



Centro de Investigación  
y Desarrollo Ecuador



# Estrategias de riego deficitario controlado mediante modelos matemáticos para determinación de riego óptimo en plátano

## AUTORES:

Cristian Valdivieso López, Ángel Guzmán Cedeño, Héctor Lucero Zambrano, Leonardo Vera Macías, Galo Cedeño García, Geoconda López Álava, Dilmo García Arteaga

El Carmen, noviembre de 2018

I Seminario  
Internacional  
**REDUPLÁTANO**  
**Ecuador 2018**

# ÍNDICE

1. Introducción
2. Objetivos
3. Materiales y métodos
4. Resultados y discusión
5. Conclusiones



# 1. Introducción

- Los requerimientos de agua para las 280 millones de hectáreas bajo riego son de 2.300 km<sup>3</sup> al año, lo que representa el 70% de las extracciones, convirtiendo al sector agrícola en el mayor consumidor de agua.
- Para lograr una producción agrícola de calidad y en cantidad, el riego resulta vital.
- Debido a la fuerte presión por el uso del agua, el sector agrícola se ve en la necesidad de usar eficientemente el agua, asignando la dosis óptima de agua para cada cultivo logrando maximizar la ganancia económica.



- ▶ En cuanto al comercio, en el año 2014 se exportó plátano a nivel global por un valor de 470,2 millones de dólares. Con 97,3 millones de dólares, Ecuador ocupa el primer lugar en las exportaciones mundiales (TradeMap).
- ▶ En Ecuador, el plátano además de ser un producto tradicional, su producción genera importantes divisas para el país. De acuerdo con el (INEC), en Ecuador hay plantadas cerca de 141.441 hectáreas de plátano. Con 50.376 hectáreas, la provincia de Manabí ubicada al sur-occidente del país es la mayor productora concentrando el 35,6% del área total.



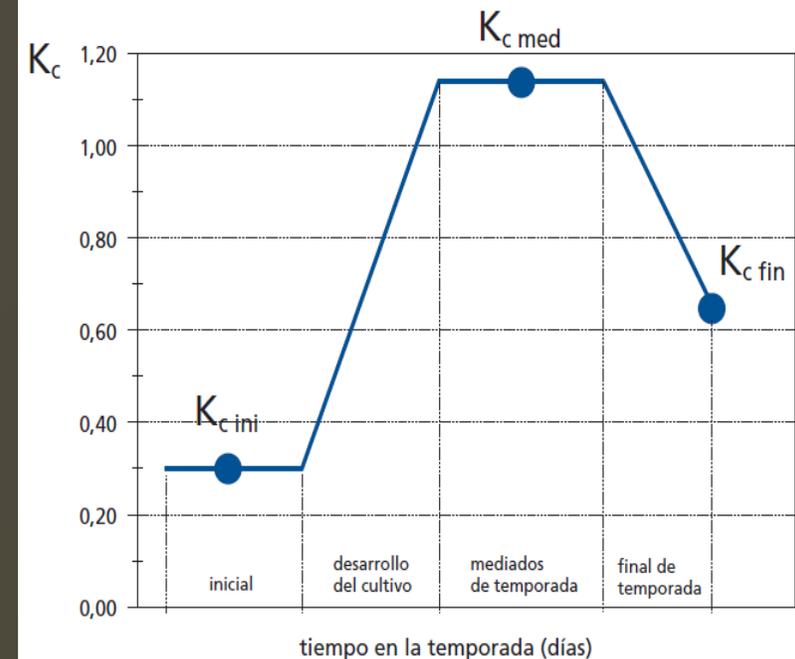
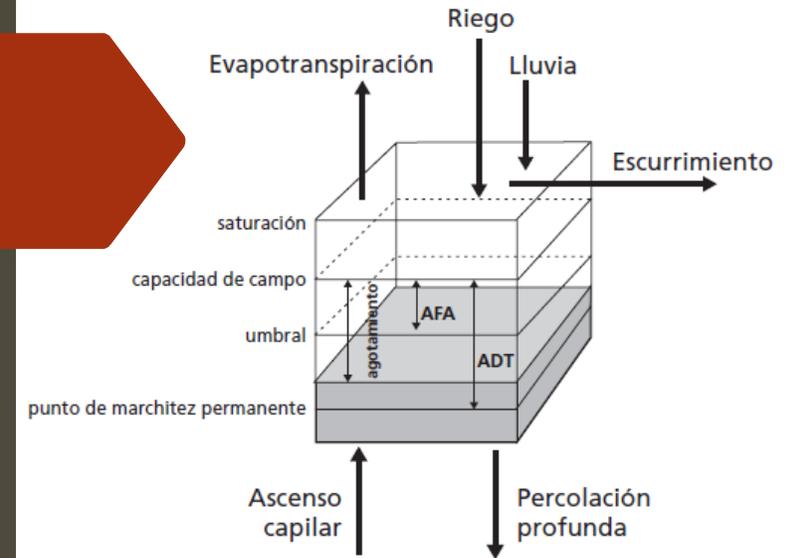
## 2. Objetivos

- Objetivo general:
  - Establecer las estrategias de riego deficitario controlado mediante modelos matemáticos para la determinación de riego óptimo en plátano
- Objetivos específicos:
  - Estimar las necesidades totales de riego, mediante un balance diario de los principales cultivos del cultivo de plátano en las principales zonas productoras.
  - Determinar los costos de producción para el cultivo de plátano, analizando el riesgo de la variabilidad de los precios de venta, empleando la simulación de Monte Carlo.
  - Emplear un modelo hidro-económico, que asigne el agua y la superficie de siembra del cultivo de plátano de manera que optimice el uso de agua maximizando el margen-bruto.

### 3. Materiales y métodos

- ▶ Para calcular los requerimientos totales de riego, se empleó la metodología de la FAO 56, aplicando el  $k_c$  dual que considera por separado la transpiración del cultivo y la evaporación del suelo.
- ▶ Para plantear la estrategia de riego deficitario controlado, se aplicó la ecuación de Doorembos y Kassam.
- ▶ El análisis del riesgo de la variabilidad de los precios, se llevó a cabo mediante la simulación de Monte Carlo.
- ▶ El modelo hidro-económico determinó la asignación óptima de agua y superficie de siembra para el cultivo de plátano.

FIGURA 43  
Balance de agua en la zona radicular



# Modelo de optimización económica

## Función objetivo:

$$\Pi = \text{Max } MB$$

Donde:

- $\Pi$ : función objetivo
- Max: maximizar
- MB: margen-Bruto (US\$)

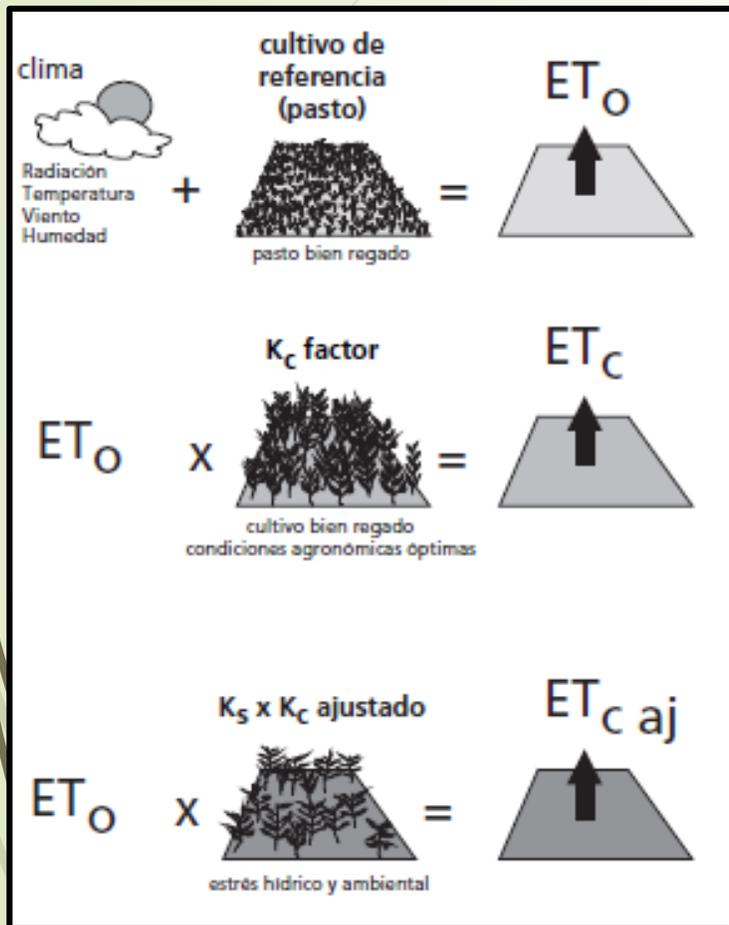
## Margen-bruto:

$$MB = \sum_{i=1}^N As * ((Pr * Pv) - Cp - (W * Cw))$$

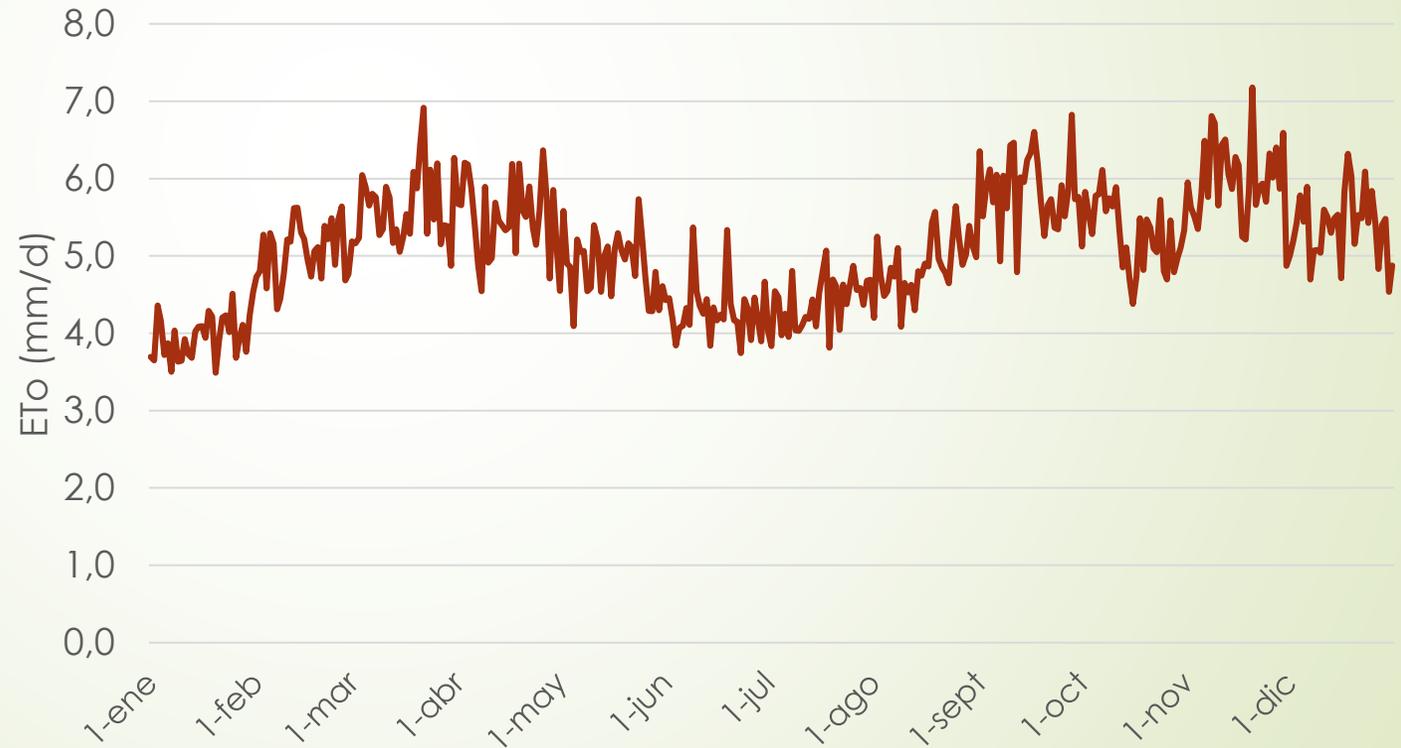
Donde:

- MB: margen-bruto total (US\$)
- N: número de productores
- $\Sigma$ : sumatoria
- i: representa cada cultivo analizado
- As: superficie dedicada al cultivo de plátano (ha)
- Pr: producción (tm/ha)
- Pv: precio de venta (US\$/tm)
- Cp: costo de producción (US\$/ha)
- W: riego aplicado a al cultivo de plátano (m<sup>3</sup>/ha)
- Cw: costo del agua (US\$/m<sup>3</sup>)

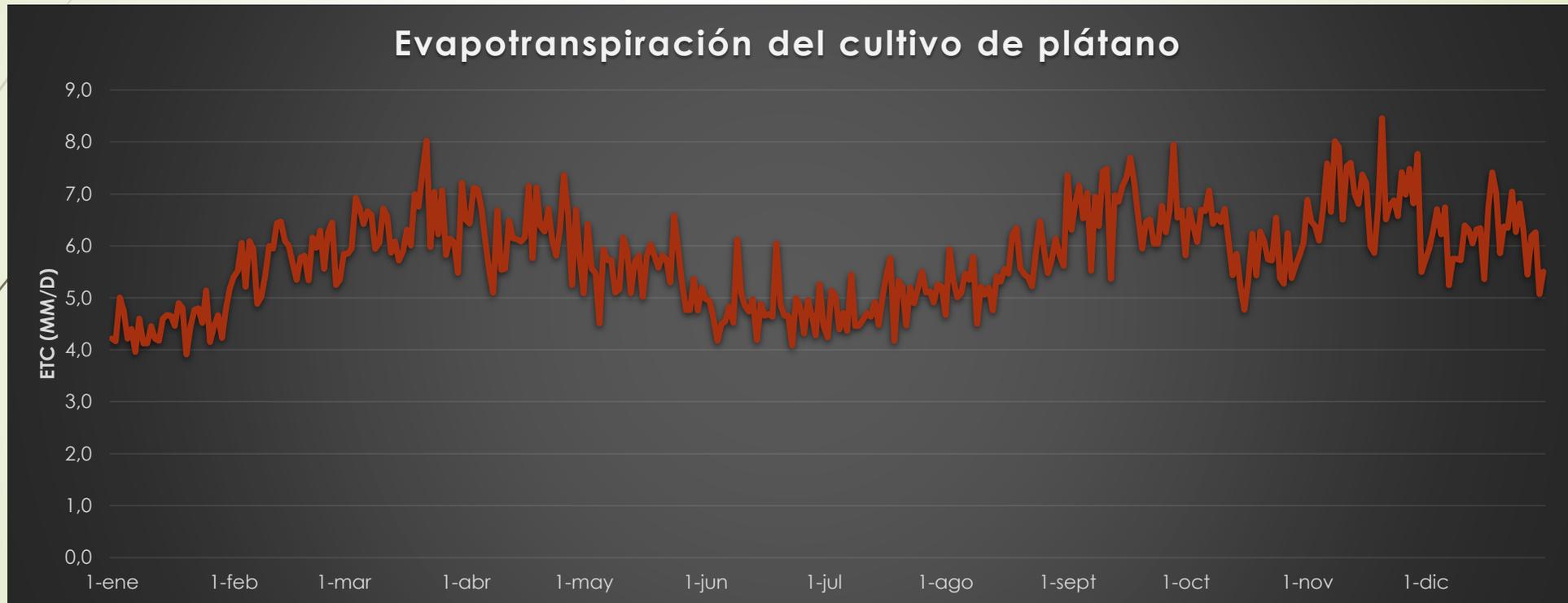
# 4. Resultados y discusión



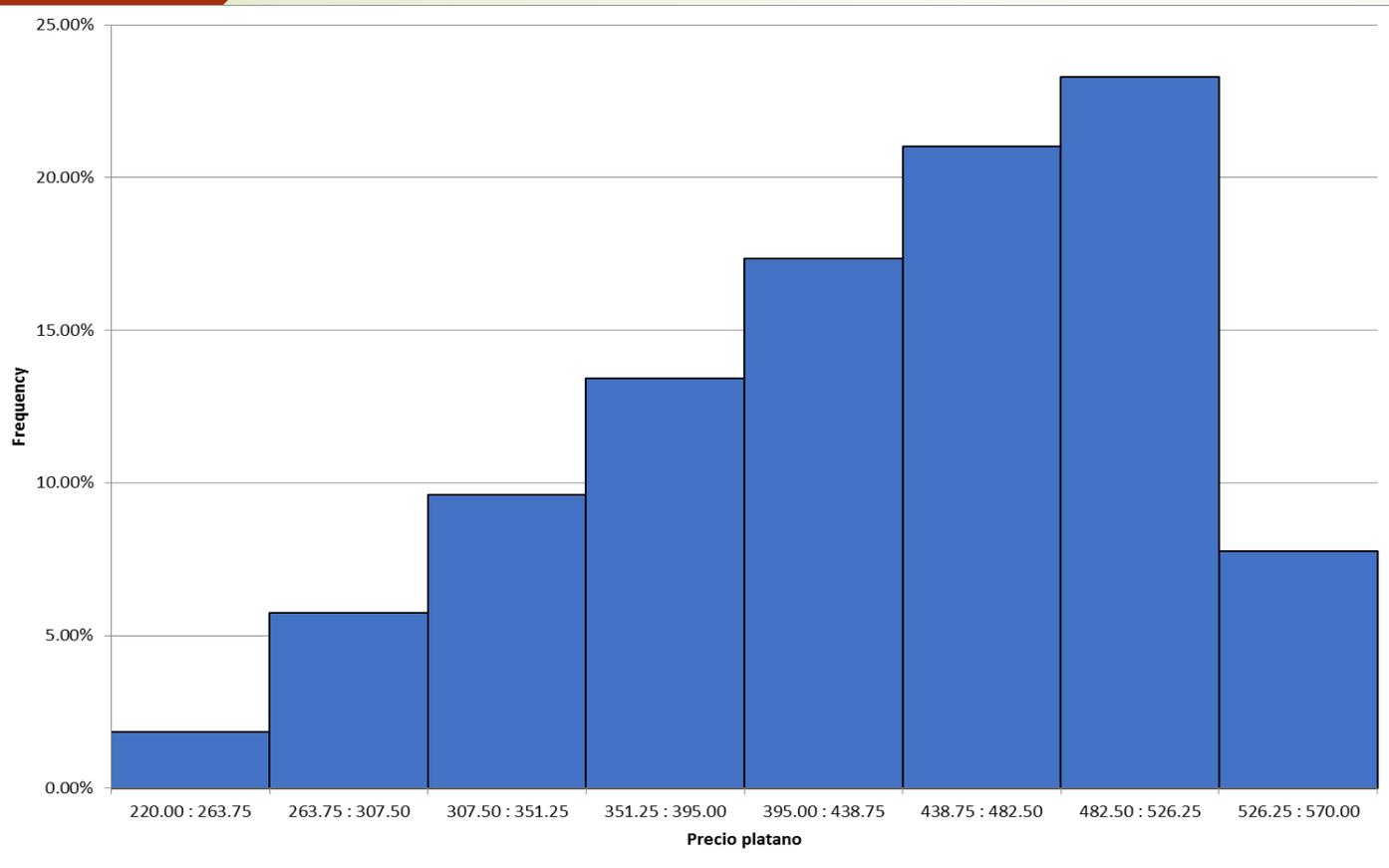
Evapotranspiración de referencia



# Evapotranspiración del cultivo de plátano



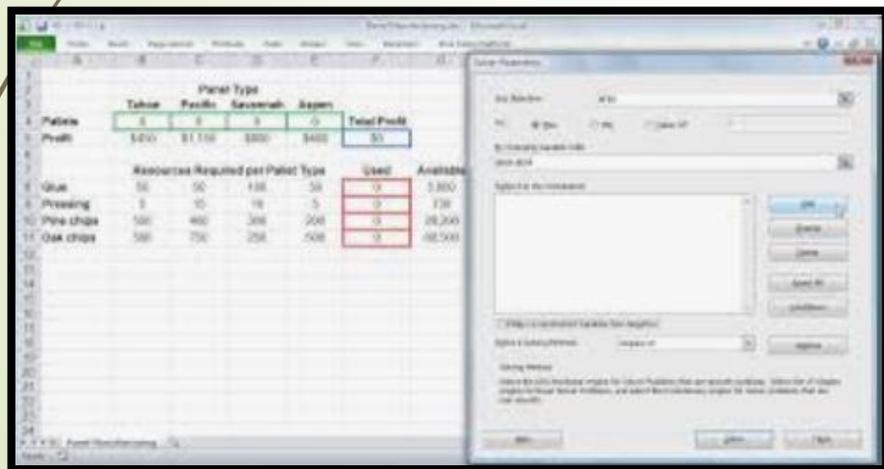
# Análisis del riesgo de la variabilidad de los precios de venta



<b>Promedio</b>	<b>431,59</b>	<b>Percentiles</b>	
<b>Desviación standard</b>	75,38	20,00 %	361,53
<b>Error standard</b>	0,07	40,00 %	419,88
<b>Máximo</b>	564,35	60,00 %	464,85
<b>Mínimo</b>	221,04	80,00 %	502,66

## Estrategia de riego deficitario controlado

	Fracción de reducción en la producción			
ya/ym	1.0	0.9	0.8	0.7
Plátano	2099,20	1945,60	1702,40	1510,40



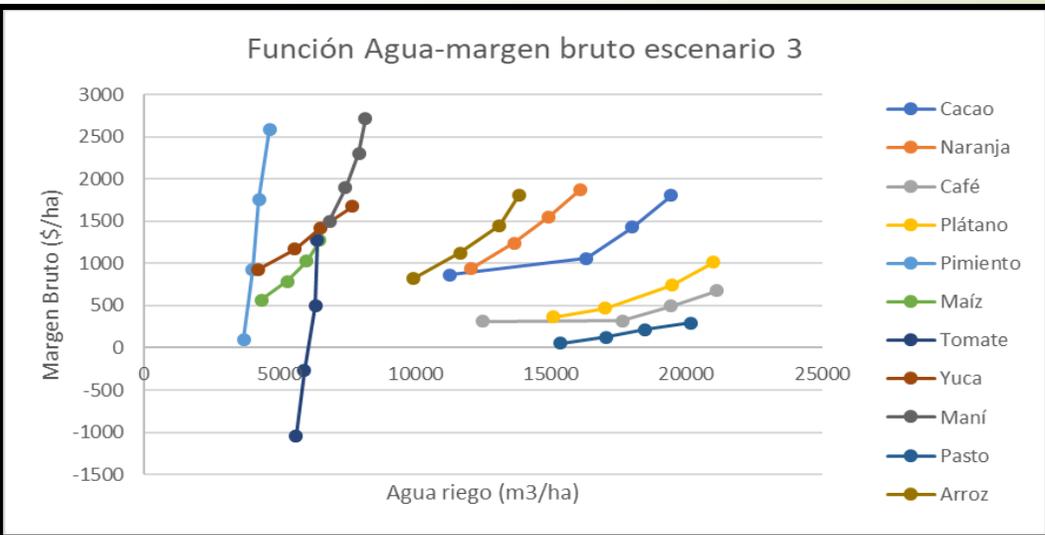
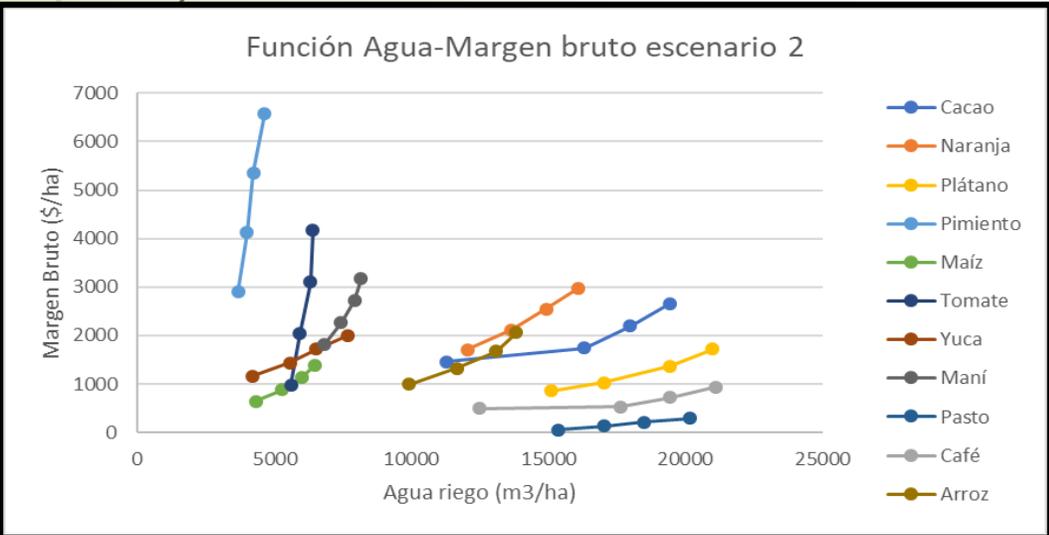
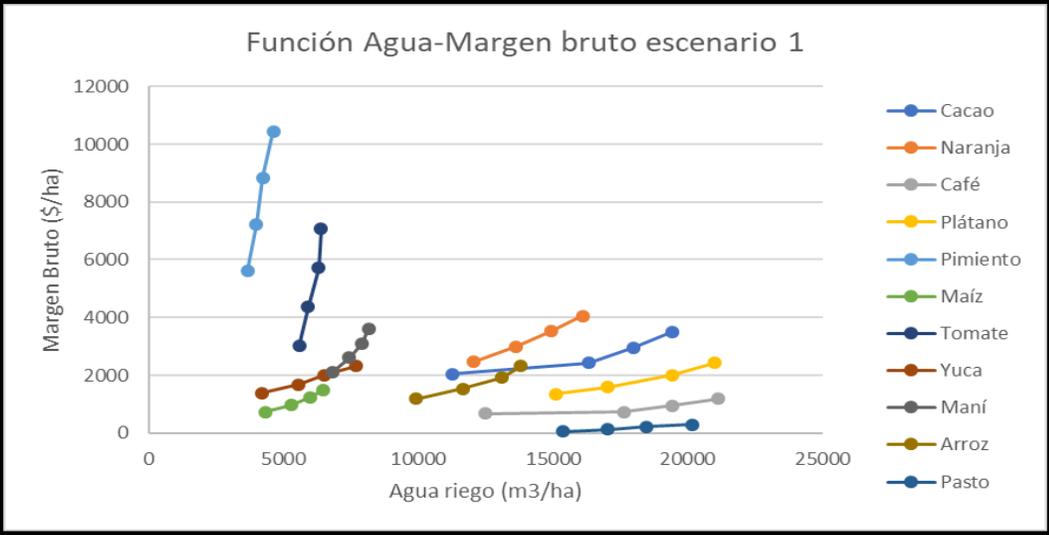
## Función rendimiento margen-bruto

Fracción del rendimiento esperado (Ya/Ym)	Plátano			
	Producción (Tm/ha)	Margen Bruto (\$/ha)		
		Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
1,00	10,00	2428,60	1717,90	1017,30
0,90	9,00	2009,94	1370,31	739,77
0,80	8,00	1597,28	1028,72	468,24
0,70	7,00	1352,62	855,13	364,71
		Precios de venta (\$/Tm)		
		502,66	431,59	361,53
		Costo de producción (\$/ha)		
		1542,00		



# APLICACIÓN MODELO HIDRO ECONÓMICO CASO CARRIZAL-CHONE

# Función agua margen-bruto



# Escenario 1

Escenario optimizado

Cultivo	Asignación de agua (%)	Riego (m3/ha)	Margen Bruto Total (\$/cultivo)	Superficie (ha/cultivo)	Riego total (hm3/cultivo)
Pimiento	100,00	4640,00	15896556,00	1500,00	6,96
Tomate	100,00	6400,00	9892320,00	1500,00	9,60
Naranja	85,00	14228,86	3278306,04	1000,00	14,22
Maní	100,00	8160,00	3825646,02	1100,00	8,97
Cacao	70,00	11280,00	2875525,50	1500,00	16,92
Plátano	70,00	15100,40	1301241,88	1000,00	15,10
Yuca	70,00	4220,40	272454,08	200,00	0,84
Arroz	70,00	9930,60	280748,94	250,00	2,48
Maíz	70,00	4320,00	171261,00	250,00	1,08
Café	70,00	12480,00	481714,40	800,00	9,98
Pasto	70,00	15360,00	44580,60	900,00	13,82
			<b>38320354,47</b>	<b>10000,00</b>	<b>100,00</b>
			<b>Total Margen Bruto (\$)</b>	<b>Total superficie (ha)</b>	<b>Total volumen (hm3)</b>

Escenario sin optimizar

Cultivo	Asignación de agua (%)	Riego (m3/ha)	Margen Bruto Total (\$/cultivo)	Superficie (ha/cultivo)	Riego total (hm3/cultivo)
Pimiento	100,00	4640,00	9634276,26	909,09	4,21
Tomate	100,00	6400,00	5995345,39	909,09	5,81
Naranja	100,00	16100,67	3650212,48	909,09	14,63
Maní	100,00	8160,00	3161690,87	909,09	7,41
Cacao	100,00	19440,00	2958582,69	909,09	17,67
Plátano	100,00	20990,20	2145126,28	909,09	19,08
Yuca	100,00	7680,00	2106472,70	909,09	6,98
Arroz	100,00	13820,40	2009621,65	909,09	12,56
Maíz	100,00	6480,00	1315341,80	909,09	5,89
Café	100,00	21120,00	979402,71	909,09	19,19
Pasto	100,00	20160,00	267139,99	909,09	18,32
			<b>34223212,89</b>	<b>10000,00</b>	<b>131,81</b>
			<b>Total Margen Bruto (\$)</b>	<b>Total superficie (ha)</b>	<b>Total volumen (hm3)</b>

# Escenario 2

Escenario optimizado

Escenario sin optimizar

Cultivo	Asignación de agua (%)	Riego (m3/ha)	Margen Bruto Total (\$/cultivo)	Superficie (ha/cultivo)	Riego total (hm3/cultivo)
Pimiento	100,00	4640,00	10031688,00	1500,00	6,96
Tomate	100,00	6400,00	5697540,00	1500,00	9,60
Naranja	80,00	13688,86	2179316,30	1000,00	13,68
Maní	100,00	8160,00	3358586,00	1100,00	8,97
Cacao	70,00	11280,00	2011047,00	1500,00	16,92
Plátano	70,00	15100,40	804317,84	1000,00	15,10
Yuca	70,00	4220,40	227783,01	200,00	0,84
Arroz	70,00	9930,60	235710,53	250,00	2,48
Maíz	100,00	6480,00	508647,50	250,00	1,62
Café	70,00	12480,00	342328,00	800,00	9,98
Pasto	70,00	15360,00	44580,60	900,00	13,82
			<b>25441544,79</b>	<b>10000,00</b>	<b>100,00</b>
			<b>Total Margen Bruto (\$)</b>	<b>Total superficie (ha)</b>	<b>Total volumen (hm3)</b>

Cultivo	Asignación de agua (%)	Riego (m3/ha)	Margen Bruto Total (\$/cultivo)	Superficie (ha/cultivo)	Riego total (hm3/cultivo)
Pimiento	100,00	4640,00	6079810,84	909,09	4,21
Tomate	100,00	6400,00	3453054,51	909,09	5,81
Naranja	100,00	16100,67	2667463,34	909,09	14,63
Maní	100,00	8160,00	2775690,88	909,09	7,41
Cacao	100,00	19440,00	2217303,61	909,09	17,67
Plátano	100,00	20990,20	1505439,00	909,09	19,08
Yuca	100,00	7680,00	1814416,34	909,09	6,98
Arroz	100,00	13820,40	1777243,69	909,09	12,56
Maíz	100,00	6480,00	1849627,25	909,09	5,89
Café	100,00	21120,00	754245,44	909,09	19,19
Pasto	100,00	20160,00	267139,99	909,09	18,32
			<b>25161434,93</b>	<b>10000,00</b>	<b>131,81</b>
			<b>Total Margen Bruto (\$)</b>	<b>Total superficie (ha)</b>	<b>Total volumen (hm3)</b>

# Escenario 3

Escenario optimizado

Escenario sin optimizar

Cultivo	Asignación de agua (%)	Riego (m3/ha)	Margen Bruto Total (\$/cultivo)	Superficie (ha/cultivo)	Riego total (hm3/cultivo)
Pimiento	100,00	4640,00	3988224,00	1500,00	6,96
Tomate	100,00	6400,00	251450,00	250,00	1,60
Naranja	75,00	12839,18	1091606,10	1000,00	12,83
Maní	100,00	8160,00	3917178,00	1500,00	12,24
Cacao	70,00	11280,00	1149033,00	1500,00	16,92
Plátano	70,00	15100,40	312933,96	1000,00	15,10
Yuca	70,00	4220,40	182243,11	200,00	0,84
Arroz	75,00	10241,35	211302,87	250,00	2,56
Maíz	100,00	6480,00	1346305,40	1100,00	7,12
Café	70,00	12480,00	203950,40	800,00	9,98
Pasto	70,00	15360,00	44580,60	900,00	13,82
			12698807,44	10000,00	100,00
			Total Margen Bruto (\$)	Total superficie (ha)	Total volumen (hm3)

Cultivo	Asignación de agua (%)	Riego (m3/ha)	Margen Bruto Total (\$/cultivo)	Superficie (ha/cultivo)	Riego total (hm3/cultivo)
Pimiento	100,00	4640,00	2417105,45	909,09	4,21
Tomate	100,00	6400,00	914363,63	909,09	5,81
Naranja	100,00	16100,67	1679950,33	909,09	14,63
Maní	100,00	8160,00	2374047,27	909,09	7,41
Cacao	100,00	19440,00	1478260,00	909,09	17,67
Plátano	100,00	20990,20	872929,98	909,09	19,08
Yuca	100,00	7680,00	1516838,18	909,09	6,98
Arroz	100,00	13820,40	1554462,40	909,09	12,56
Maíz	100,00	6480,00	1112649,09	909,09	5,89
Café	100,00	21120,00	531020,00	909,09	19,20
Pasto	100,00	20160,00	267140,00	909,09	18,32
			14718766,35	10000,00	131,81
			Total Margen Bruto (\$)	Total superficie (ha)	Total volumen (hm3)

# 5. Conclusiones

- ▶ Empleando el modelo de optimización se logró que en el escenario 1 se obtenga un margen-bruto de 38.320.354 US\$ empleando el máximo de superficie (10.000 ha) y la restricción de agua disponible (100 hm<sup>3</sup>). De esta manera se obtuvo una ratio de 0,38 US\$/m<sup>3</sup>.
- ▶ En el mismo escenario pero sin el uso del modelo se obtuvo un margen-bruto de 34.223.212 US\$ mediante la asignación de 131 hm<sup>3</sup>. Obteniendo así una ratio de 0,26 US\$/m<sup>3</sup>.
- ▶ En el escenario 2, empleando el modelo de optimización económica, se obtuvo un margen-bruto de 25.441.544 US\$, obteniendo una ratio de 0,25 US\$/m<sup>3</sup>.
- ▶ Bajo el mismo escenario, sin emplear el modelo de optimización se obtuvo un margen-bruto de 25.161.434 US\$ y una ratio de 0,19 US\$/m<sup>3</sup>.
- ▶ El escenario 3, al emplear el modelo de optimización, presentó un margen-bruto de 12.698.807 US\$ y una ratio de 0,12 US\$/m<sup>3</sup>.
- ▶ Sin emplear el modelo y bajo el escenario 3, se obtuvo un margen-bruto de 14.718.766 US\$ y una ratio de 0,11 US\$/m<sup>3</sup>.



GRAVITAS

