



Universidad de Concepción  
Facultad de Ingeniería Agrícola



# INTERNATIONAL WORKSHOP IN INNOVATION IN IRRIGATION

**TECNOLOGIA DE MANEJO DE AGUAS PARA UNA  
AGRICULTURA INTENSIVA SUSTENTABLE**

**Dr. Eduardo A Holzapfel y Dr. Octavio Lagos**

**FORTALEZA- BRASIL  
2010**



Universidad de Concepción  
Facultad de Ingeniería Agrícola

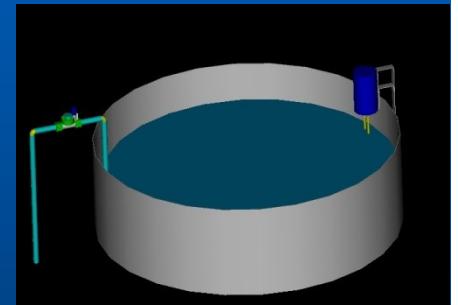
# ANTECEDENTES GENERALES

# SUSTENTABILIDAD DE LOS SISTEMAS DE RIEGO

# Consideraciones Generales

## Antecedentes relevantes en la Gestión Integral de Riego Sustentable

1. Demanda de agua
2. Disponibilidad de agua
3. Disponibilidad de tecnología
4. Disponibilidad de información apropiada



# Consideraciones Generales

**El mal uso del agua crea problemas de  
ineficiencia en**

**Energía**

**Mano de obra**

**Fertilización**

**Uso potencial del suelo**

**Uso del Agua**



# Consideraciones Generales

## Uso Actual del Recurso Hídrico en la Agricultura

Método de Riego	Rango de Eficiencia de Aplicación en Porcentaje
<b>SUPERFICIAL</b>	
Riego Tradicional o Tendido	10 – 30
Riego en Curvas de Nivel	30 – 60
Riego por Bordes	40 – 80
Riego por Surcos	40 – 85
<b>PRESURIZADO</b>	
Riego por Aspersión	50 – 90
Riego por Microjet	60 – 95
Riego por Goteo	65 – 95

# Consideraciones Generales

~~DESAFIOS DE LA~~  
~~MODERNIZACIÓN:~~

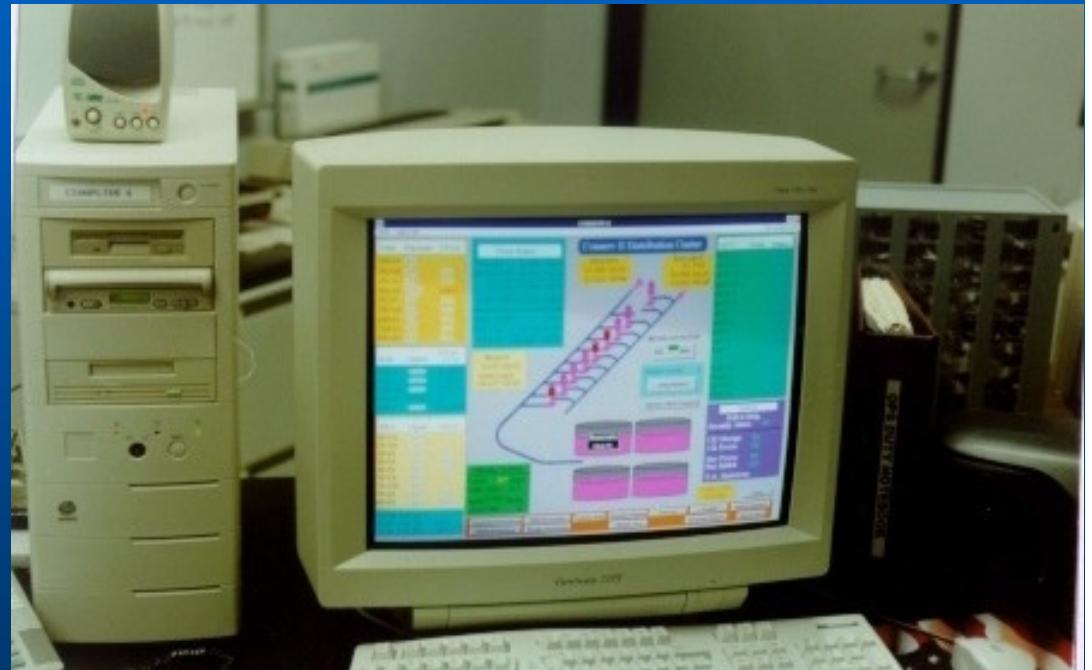
Mayor producción  
Sistemas de riego  
Mejor calidad de  
productos  
Modelos  
Competir por recurso  
hídrico con creciente  
Herramientas de  
soporte



# Consideraciones Generales

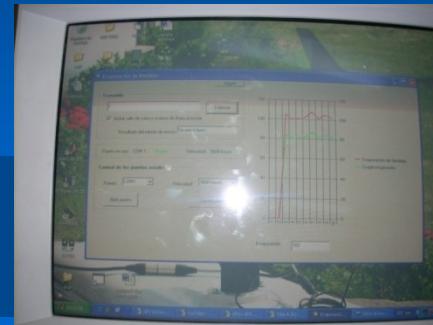
**Modelos de optimización y simulación.**

**Sistemas de soporte**

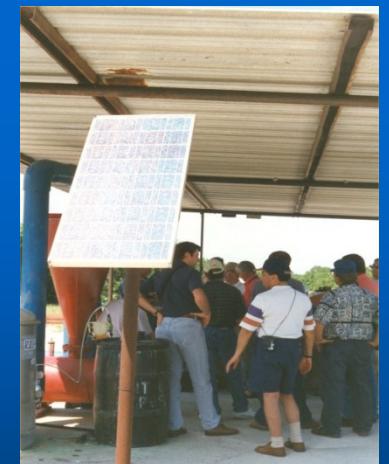


# Consideraciones Generales

**CRITERIOS DE RIEGO**



**DISEÑO DE SISTEMAS DE RIEGO**



**REGULACIÓN DE CAUDALES**



**SISTEMAS DE ADUCCIÓN**

**EQUIPOS DE CONTROL**

Universidad de Concepción  
Facultad de Ingeniería Agrícola

# Factores relevantes para la Gestión de Sistemas de Riego Sustentable

**PRODUCCION**

**USO DE AGUA**

**ENERGIA**

**CONTAMINACIÓN**

**SISTEMAS DE RIEGO**



Riego tendido tecnificado con regueras en contorno





Universidad de Concepción  
Facultad de Ingeniería Agrícola



# RELACIONES AGUA PRODUCCIÓN Y CALIDAD DEL PRODUCTO



Universidad de Concepción  
Facultad de Ingeniería Agrícola

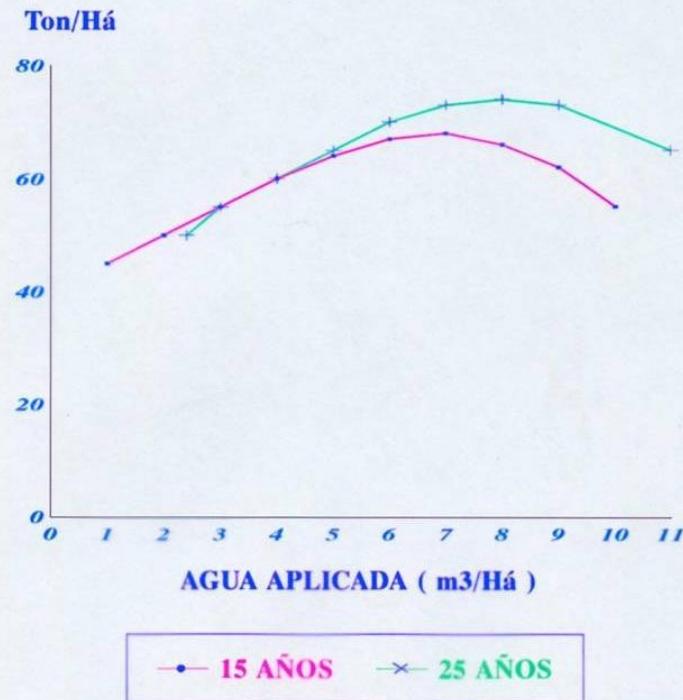
## Importancia de las Funciones de Producción

- Nivel de agua a aplicar
- Capacidad del sistema
- Efecto en la producción esperada
- Relación beneficio - costo



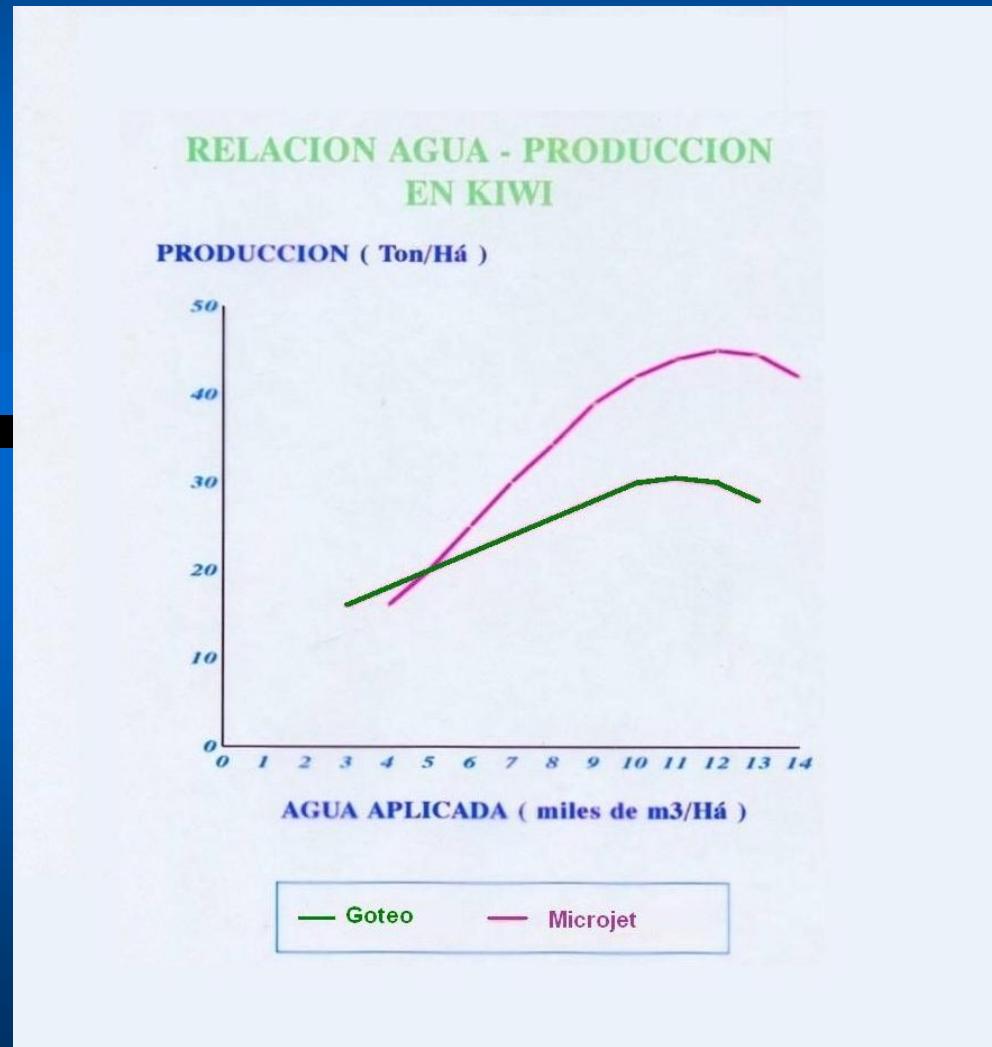
Universidad de Concepción  
Facultad de Ingeniería Agrícola

**RELACION AGUA - PRODUCCION  
EN CITRICOS**

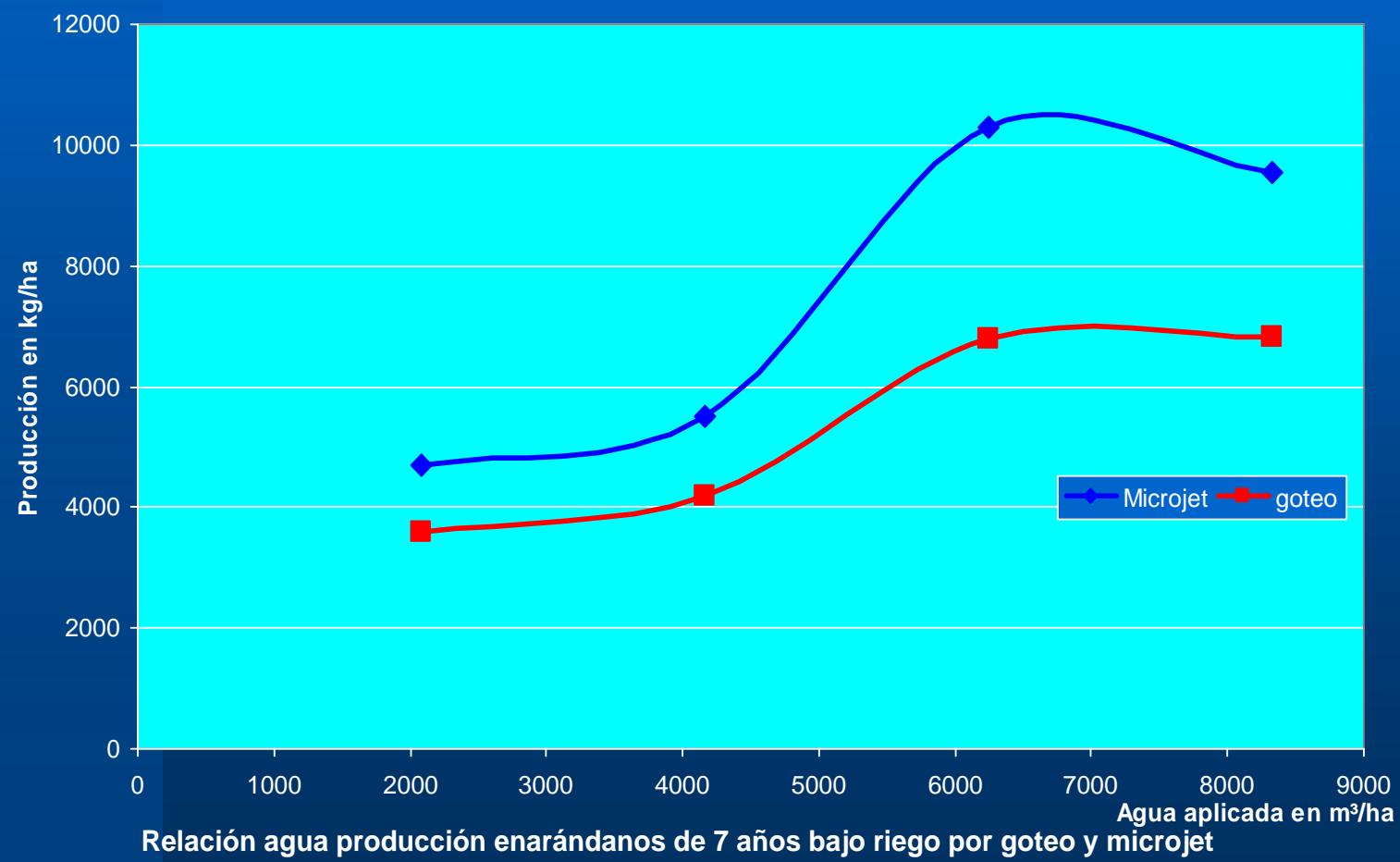




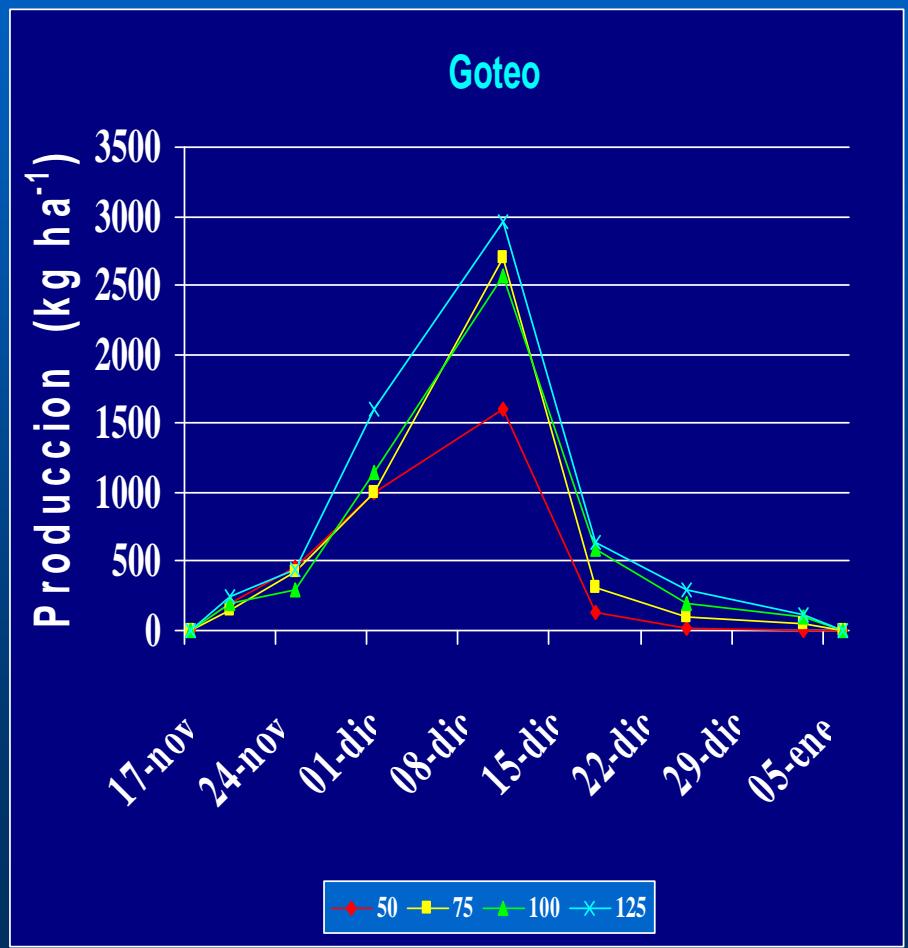
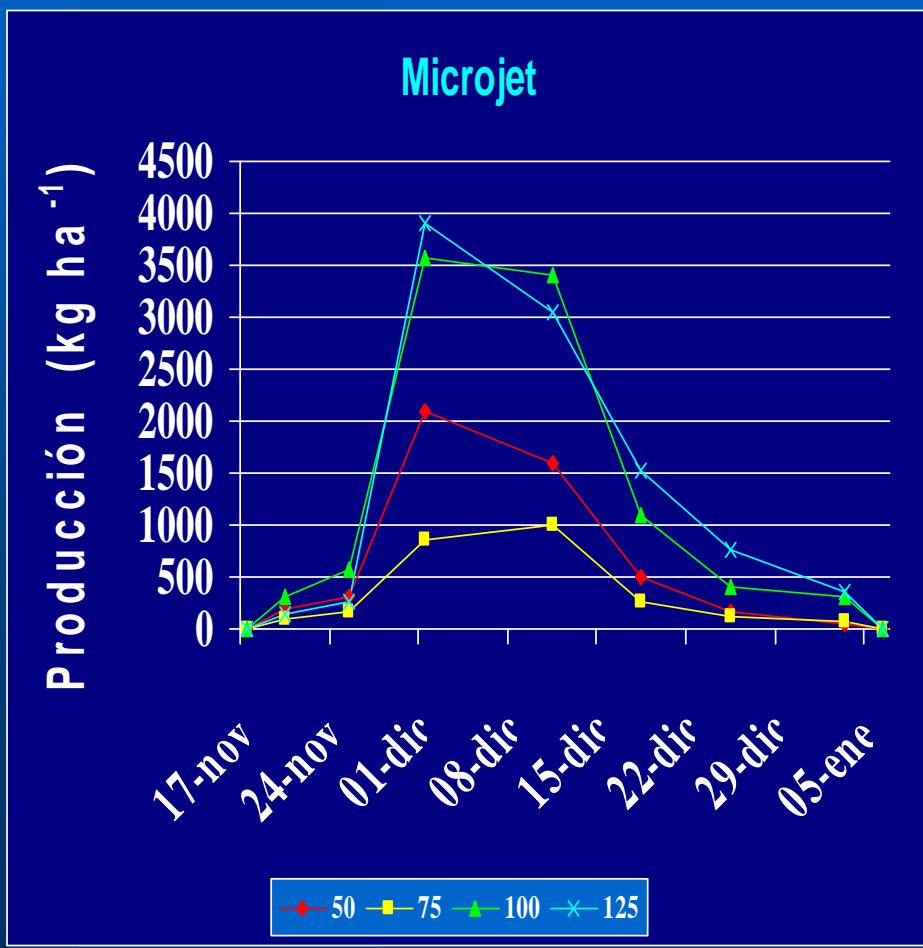
Universidad de Concepción  
Facultad de Ingeniería Agrícola



## RELACION AGUA-PRODUCCIÓN EN ARANDANOS



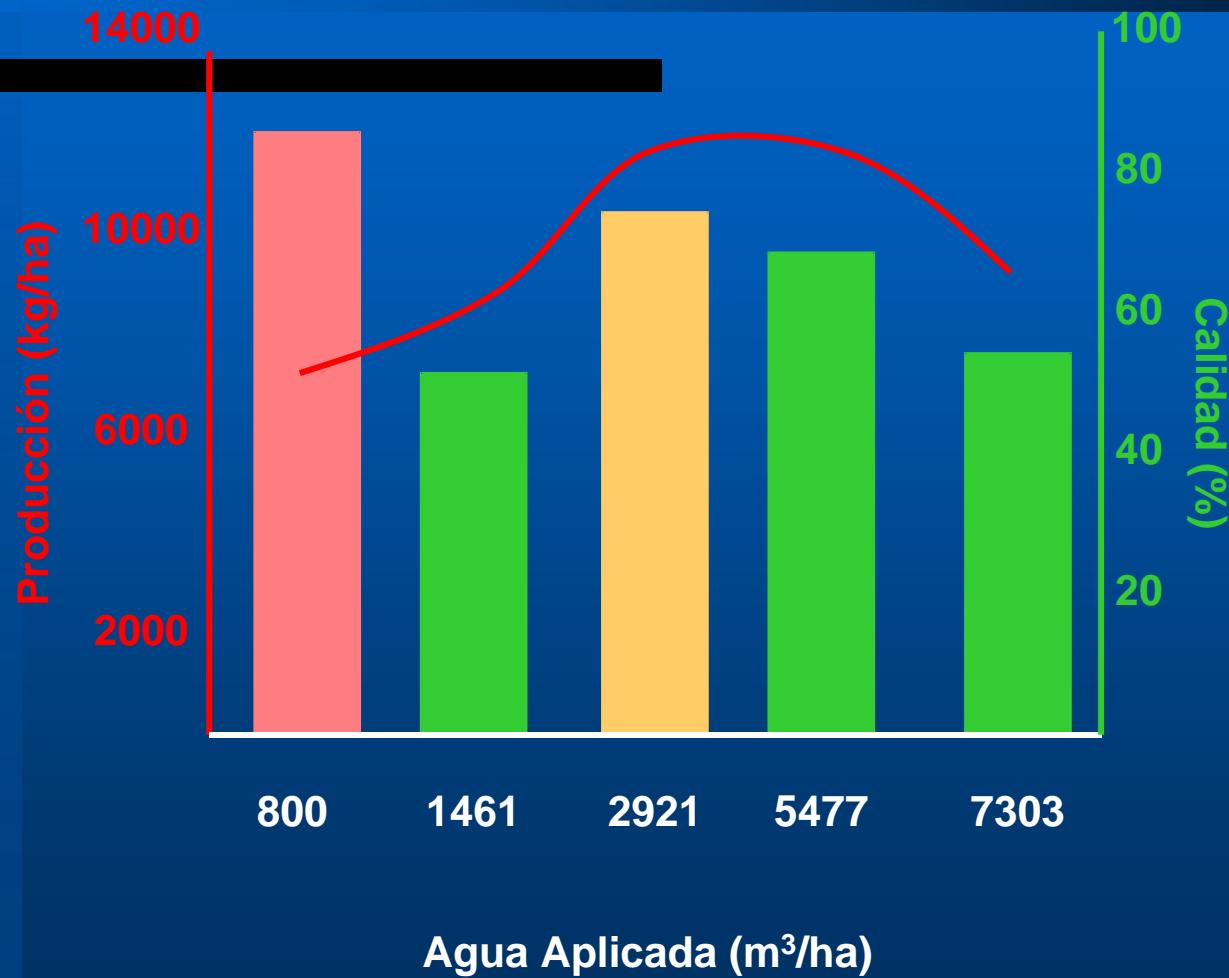
# Concentración de Producción



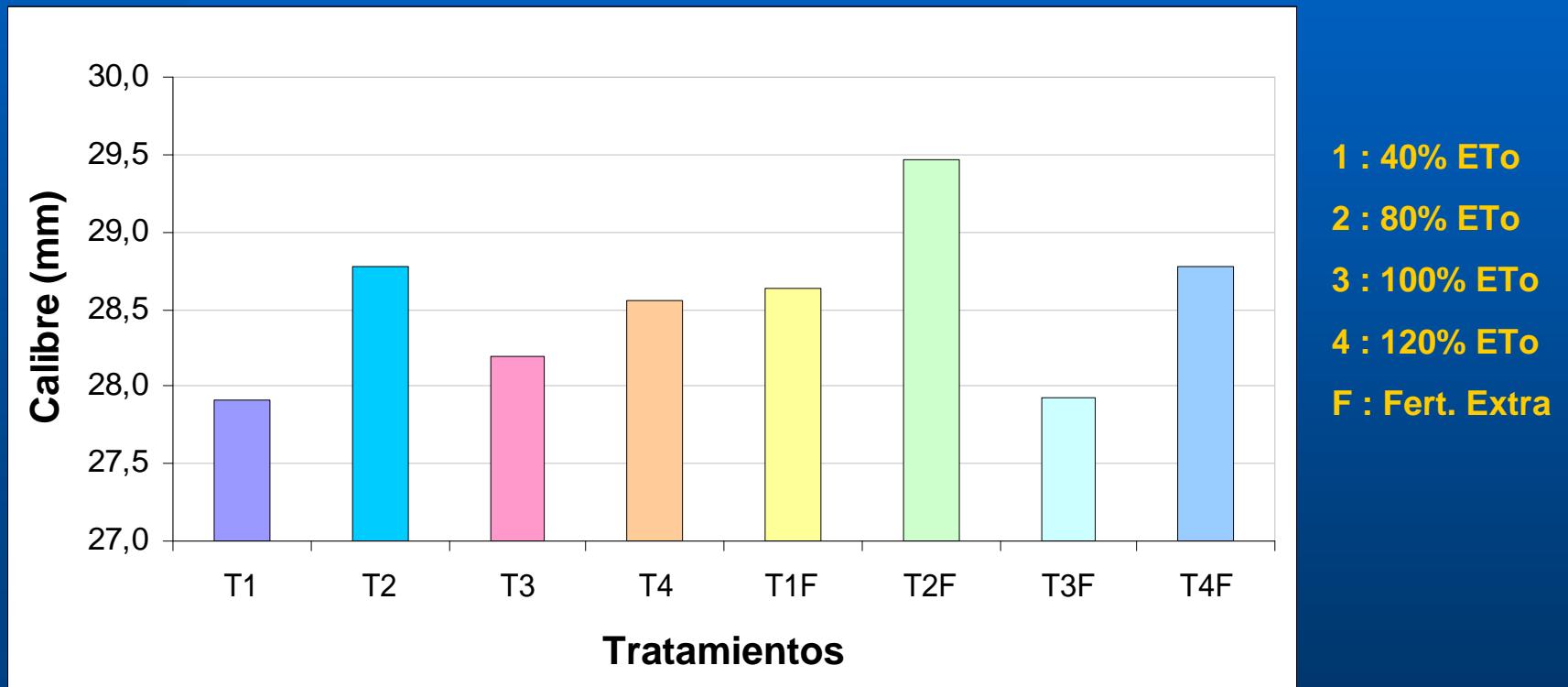


FACULTAD  
DE INGENIERIA AGRICOLA

# AGUA – PRODUCCIÓN CALIDAD EN VIDES VINIFERA



# CALIDAD DE BAYAS DE UVA DE MESA

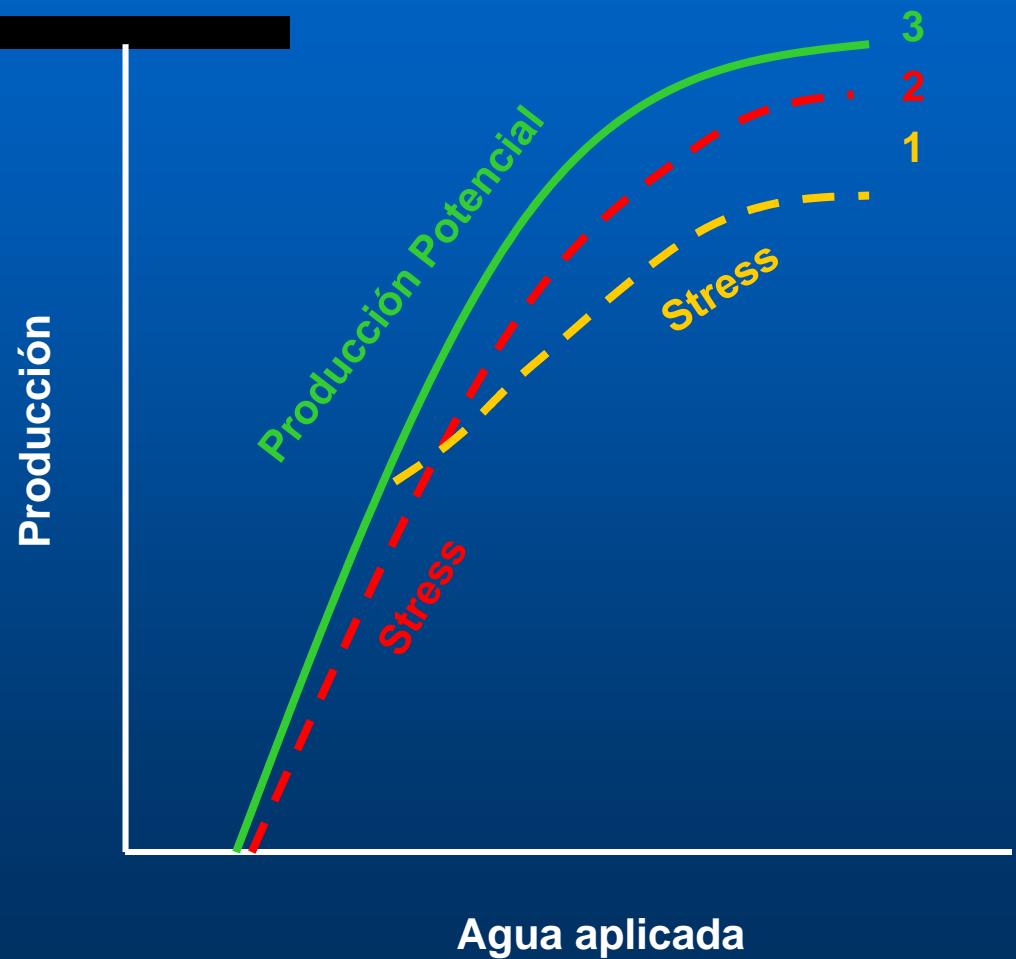




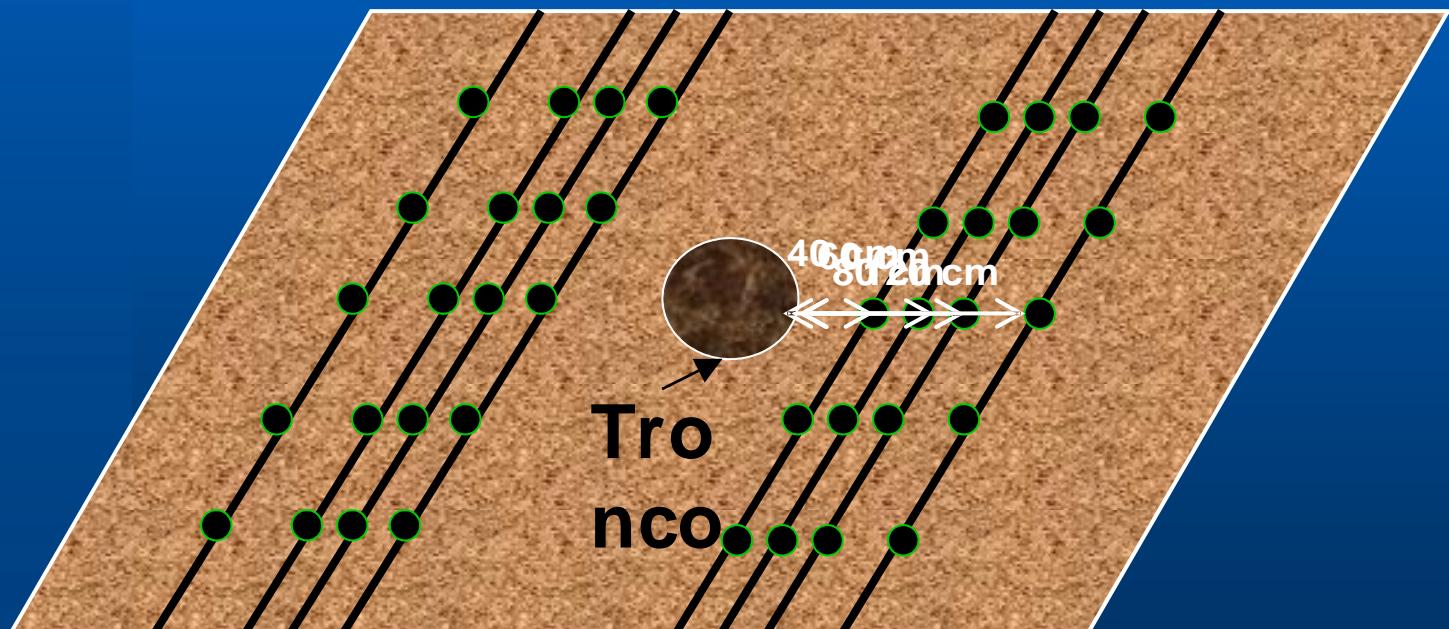
FACULTAD  
DE INGENIERIA AGRICOLA

Agua – Producción

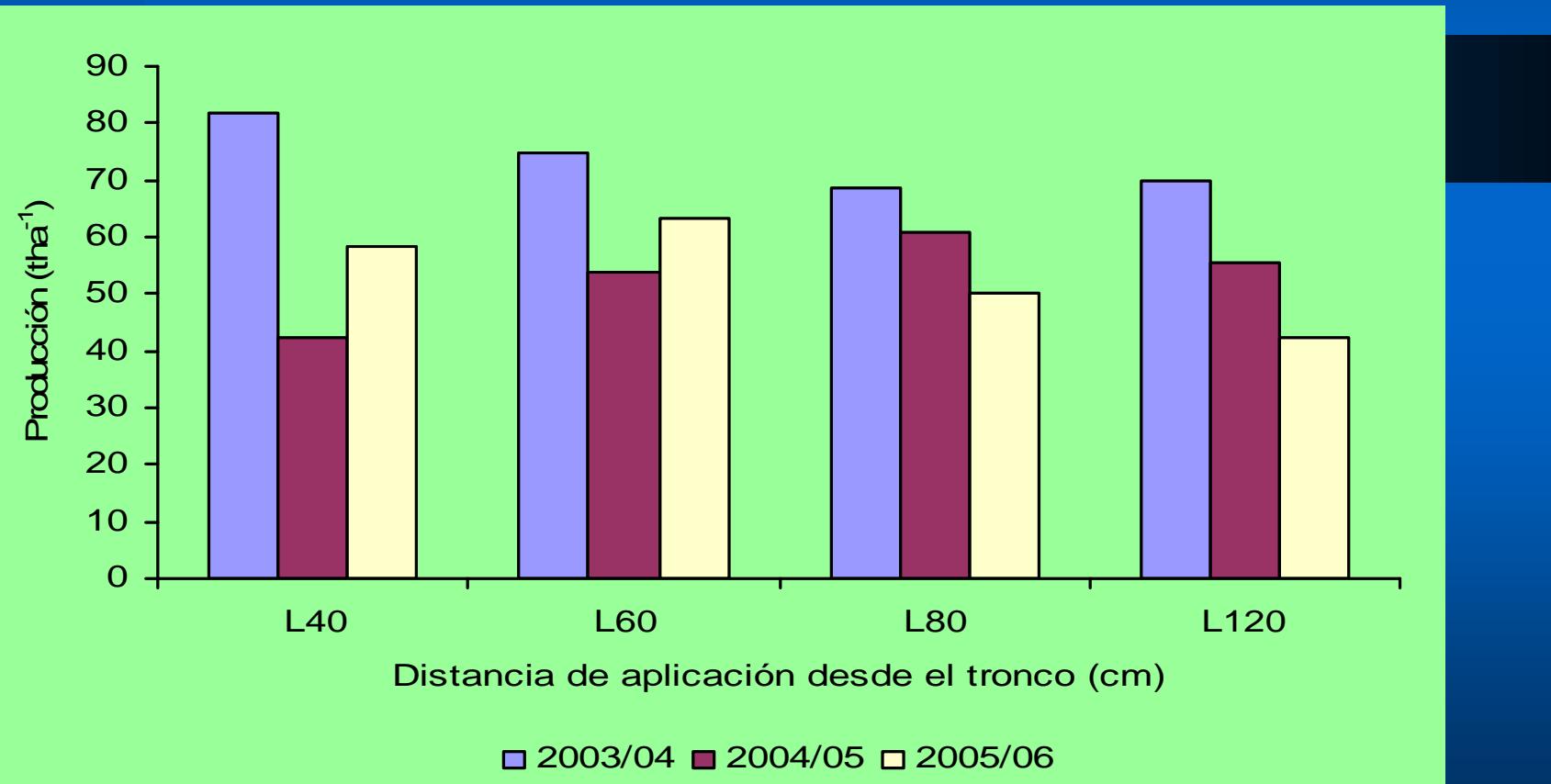
RIEGO DEFICITARIO  
CONTROLADO



## LOCALIZACIÓN DE APLICACIÓN DE AGUA CON FERTILIZANTE

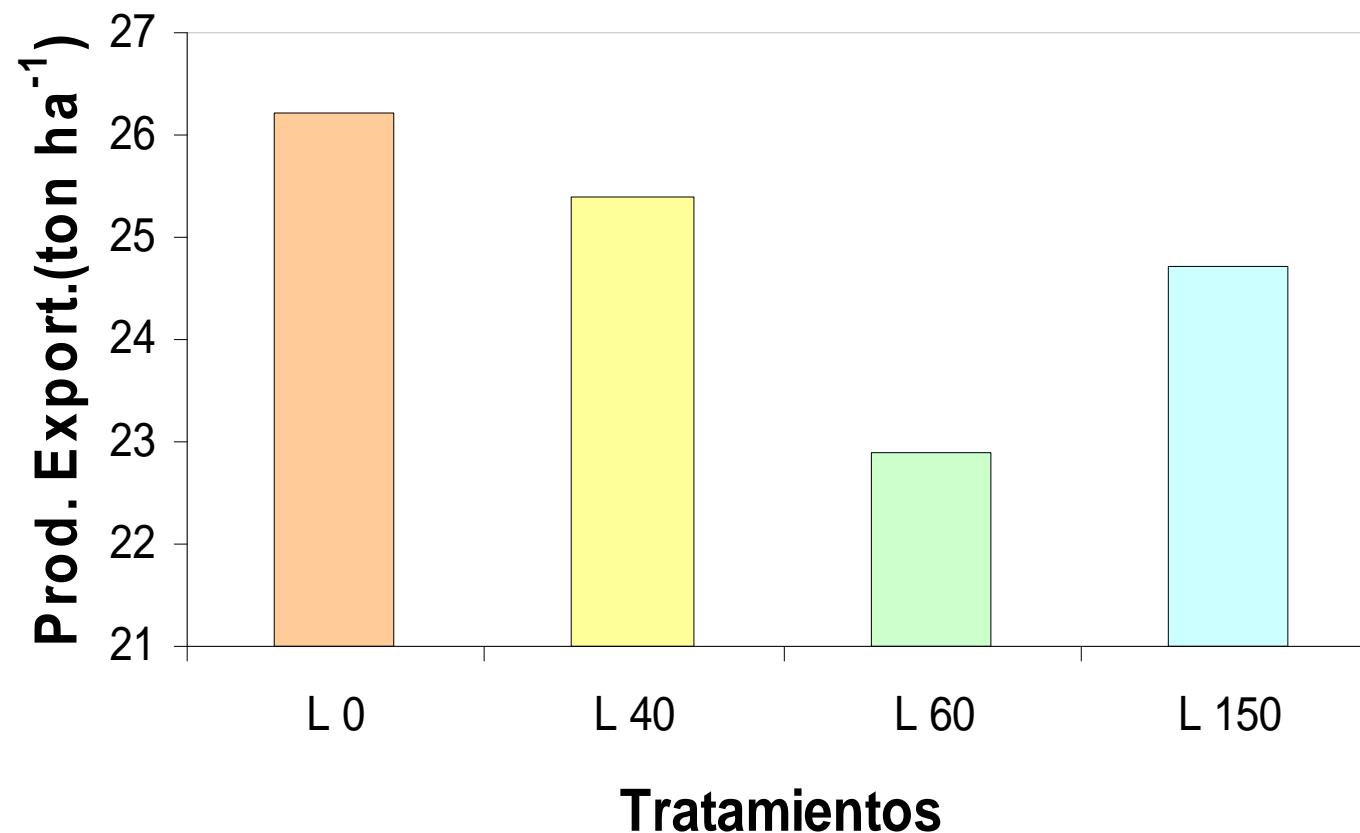


# DISTANCIA APLICACIÓN AGUA Y PRODUCCIÓN EN CITRICOS



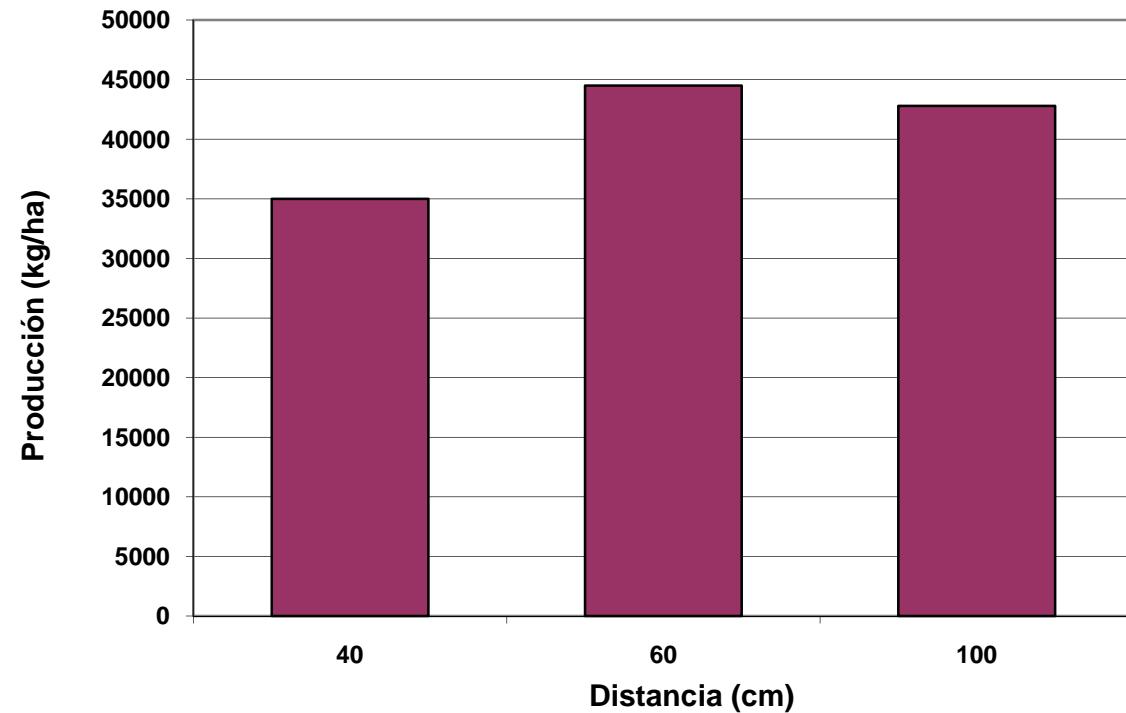


# DISTANCIA DE APLICACION Y PRODUCCION EN PARRONALES

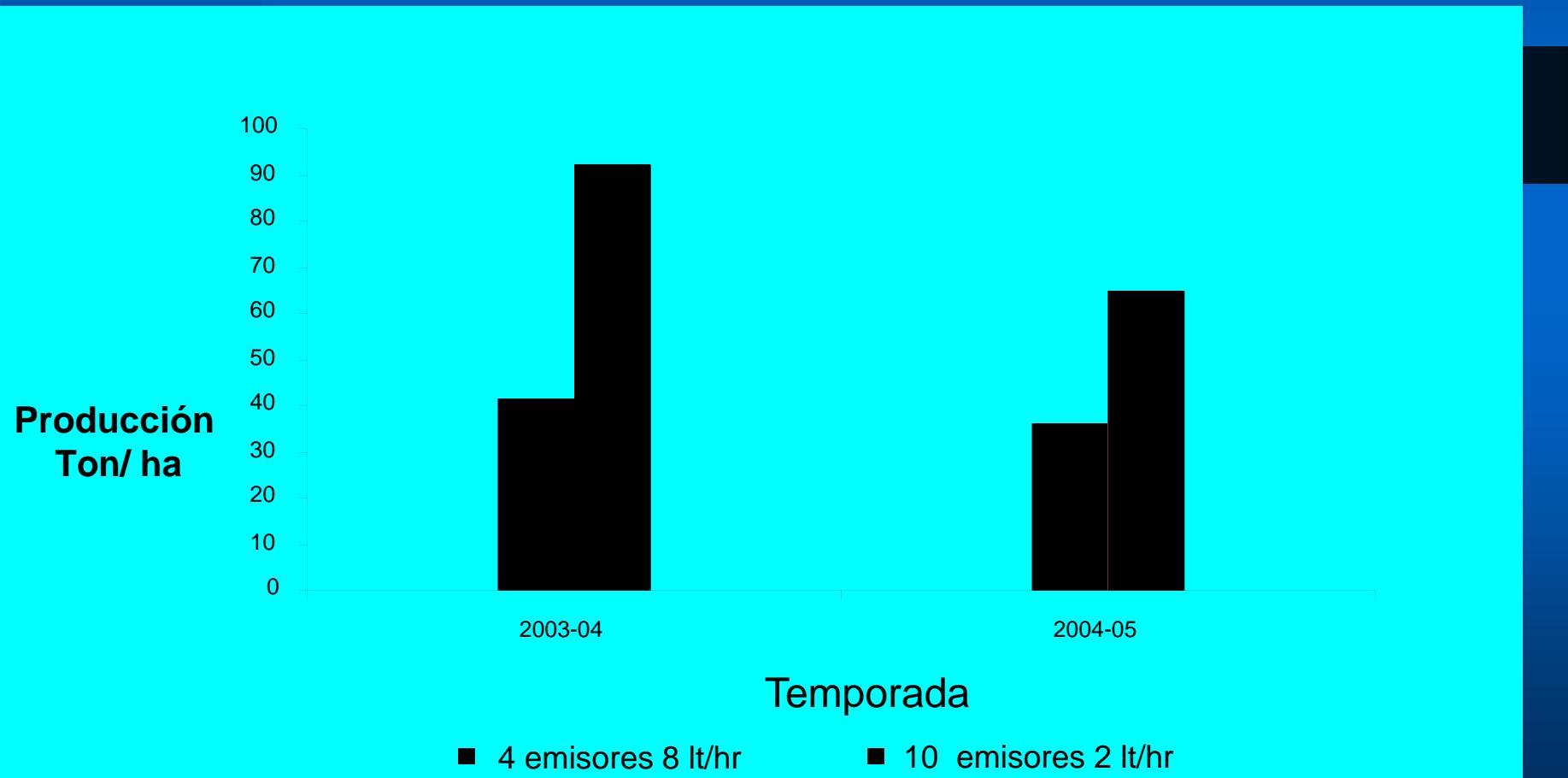




# DISTANCIA DE APLICACIÓN Y PRODUCCIÓN EN PALTOS



## Producción en cítricos versus número de gotero Suelo delgado en ladera



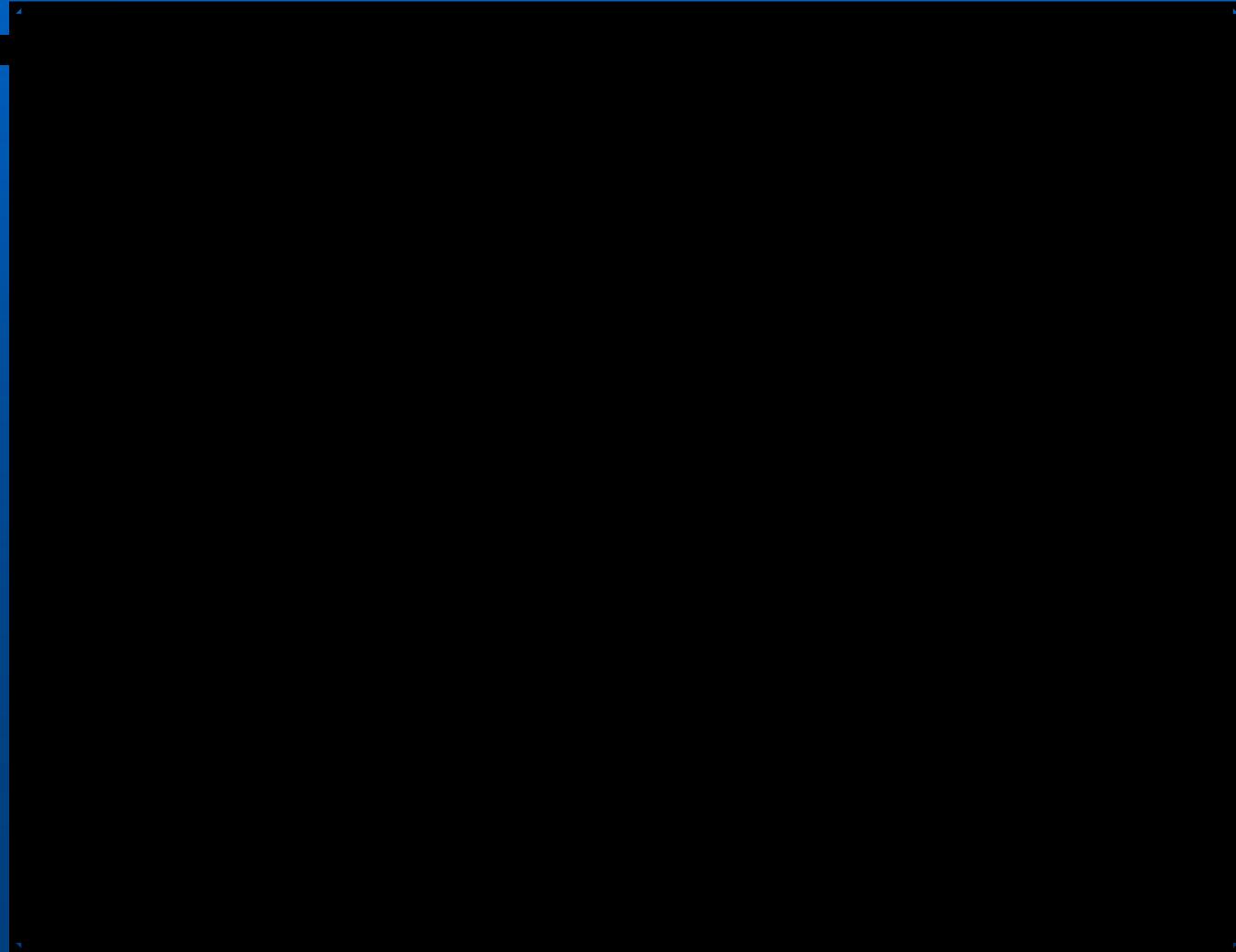


Universidad de Concepción  
Facultad de Ingeniería Agrícola



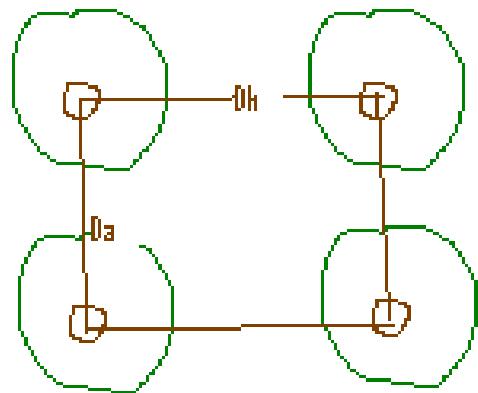
# DEMANDA DE AGUA EN FRUTALES

# Transpiración y Evaporación



## REQUERIMIENTOS HÍDRICOS

### VOLUMEN DE AGUA POR ARBOL O PLANTA



$$P = \frac{AS}{A_r} * 100$$

$$ET_a = Eb * Kb * (F1 * P + F2)$$

	<b>Coeficiente Bandeja (Kb)</b>	<b>Factor F1</b>	<b>Factor F2</b>
<b>Arándanos</b>	<b>0.8</b>	<b>0.0128</b>	<b>0.1125</b>
<b>Cítricos</b>	<b>0.8</b>	<b>0.0077</b>	<b>0.1125</b>
<b>Paltos</b>	<b>0.8</b>	<b>0.0130</b>	<b>0.1125</b>
<b>Parronales</b>	<b>0.8</b>	<b>0.0141</b>	<b>0.1125</b>
<b>Vid (hasta pinta)</b>	<b>0.8</b>	<b>0.0102</b>	<b>0.1125</b>
<b>Vid (después pinta)</b>	<b>0.8</b>	<b>0.0060</b>	<b>0.1125</b>

**Universidad de Concepción**  
**Facultad de Ingeniería Agrícola**

# Bandeja Evaporación



**Universidad de Concepción**  
**Facultad de Ingeniería Agrícola**



$$ET_a = ETp * (F1 * P + F2)$$



Net  
Radiation

Solar  
Radiation

Wind

LAI

Air  
Temperature

Relative  
Humidity

Crop  
Height

Residue  
Amount

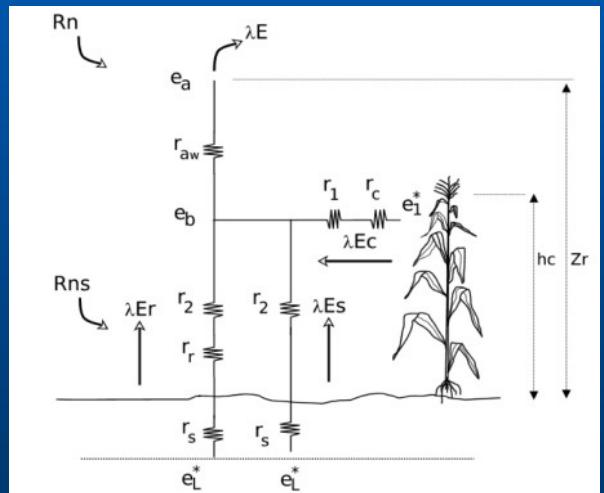
# MODELOS



SWC



Soil  
Temperature



# Medición

- 1. Eddy Covariance**
- 2. Bowen Ratio Energy Balance Systems**
- 3. Surface Renewal**
- 4. Lysimeters**

# Modelos de Sensores Remotos

- **SEBAL** (Bastianssen,1998).
- **METRIC** (Allen et al,2007)
- **ALEXI** (Norman,1995)
- **DisALEXI**, Norman (2000).





# ET Espacialmente Distribuida

**0 – 2.0**  
**2.0 – 3.5**  
**3.5 – 5**  
**5 – 6.5**  
**6.5 -**



Universidad de Concepción  
Facultad de Ingeniería Agrícola



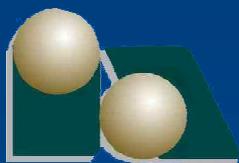
# DISTRIBUCIÓN RADICULAR BAJO DIFERENTES ZONAS DE APLICACION



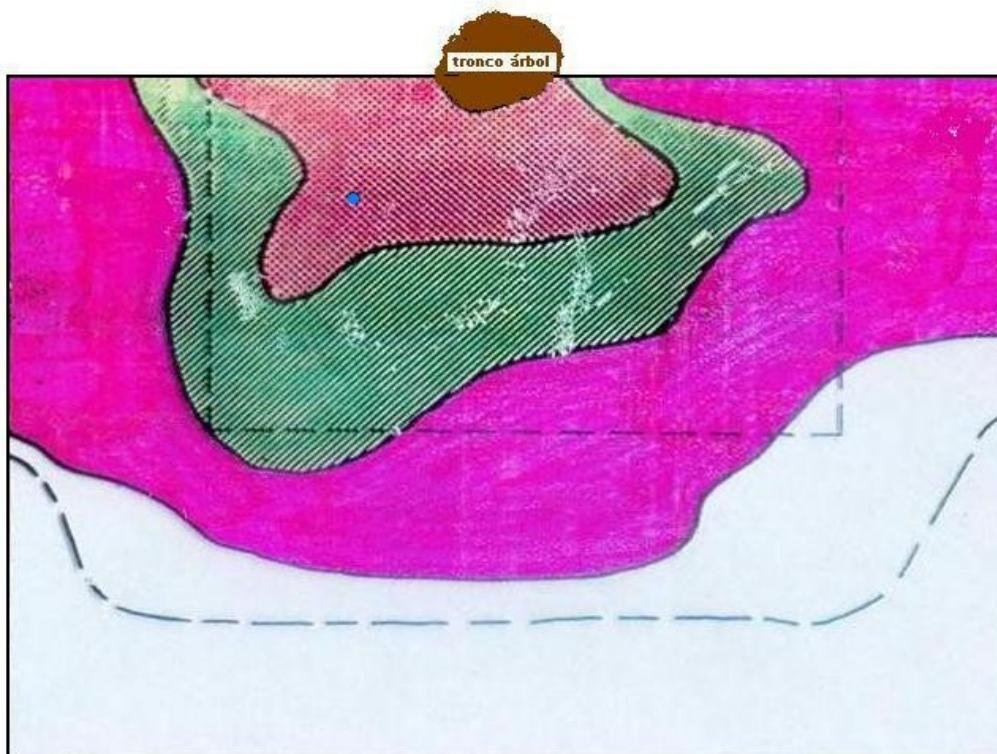
Universidad de Concepción  
Facultad de Ingeniería Agrícola

**Conocer la distribución radicular es importante para:**

**Conocer donde aplicar el agua  
Evitar perdida de nutrientes  
Mayor eficiencia de riego**



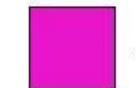
Universidad de Concepción  
Facultad de Ingeniería Agrícola



Concentración de raíces  
en gramos por 120 cm  
de profundidad.



< 4



4 - 8



8 - 12



> 12

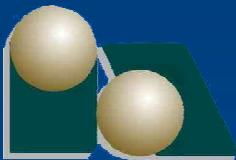
● Localización  
fuente de agua



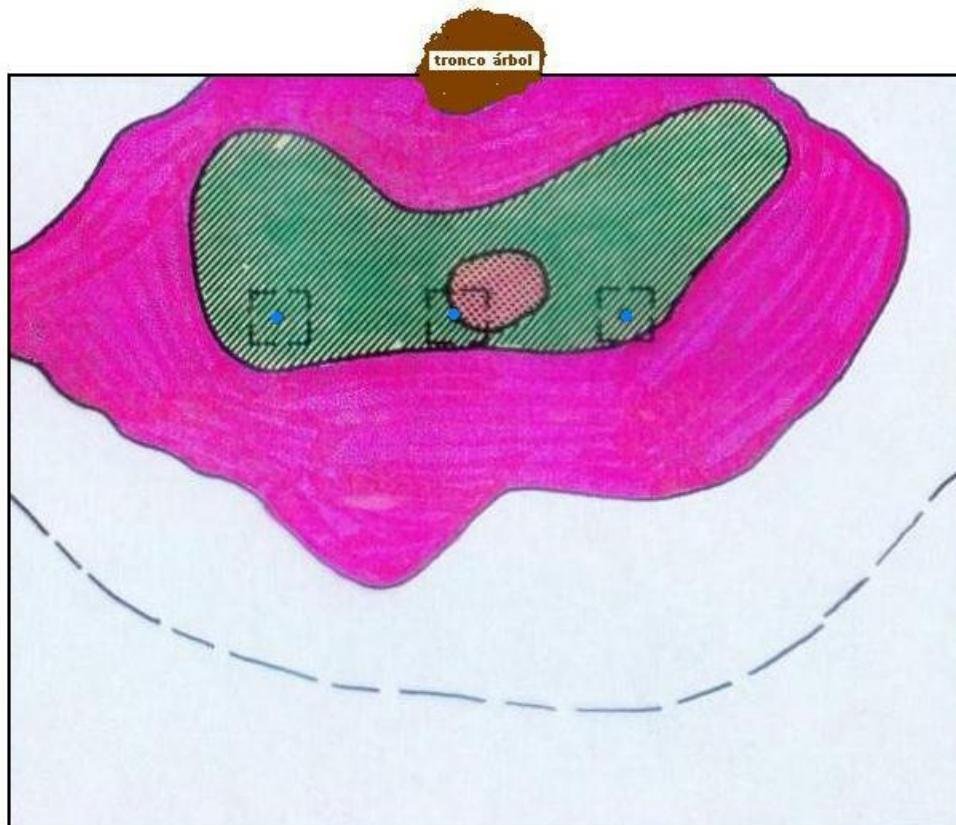
Area humedecida



Borde parte aérea

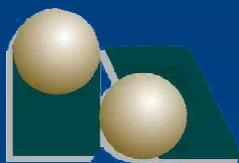


Universidad de Concepción  
Facultad de Ingeniería Agrícola

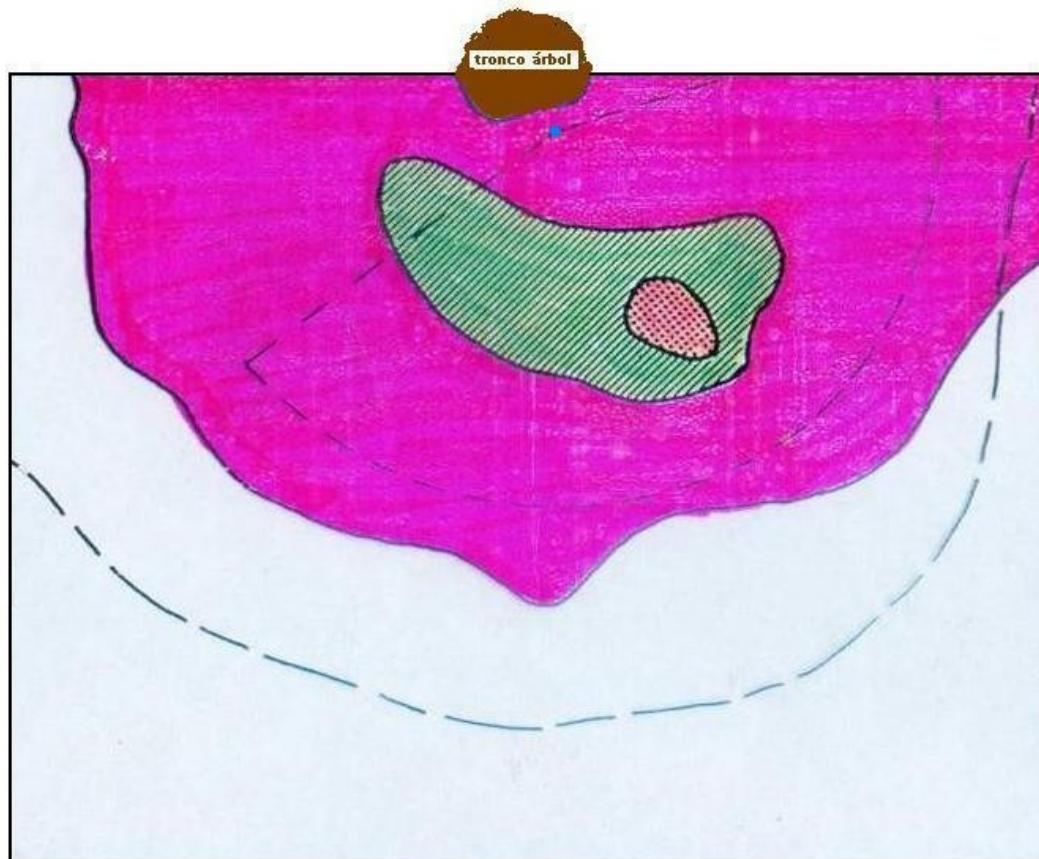


Concentración de raíces  
en gramos por 120 cm  
de profundidad.





Universidad de Concepción  
Facultad de Ingeniería Agrícola



Concentración de raíces  
en gramos por 120 cm  
de profundidad.



< 4



4 - 8



8 - 12



> 12

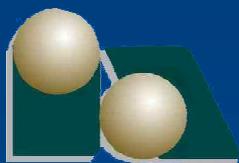
Localización  
fuente de agua



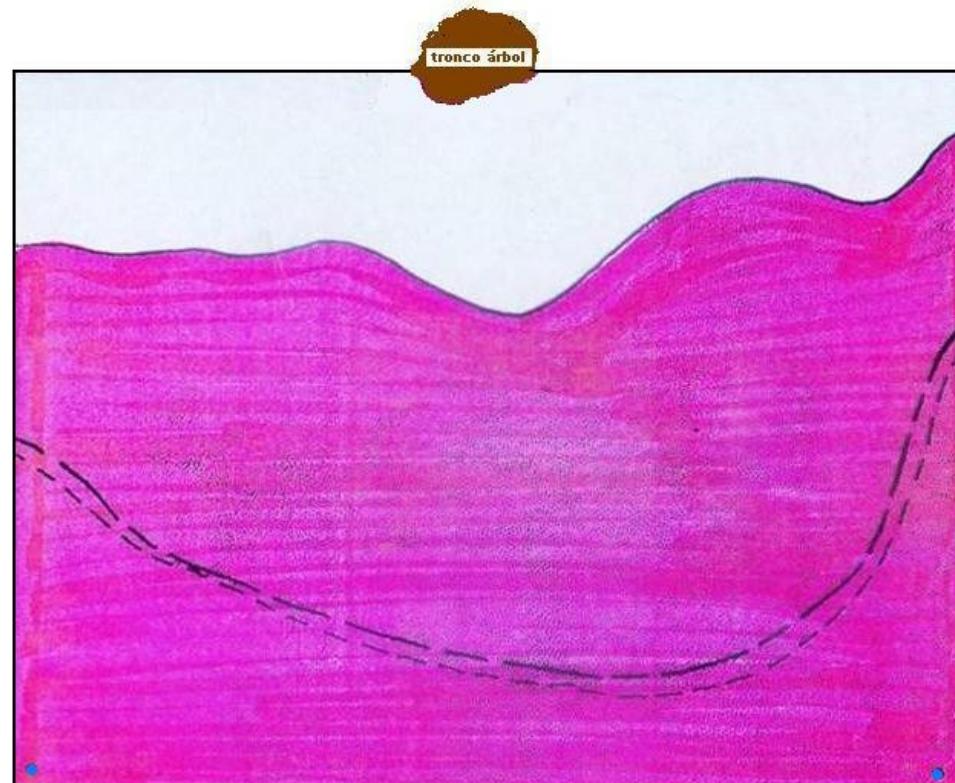
Área humedecida



Borde parte aérea



Universidad de Concepción  
Facultad de Ingeniería Agrícola



Concentración de raíces  
en gramos por 120 cm  
de profundidad.

- < 4
  - 4 - 8
  - 8 - 12
  - > 12
- Localización fuente de agua
- (dashed circle) Área humedecida
- (wavy line) Borde parte aérea

**Universidad de Concepción**  
**Facultad de Ingeniería Agrícola**

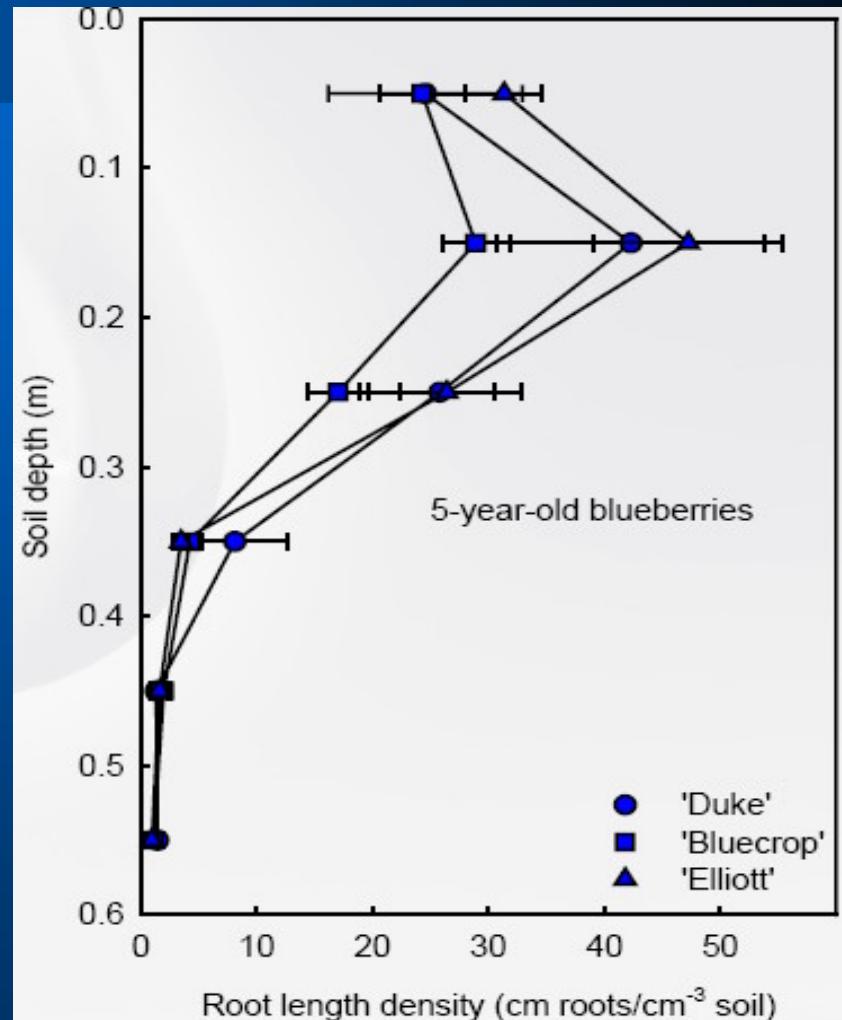
# **DISTRIBUCION RADICULAR**



Universidad de Concepción  
Facultad de Ingeniería Agrícola



Blueberry is a shallow-rooted crop compared to many perennial fruit crops.





# Distribución radicular en Arándanos

Universidad de Concepción  
Facultad de Ingeniería Agrícola





Universidad de Concepción  
Facultad de Ingeniería Agrícola



# MODELOS DE CALIDAD DEL RIEGO

## Eficiencia de aplicación

## Eficiencia de requerimiento

$$ER = \frac{\text{Volumen de agua almacenado en zona radicular}}{\text{Volumen de agua requerido}} \cdot 100$$

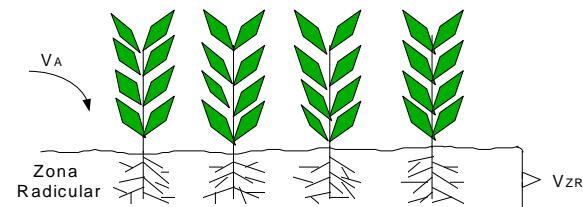


Figura 3. Esquema explicativo de Eficiencia de Aplicación:  $V_{ZR}$  = volumen almacenado en la zona redicular;  $V_A$  = volumen aplicado.  
(Holzapfel, 1984)

# Eficiencia de distribución total

$$E D T = \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - X_r|}{n \cdot X_r} \right] \cdot 100$$

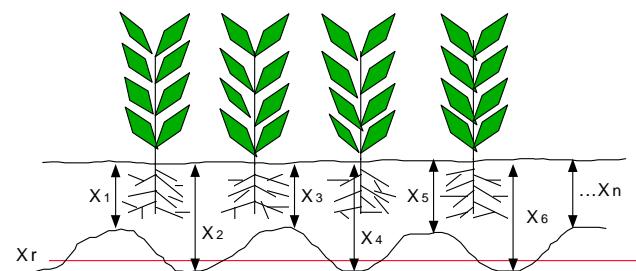
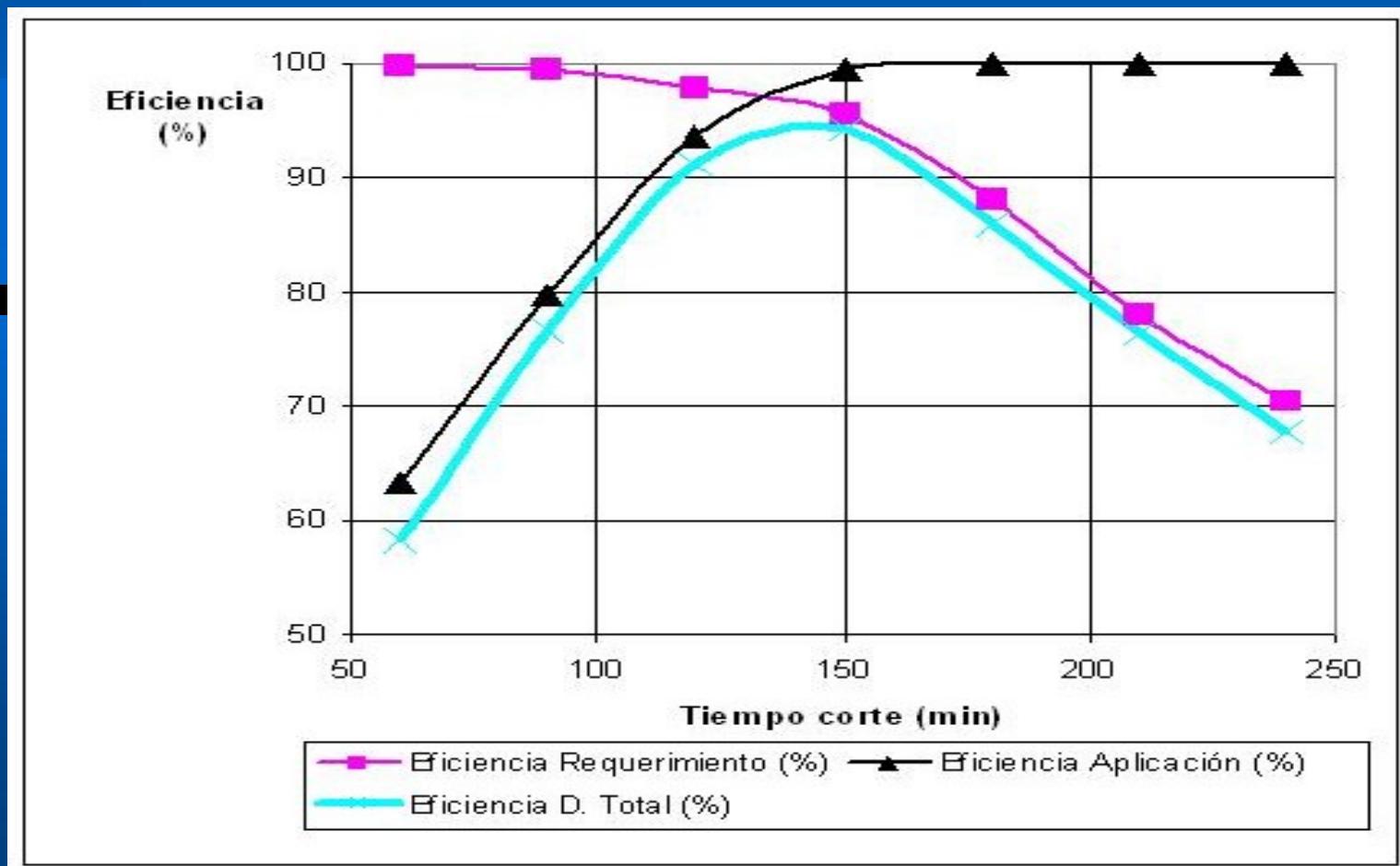
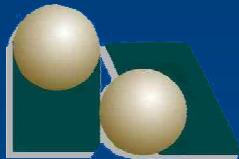


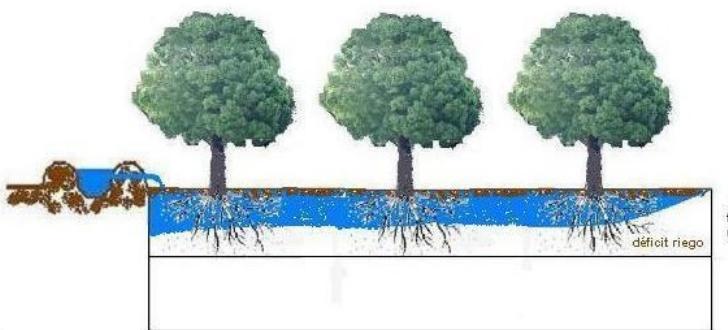
Figura 6. Esquema explicativo de la Eficiencia de Distribución Total ;  $X_r$  = prof. de agua requerida ;  $X_i$  = prof. de agua observada en cada pto. i.  
(Holzapfel, 1984)

# **COMPORTAMIENTO PARAMETROS CALIDAD DE RIEGO**

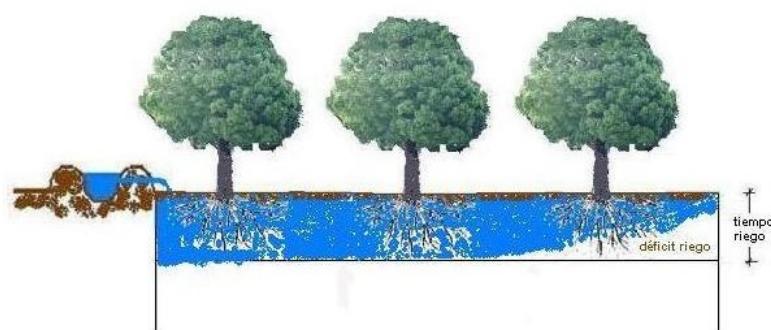




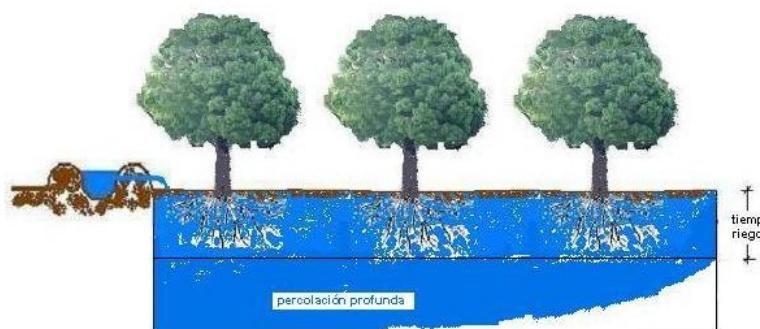
## ANALISIS EFICIENCIA RIEGO SUPERFICIAL



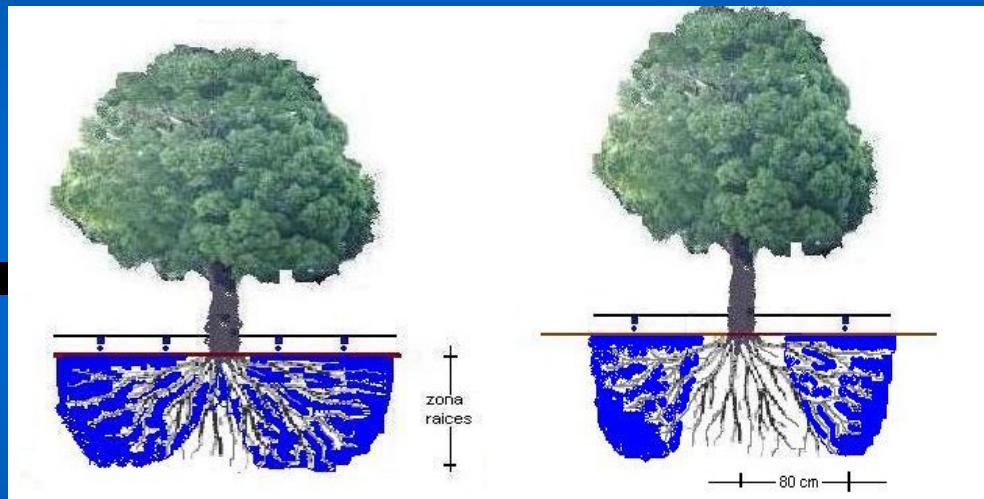
a. El agua se corta apenas llega al final del surco.



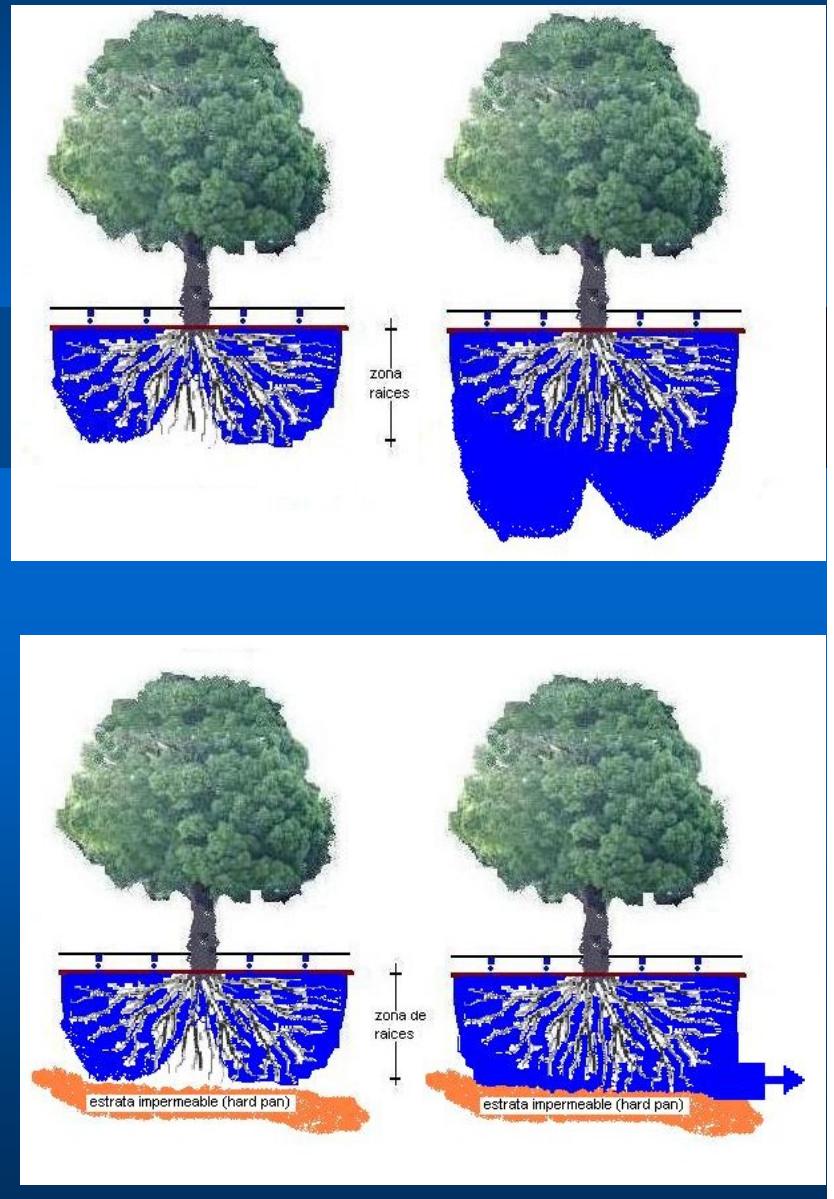
b. El agua se corta completando el tiempo de riego en la cabecera del surco.



c. Se completa el tiempo de riego en toda la extensión del surco



## ANALISIS DE EFICIENCIA RIEGO Y APLICACIÓN DE AGUA EN MICRORIEGO





Universidad de Concepción  
Facultad de Ingeniería Agrícola



# DISEÑO DE RIEGO SUPERFICIAL

# Diseño y Manejo en Riego Superficial

**Caudal**

**Llongitud del surco o borde**

**Tiempo de corte del riego**

**Distancia entre surcos o ancho del borde**

**Area mínima a regar**



# **Manejo de Sistemas de Riego Superficial**

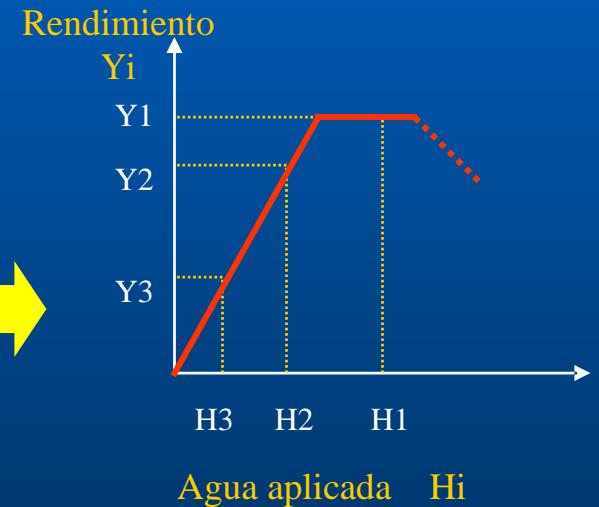
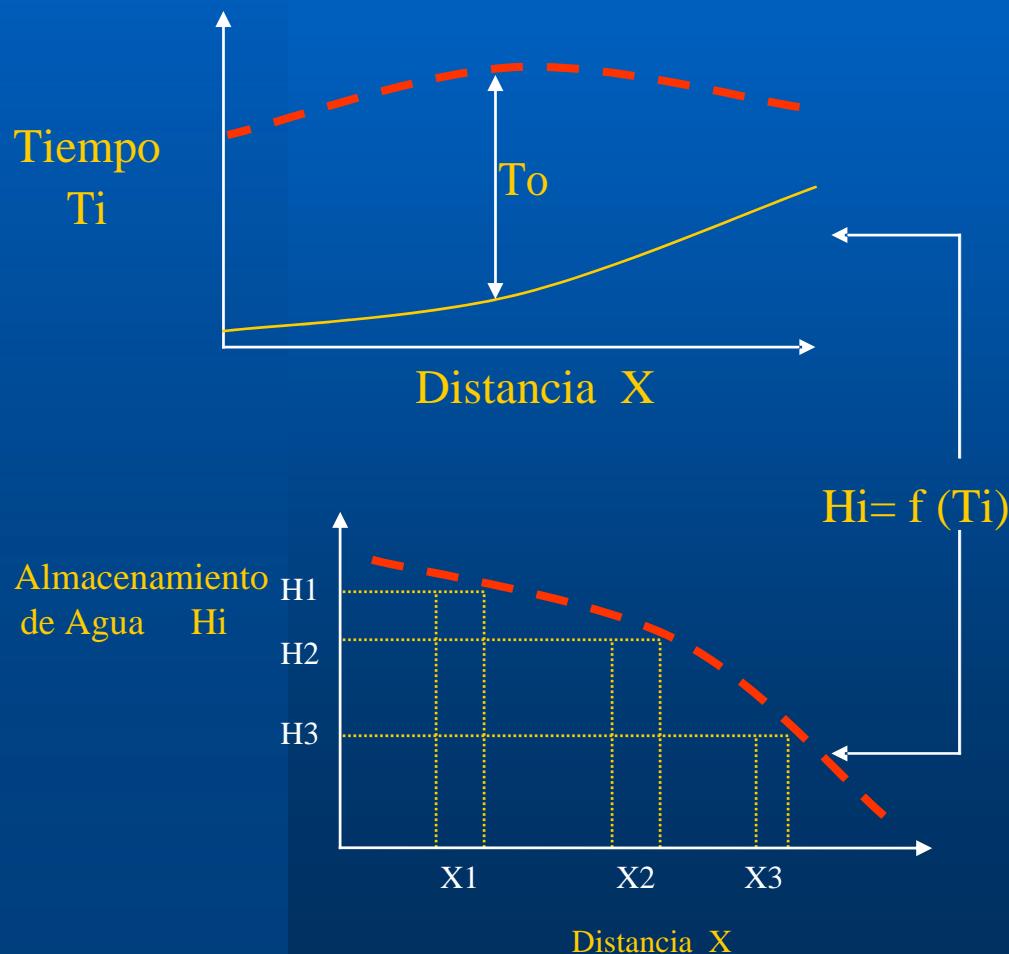
## **Parámetros Básicos**



- Red de Distribución
- Cultivo
- Tipo de suelo
- Topografía
- Disponibilidad y calidad del agua

# Diseño Optimo de Sistemas de Riego Superficiales

## Modelo de simulación Superficial



## RIEGO POR SURCOS



# RIEGO POR SURCOS NARANJOS

Universidad de Concepción  
Facultad de Ingeniería Agrícola





FACULTAD  
DE INGENIERIA AGRICOLA

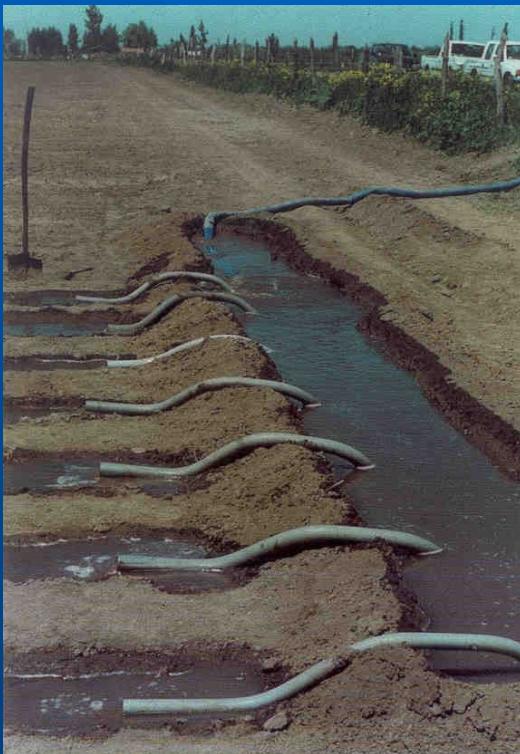
Universidad de Concepción  
Facultad de Ingeniería Agrícola

## AUTOMATIZACION RIEGO SUPERFICIAL

---

## SISTEMAS DE ADUCCIÓN

# Sistemas de Aducción



**Sifones**

**Tubería Móvil**





# Mangas Plásticas



# Sistemas de Aducción

## Baja Presión





Universidad de Concepción  
Facultad de Ingeniería Agrícola



# DISEÑO DE MICRORIEGO



Universidad de Concepción  
Facultad de Ingeniería Agrícola

# DISEÑO ÓPTIMO

**SELECCIÓN OPTIMA EMISORES**

**SELECCIÓN OPTIMA TUBERIAS**

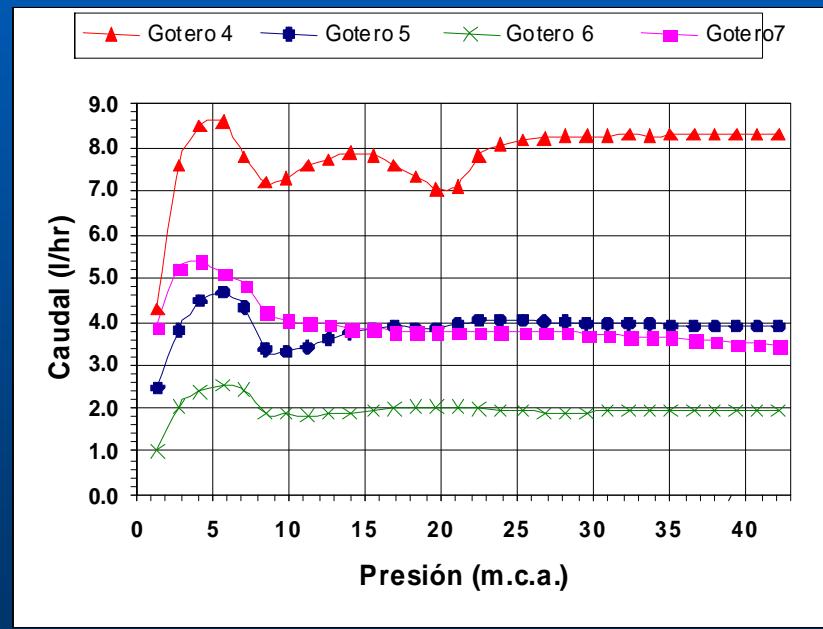
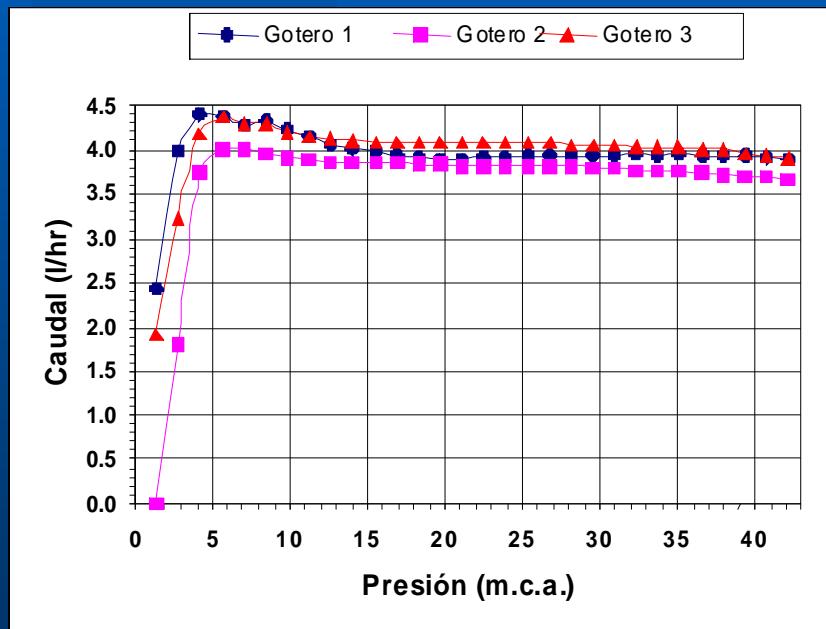
**DISEÑO ÓPTIMO DE SUB-UNIDADES**



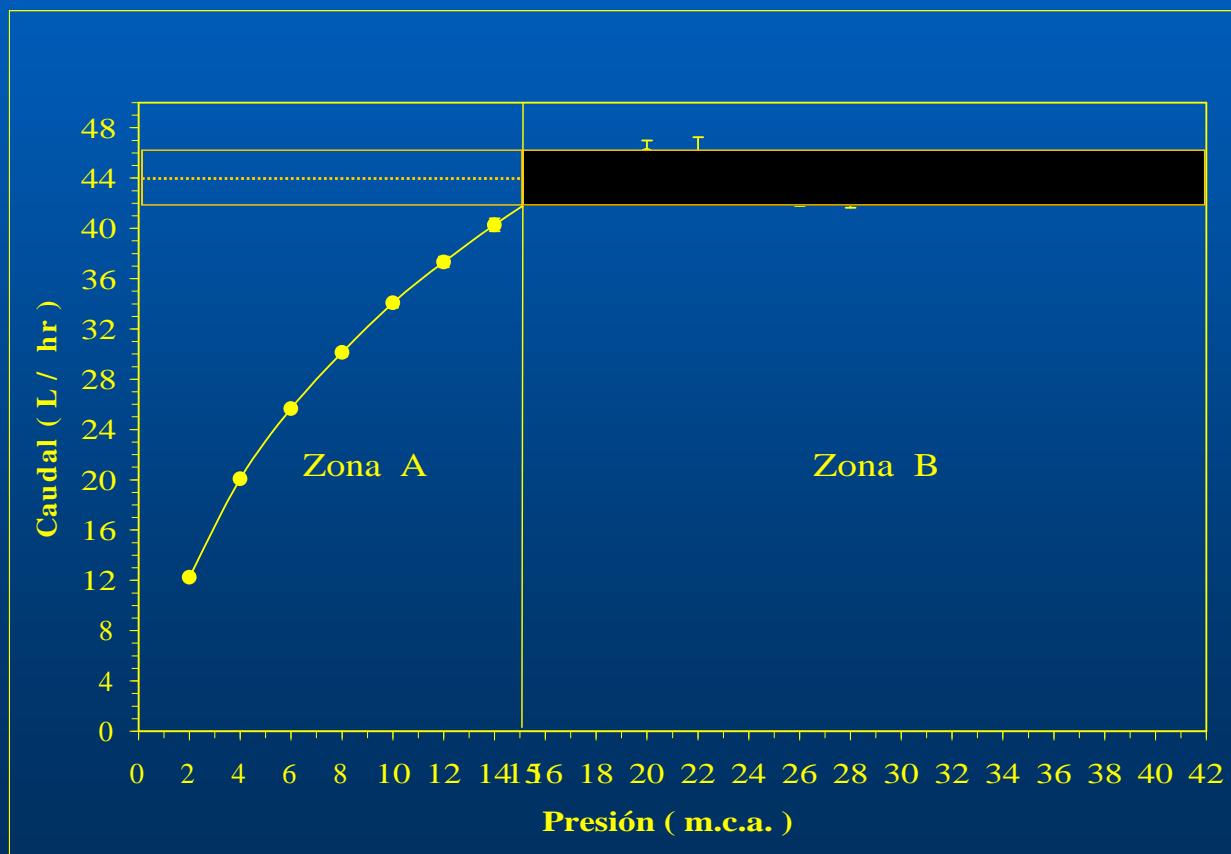
Universidad de Concepción  
Facultad de Ingeniería Agrícola

# Selección de emisores

# GOTEROS AUTOCOMPENSADOS

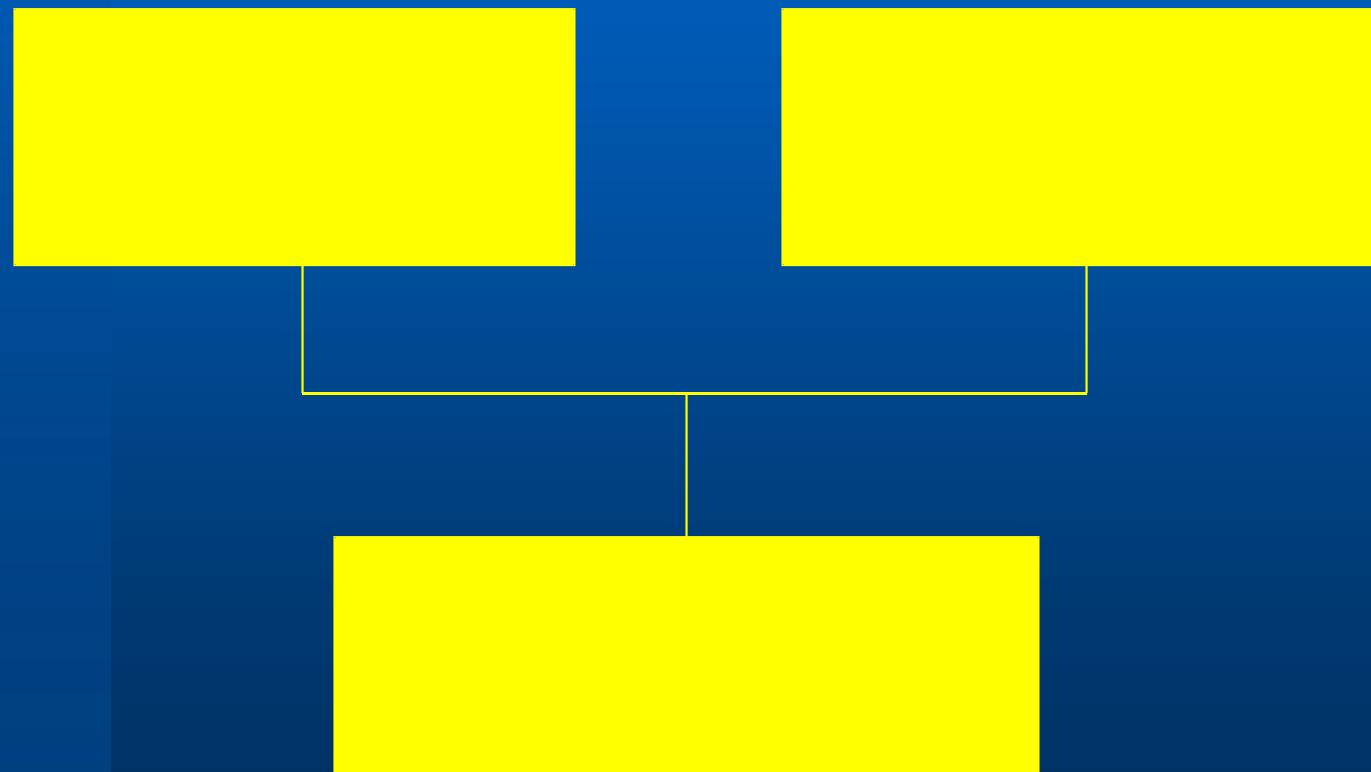


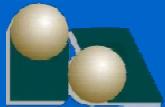
# Microaspersor autocompensado





# METODOLOGIA DE SELECCION DE EMISORES





# Selección óptima de tuberías

**Costos de Implementación**

**Costos de Operación**

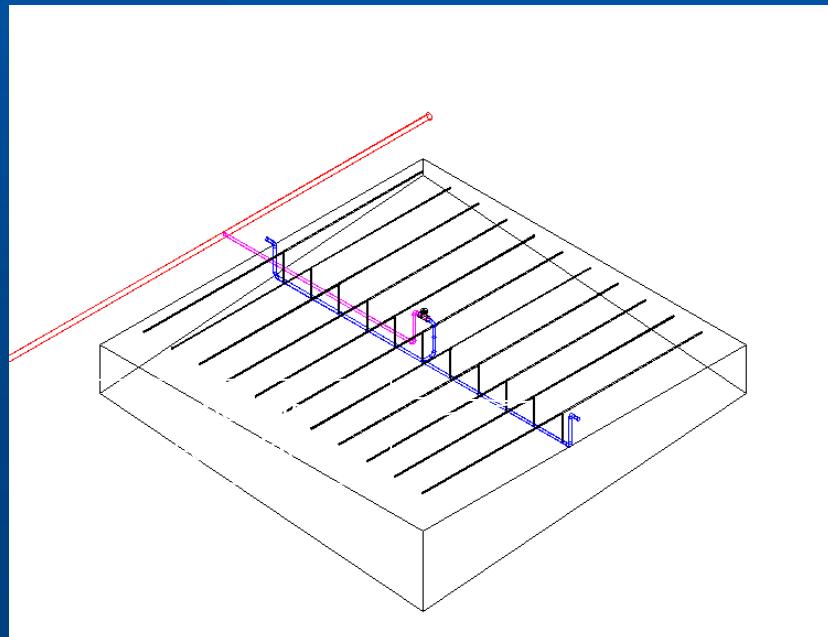
costos de energía

**Costo total**



# DISEÑO ÓPTIMO SUB-UNIDAD

## Sub-unidad



Textura  
SIG

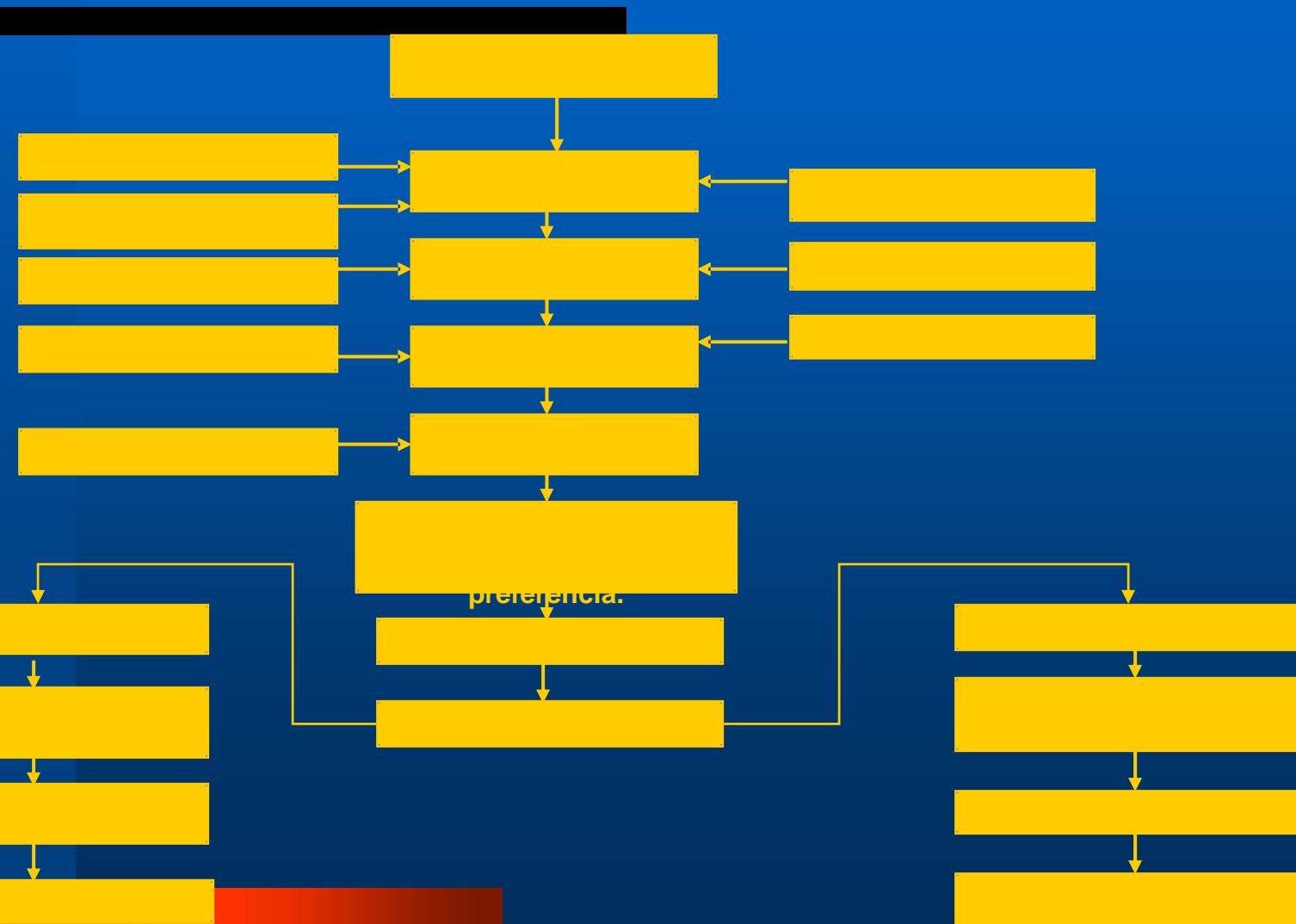
# Selección Optima de Métodos de Riego

## Parámetros para la selección :

- ✓ **Disponibilidad de agua**
- ✓ **Tipo de suelo**
- ✓ **Topografía**
- ✓ **Clima**
- ✓ **Tipo de cultivo o frutal**
- ✓ **Disponibilidad y calidad de la mano de obra**
- ✓ **Energía**
- ✓ **Costo relativo de cada recurso.**



# Selección Optima de Métodos de Riego





Universidad de Concepción  
Facultad de Ingeniería Agrícola

# SUSTENTABILIDAD DE LOS SISTEMAS DE RIEGO

CRITERIOS OPTIMOS EN EL MANEJO DEL RIEGO

---

DISEÑO ÓPTIMO DE LOS SISTEMAS DE RIEGO

SELECCIÓN ÓPTIMA DE SISTEMAS DE RIEGO



FACULTAD  
DE INGENIERIA AGRICOLA

Universidad de Concepción



Facultad de Ingeniería Agrícola

# Un buen uso del Agua

ES UNA MIRADA  
DE  
FUTURO





Universidad de Concepción  
Facultad de Ingeniería Agrícola



# El uso inteligente del agua y la energía

ES OFRECERLES  
UN MUNDO MEJOR  
  
A LAS  
GENERACIONES  
FUTURAS



GRACIAS

**Universidad de Concepción**  
**Facultad de Ingeniería Agrícola**

