles que se tendrá en el sistema.
- El valor de la madera es dependiente del tiempo
  - En los primeros 8 años el valor de la madera se considera despreciable.
  - Entre el año 8 y 12 la madera se puede colocar en el mercado de pulpa de celulosa.
  - A partir del año 13, la calidad de la madera aumenta y también su precio.
- Se considera un factor de descuento para tener en cuenta la incertidumbre a futuro.
- El año de corte de la madera es el año de ingreso de la ganancia por forestación.

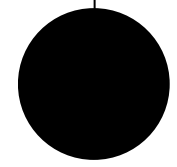
# DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA



El tratamiento elegido tiene un impacto significativo en la cantidad de materia seca del sistema, la cual a su vez también es dependiente del tiempo.



Al aumentar el tamaño de los árboles, la sombra que generan los mismos también aumenta y por ende disminuye la cantidad de materia seca.



En cada año del ciclo, la cantidad de materia seca disponible determina una cantidad máxima posible para la carga ganadera.

---

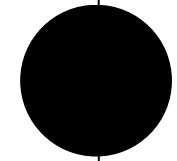
# MODELO MATEMÁTICO

---

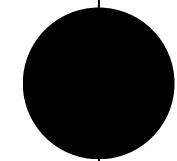


# MODELO MATEMÁTICO

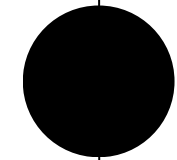
## CONJUNTOS



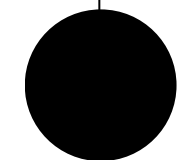
$I$ : Cantidad de filas en una hilera



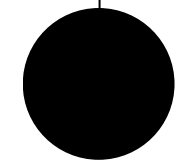
$J$ : Distancias posibles entre filas



$K$ : Distancias posibles entre árboles



$L$ : Anchos posibles de los corredores



$T$ : Períodos de tiempo (años)





# MODELO MATEMÁTICO

## PARÁMETROS

### COSTOS Y GANANCIAS

- $P_{vm}$
- $V_{cp}$
- $C_{ff}$
- $C_{vf}$
- $C_{fg}$
- $FD_t$

### COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA

- $C_{ss}$
- $C_{cs}$
- $MS_{st}$
- $P_{max}$
- $Z$
- $V$
- $FP$
- $M$
- $D_p$

### TIEMPO

- $T_{cm}$
- $T_{max}$

### DIMENSIONES DEL PREDIO

- $L_1$
- $L_2$

### CANTIDADES

- $Q_{ijkl}$
- $Q_{gt}$

# MODELO MATEMÁTICO

## VARIABLES

●  $X_{ijkl} \in \{0, 1\}$  → Elección del tratamiento, toma el valor 1 si se selecciona el tratamiento  $\{i,j,k,l\}$ , 0 en caso contrario.

●  $Tc \in T$  → Año de corte de la madera.

●  $Xg_t \in \mathbb{Z}^+$  → Cantidad de ganado en el tiempo  $t$ .

Conjuntos	Valor
$I$	$\{2, 3, 4\}$
$J$	$\{4.5, 5, 5.5, 6\}$
$K$	$\{2, 2.5, 3, 3.2, 3.5\}$
$L$	$\{18, 20, 22, 24, 26, 30\}$

# MODELO MATEMÁTICO

## FUNCIÓN OBJETIVO

Ganancia forestación

$$\begin{aligned}
 \max \quad & \left[ \frac{Dp \times L_1^2 \times L_2^2 \times Z \times Tc \times FD_{Tc} \times Pvm_{Tc} \times V}{H^2} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} \frac{X_{ijkl}}{Qa_{ijkl}} \right. \\
 & \left. + Vcp \sum_{t \in T} FD_t \times X_{gt} \right] \text{ Ganancia ganadería} \\
 & - \frac{L_1 \times L_2}{H} [Cff \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} X_{ijkl} + Cfg \sum_{t \in T} FD_t \times G_t] \text{ Costos fijos} \\
 & - Cvf \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} X_{ijkl} \times Qa_{ijkl} \left[ \frac{1}{Tc} \right] \text{ Ganancia promedio anual} \\
 & \text{Costos variables}
 \end{aligned}$$

---

# EXPERIMENTACIÓN NUMÉRICA

---

# EXPERIMENTACIÓN NUMÉRICA

CASO BASE

## Parámetros

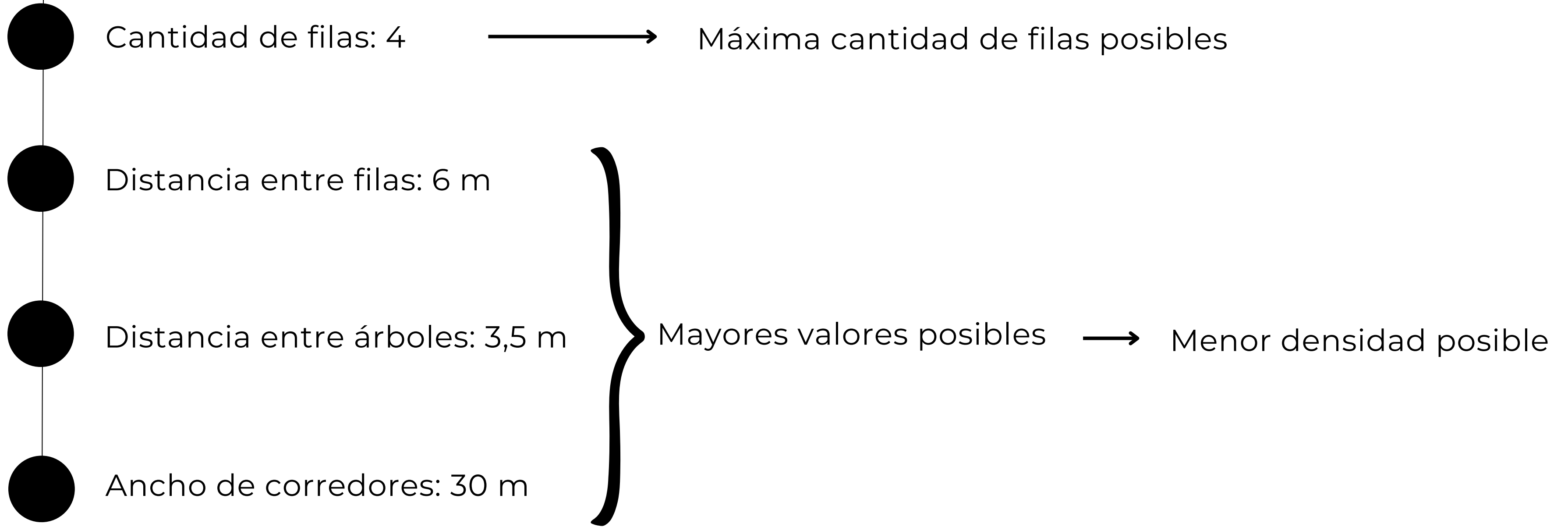
Parámetro	Valor
$L_1$	150m
$L_2$	200m
$Pvm$ ( $0 < t < 8$ )	0 USD
$Pvm$ ( $8 < t < 13$ )	20 USD
$Pvm$ ( $t \geq 13$ )	30 USD
$Vcp$	1.9 USD
$Ccs$	0.030
$Css$	0.036

## Conjuntos

Conjuntos	Valor
$I$	{2, 3, 4}
$J$	{4.5, 5, 5.5, 6}
$K$	{2, 2.5, 3, 3.2, 3.5}
$L$	{18, 20, 22, 24, 26, 30}

# EXPERIMENTACIÓN NUMÉRICA

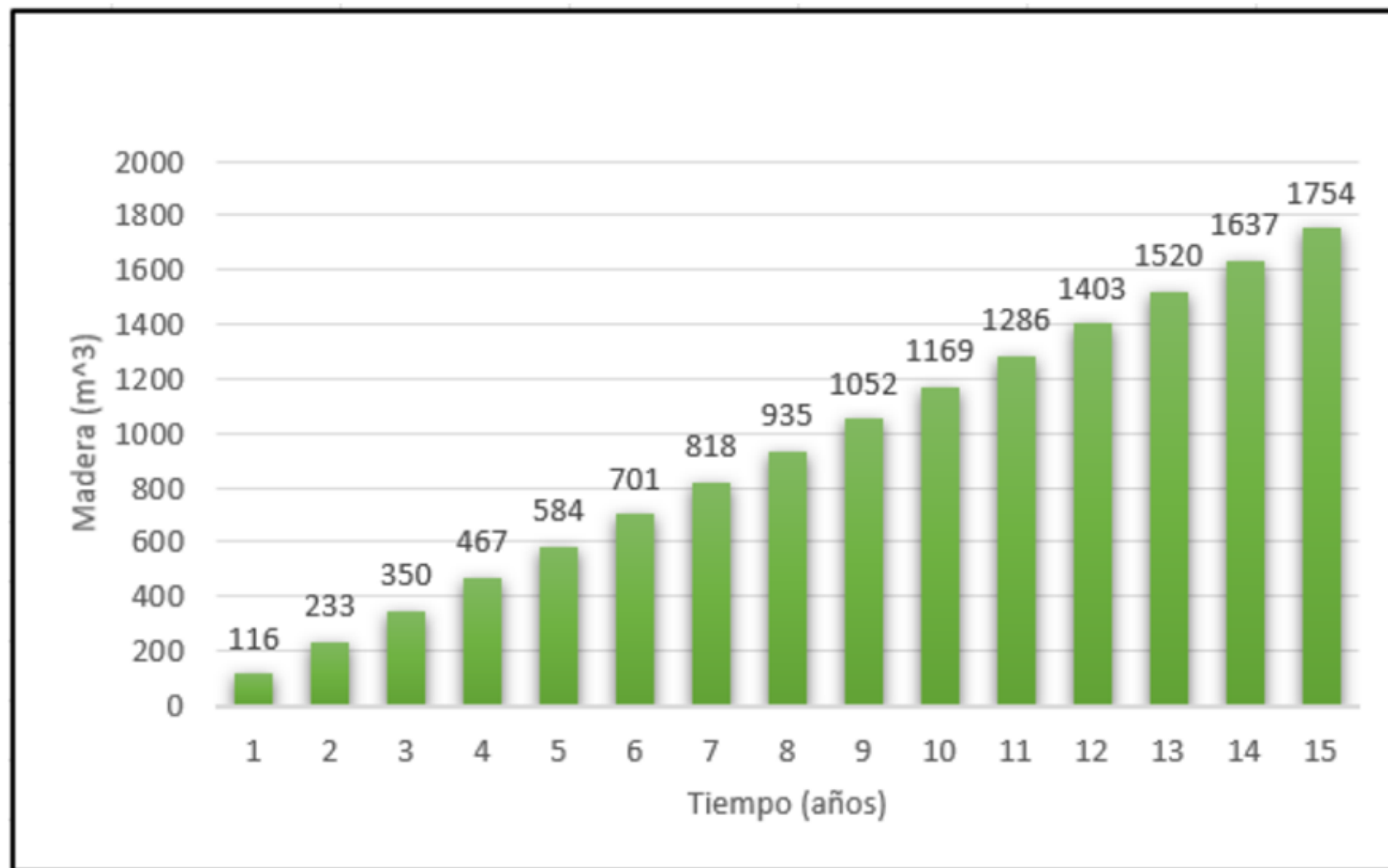
SOLUCIÓN CASO BASE - TRATAMIENTO ESCOGIDO



# EXPERIMENTACIÓN NUMÉRICA

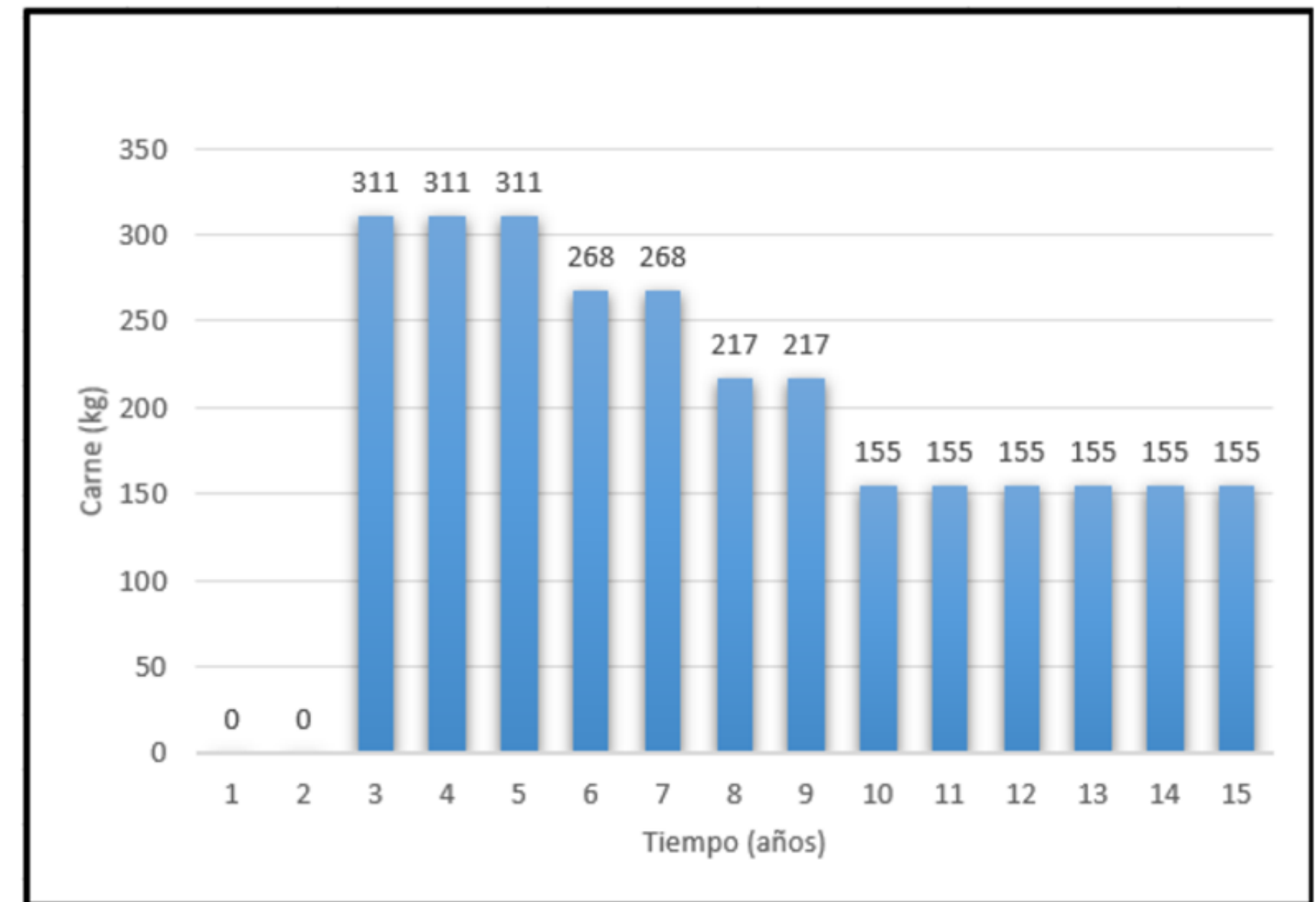
## EVOLUCIÓN DEL SISTEMA

### EVOLUCIÓN DE LA MADERA



Fuente: Elaboración propia

### EVOLUCIÓN DE LA CARGA GANADERA

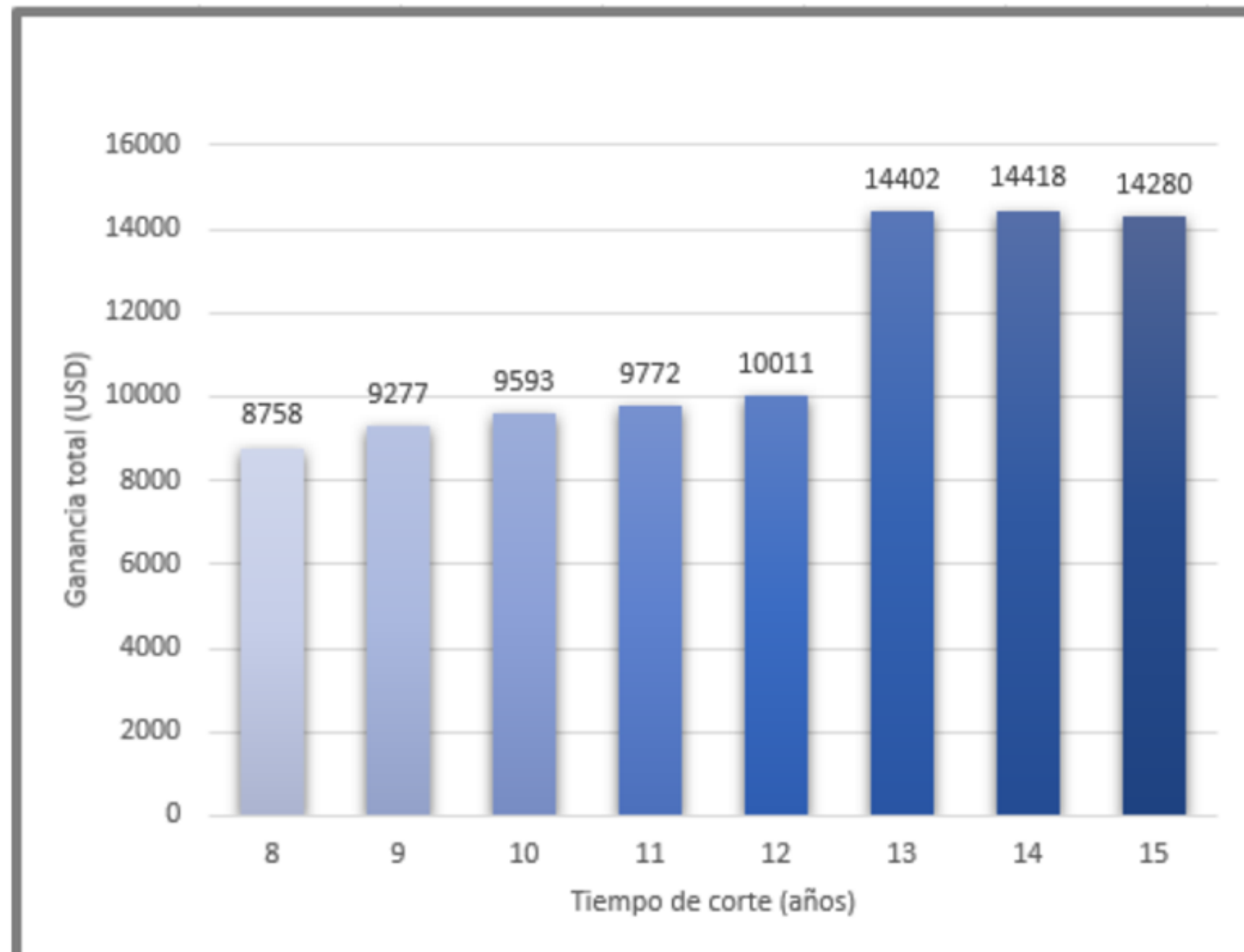


Fuente: Elaboración propia

# EXPERIMENTACIÓN NUMÉRICA

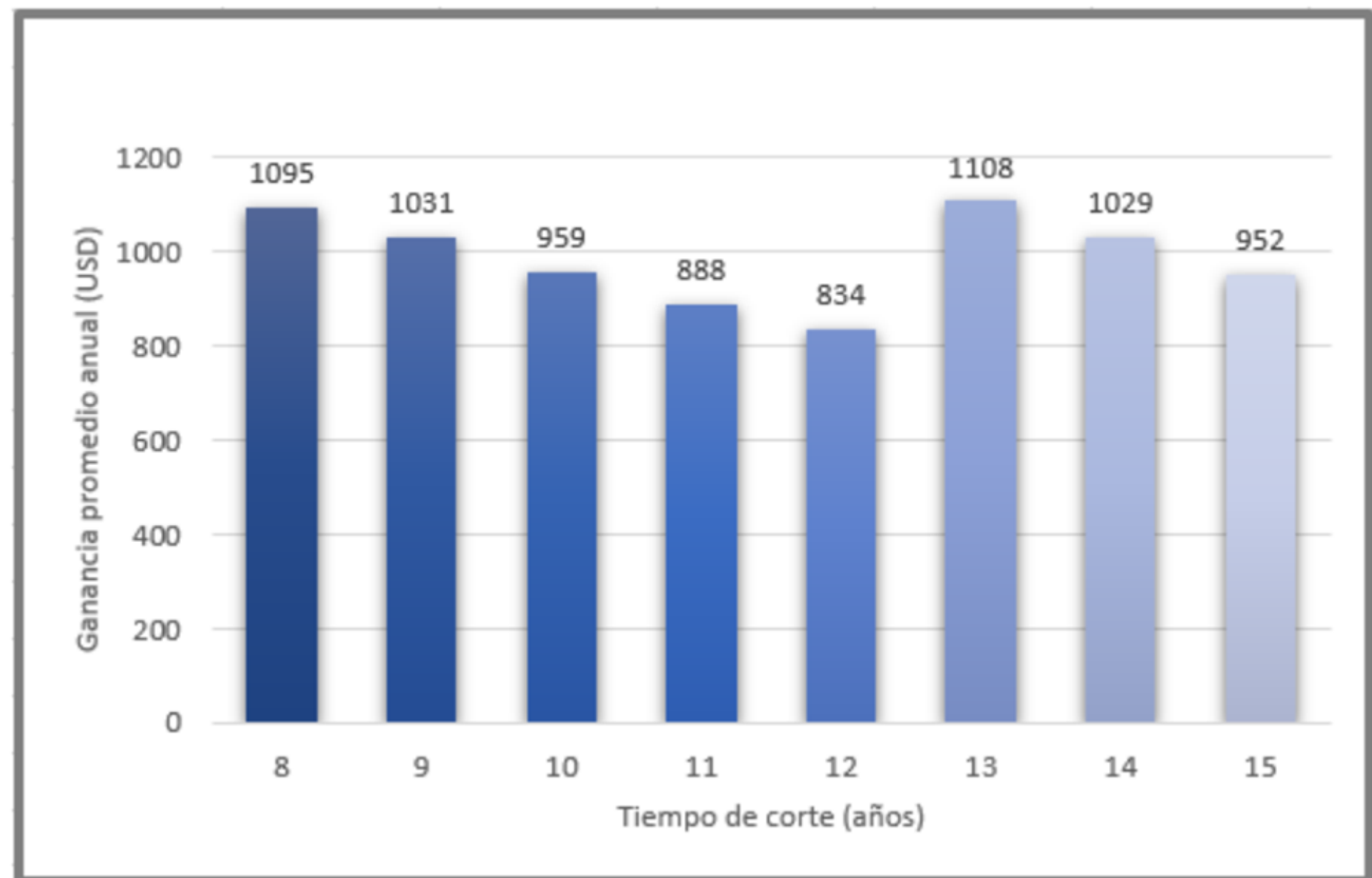
GANANCIA SEGÚN EL AÑO DE CORTE

## GANANCIA TOTAL



Fuente: Elaboración propia

## GANANCIA PROMEDIO ANUAL



Fuente: Elaboración propia



---

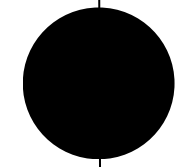
# CONCLUSIONES

---

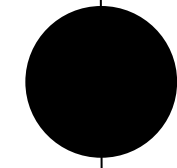


# CONCLUSIONES

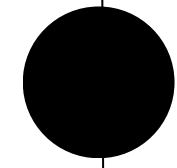
## CONCLUSIONES GENERALES



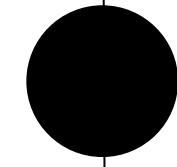
Se cumplió con los objetivos iniciales elaborando un modelo matemático y estado del arte.



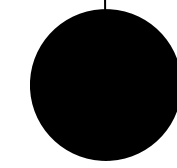
Tendencia a tratamientos con la mayor cantidad de filas posibles.



Año 13 conveniente para el corte de la madera.



Diversificación de la inversión



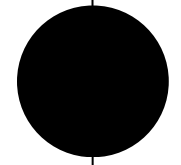
Creciente interés en la temática.



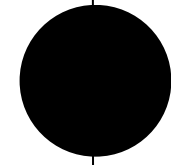


# CONCLUSIONES

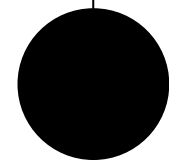
## TRABAJOS FUTUROS



Importancia de la ganadería y forestación en la matriz productiva de Uruguay.



Incorporar beneficios ambientales en el modelo.



Incorporar beneficio para los suelos frente a sistemas tradicionales de forestación.

---

¿PREGUNTAS?

---