

## Informe de Avance de Tesis

**Alumno:** Carla Alfonso

**Directora:** Laura Echarte

**Co-director:** Anibal Cerrudo

**Asesores:** Fernando Andrade, Aida Della Maggiora, Salvador Prieto Angueira

**Título de proyecto de tesis:** Eficiencia de uso del agua del maíz en respuesta a un cultivo de cobertura y a densidades de siembra contrastantes

### **1. Exposición sintética de la labor experimental desarrollada (trabajos, técnicas empleadas, métodos, análisis estadístico, resultados preliminares)**

#### **INTRODUCCION**

El agua es el recurso que más afecta a la producción agrícola en seco; en estos sistemas, es de relevancia incrementar la productividad del agua (PA) en ambientes limitados por agua y/o con alta variabilidad interanual de las precipitaciones. La PA se puede caracterizar como el producto entre la captura (i.e. evapotranspiración (ET)/precipitaciones) y la eficiencia en el uso del agua (i.e. EUA, biomasa/ET). La introducción de cultivos de cobertura (cc; aquellos que se establecen entre cultivos de cosecha y no son pastoreados, incorporados, ni cosechados ; Reeves, 1994); es una práctica de manejo que podría incrementar ambos componentes de la PA. Se han evaluado varios aspectos del efecto del cc de invierno sobre el rendimiento del cultivo de verano siguiente (i.e. cultivo de cosecha; e.g. Barraco, 2012; Singer et al., 2008; Mhlanga et al., 2015; Diez et al., 2013, 2014); pero se conoce poco acerca de la influencia de los cc sobre la ET y la EUA del sistema, así como del cultivo de cosecha; y en particular para las condiciones del SE de Buenos Aires.

La ET es el proceso por el cual el agua es transferida desde el suelo hacia la atmósfera a través de una cubierta vegetal, se compone de la evaporación de agua desde la superficie del suelo (E) y la transpiración a través de los tejidos de la planta (T; Allen et al., 1998). La E es una pérdida de agua no productiva y es función del contenido de agua en la capa superficial del suelo y de la radiación incidente sobre el suelo (e.g. Hernández et al., 2015). Las mayores pérdidas de agua por evaporación se producen en los estadios iniciales de crecimiento del cultivo, cuando las plantas son pequeñas y una gran parte de la superficie del suelo queda expuesta a la radiación solar (Satorre et al., 2003). Villalobos y Fereres (1990) informaron una alta proporción de E respecto a ET (80%) en los estadios iniciales de crecimiento de maíz, que se redujo a 20% en el período de cobertura completa. A su vez, la E ocurre a máxima tasa durante horas hasta 1 ó 2 días después de la lluvia (Ritchie, 1972), entonces es de esperar que en condiciones de mojado frecuente la cobertura disminuya la E estacional en maíz. En Balcarce, hay una alta probabilidad (i.e. 0,80; serie 1985-2015) de mojado frecuente (i.e. intervalo de días sin humedecimiento  $\leq 8$  días) durante el período de cobertura incompleta (i.e. nov y dic). El cc tendría potencial para reducir la energía radiante que llega a la superficie del suelo (Allen et al., 1998), a la vez de actuar como un obstáculo físico a la salida de agua, disminuyendo de este modo la evaporación. Por lo que es de esperar que, en un cultivo con la

densidad de plantas normal para la zona (i.e. que logran intercepción de radiación solar máxima), la cobertura disminuya la E durante el período de cobertura incompleto y que disminuya la E estacional. En cultivos de maíz en baja densidad de plantas que no logran la máxima intercepción de radiación por unidad de área, la cobertura podría promover reducciones de E a lo largo de todo el ciclo y en consecuencia podría reducir la E estacional en mayor medida que en la alta densidad de plantas. Además, para cualquier densidad de plantas, la cobertura podría incrementar la cantidad de agua disponible para ser transpirada, e incrementar la transpiración si es que el agua en el suelo fuera limitante (i.e. agua disponible < 50%). Esto ocurriría porque la cobertura promueve una menor E, una mayor infiltración (e.g. Unger y Vigil, 1998) y porque se espera que el consumo de agua por el cc no influya el contenido de agua al inicio del ciclo (dado que las precipitaciones permitirían la recarga de agua en el perfil del suelo desde la terminación del cc hasta la emergencia del maíz). En resumen, se espera que el cultivo cobertura (i) disminuya la E estacional en maíces con densidad de plantas contrastantes, pero los efectos serán mayores en baja densidad, y (ii) incremente la T al aumentar el agua disponible para transpirar, respecto de un maíz sin cc. La influencia de la cobertura sobre la ET estacional dependerá de la magnitud de los cambios en sus componentes; sin embargo, es de esperar que las reducciones en E promuevan incrementos en EUA en cualquier densidad de plantas. En función a lo expuesto, se plantearon las siguientes **Hipótesis**:

En condiciones de secano en Balcarce y suponiendo condiciones de agua en el suelo no limitantes al inicio del maíz, la presencia de un cultivo de cobertura en comparación con un barbecho descubierto en labranza convencional:

1) Incrementa la EUA de maíz al:

-reducir la E estacional, en cualquier densidad de plantas de maíz y disponibilidad de agua en el suelo;

-aumentar la T del cultivo asociado a un incremento en la disponibilidad de agua en el suelo respecto de un cultivo sin cc cuya agua disponible en el suelo es limitante (<50% durante períodos del ciclo de crecimiento).

2) Reduce la E estacional en mayor medida en baja densidad de plantas de maíz respecto de la densidad habitual en la zona.

3) Incrementa la Productividad del Agua anual, en cualquier densidad de plantas de maíz.

### **Objetivo General**

Aportar conocimiento acerca de la influencia del cultivo de cobertura sobre la EUA del cultivo de maíz y la PA anual, ante densidades de plantas de maíz contrastantes en el SE de Buenos Aires.

### **Objetivos específicos**

i) Cuantificar la influencia del cultivo de cobertura sobre la ET, sus componentes (T y E), la EUA del cultivo de maíz y la PA anual en densidad de plantas contrastantes.

ii) Cuantificar la ET del cc.

## **MATERIALES Y METODOS**

Se llevó a cabo un experimento durante la campaña 2016-17 en la Unidad Integrada Balcarce (Facultad de ciencias agrarias UNMdP-EEA INTA) ubicada en la localidad de Balcarce, provincia de Buenos Aires (37° 45' S; 58° 18' W, 130 msnm) sobre un suelo Argiudol típico serie Mar del Plata (INTA

1980) con profundidad de tosca a aproximadamente 1,8-2,0 m y capacidad de almacenaje de agua útil de 170 mm m<sup>-1</sup>. El ensayo se realizó bajo el sistema de labranza convencional.

#### Tratamientos, diseño experimental y manejo agronómico

Los tratamientos consistieron en una combinación de (i) 2 niveles de cobertura de suelo (sin cultivo cobertura, s/cc y con cultivo cobertura, c/cc) y (ii) 2 densidades de plantas de maíz (3 plantas m<sup>-2</sup>, baja y 8 plantas m<sup>-2</sup>, normal).

Se utilizó un diseño experimental en bloques completos aleatorizados con un arreglo en parcelas divididas, se realizaron 3 repeticiones; los tratamientos de cobertura se asignaron a la parcela principal y la densidad a las sub-parcelas. Cada unidad experimental tuvo un tamaño de 4,2 metros de ancho (8 surcos) y 10 metros de largo.

Como cultivo de cobertura (cc) se utilizó trigo (*Triticum aestivum*) sembrado el 24/06/2016 a una densidad de 270 plantas m<sup>-2</sup>. La superficie experimental fue fertilizada con 200 kg ha<sup>-1</sup> de una mezcla de 50% azufre y 50% fósforo, previo a la siembra (15/06/2016) y con 250 kg ha<sup>-1</sup> de N como urea granulada (46-0-0) al inicio de macollaje (05/09/2016).

Se controló malezas aplicando Clopiralid (250cc ha<sup>-1</sup>) + 2,4D (300 cc ha<sup>-1</sup>), cuando el cc comenzaba a encañar (16/09/2016).

La supresión del crecimiento del cc se realizó en forma química, con glifosato (ROUNDUP CONTROLMAX, 72%) a razón de 5 kg ha<sup>-1</sup>, cuando se encontraba fenológicamente en vaina embuchada (17/10/2016).

El cultivo de maíz se sembró el 16 de noviembre, con el objetivo de permitir la recarga del perfil y tener menor riesgo de déficit hídrico (Panunzio Moscoso, 2016). Se utilizó el híbrido de maíz DK692VT3P. La siembra se realizó en forma mecánica con alta densidad de plantas (i.e. 120 plantas m<sup>-2</sup>) y se raleó en el estado de 3 hojas (V3, Ritchie y Hanway, 1982) para obtener una densidad final de 3 y 8 plantas m<sup>-2</sup>. La distancia entre surcos fue de 0,52 m.

La fertilización nitrogenada (urea granulada, 46-0-0) se realizó fraccionada en 2 dosis de 100 kg N ha<sup>-1</sup>, en el estado de V2 (05/12/2017) y en V4 (15/12/2017) respectivamente. Las malezas fueron adecuadamente controladas, de manera manual y químicamente mediante la aplicación de glifosato al 72 % + Sempra (Halosulfurón al 75 %) en tres oportunidades.

### **Mediciones**

#### **1-Humedad del suelo**

La humedad del suelo se midió semanalmente desde la emergencia del cultivo de cobertura (25/07/2016) hasta la madurez fisiológica del maíz (18/04/2017) utilizando una combinación del método gravimétrico (0-0,10 m de profundidad) y el método de atenuación de neutrones (0,10-hasta 1,9m de profundidad), se realizaron mediciones cada 0,1 m de profundidad hasta 0,4 m y cada 0,2 m en el resto del perfil; Se empleó un equipo Troxler, modelo 4300 (Troxlerelectronic laboratory, inc, USA).

Valores de límite máximo (Lmax; 3,7 mm cm<sup>-1</sup>) y mínimo (Lmin; 2,0 mm cm<sup>-1</sup>) de almacenaje de agua del suelo de este experimento, fueron provistos por ensayos previos realizados en el mismo lote (Nagore et al., 2014).

#### **2-Evaporación**

La E se determinó en intervalos de 7-10 días y en dos momentos durante cada intervalo que representaron (i) la E diaria en suelo húmedo (Eh;

medida al día siguiente de un evento de mojado, máxima tasa de E) y (ii) la E diaria en suelo seco (Es; medida al menos 3 días después del evento de mojado, menor tasa de E).

La evaporación se cuantificó según Hernández et al. (2015) a partir de la diferencia de peso de microlisímetros (0,1 m de diámetro y 0,15 m de profundidad). Para cada intervalo de 7-10 días, la E se acumuló multiplicando Eh y Es por el número de días que estuvieron en cada condición. La E estacional se obtuvo a partir de la suma de las E acumuladas en cada intervalo.

### 3-Intercepción de radiación

La radiación fotosintéticamente activa interceptada se determinó cada 7-10 días (Gallo y Daughtry, 1986); con un radiómetro de barra CAVADEVICES, a las 9:00, 12:00 y 15:00 hs, en días despejados.

El porcentaje de RFA en cada momento de medición se obtuvo mediante la ecuación:  $RFA (\%) = 100 - (RFA1/RFA0) * 100$ ; donde RFA1 y RFA0 representan a la RFA medida por debajo al ras del suelo y por encima del canopeo, respectivamente.

### 4- Índice de área foliar (IAF)

*Determinaciones no destructivas:*

El área foliar se estimó en cinco plantas por parcela a través del largo y ancho de cada hoja por un factor o Índice de Montgomery ( $AF = \text{Largo} \times \text{ancho} \times 0,75$ ; Montgomery, 1911; Saxena, 1977). Se determinó a los 28, 36, 50, 56 días desde la siembra, el 14/12/2016, 22/12/2017, 05/01/2017, 11/01/2017, respectivamente.

*Determinaciones destructivas:*

Cuando se realizaron los muestreos de biomasa se extrajeron de cada planta las hojas verdes, y estas fueron pasadas por un scanner de área foliar (LI-3100C). Se determinó a los 75, 86, 98, 118, 134 días desde la siembra, el 30/01/2017, 10/02/2017, 22/02/2017, 14/03/2017, 30/03/2017, 19/04/2017 respectivamente.

### 5- Biomasa

Se realizaron 6 muestreos de biomasa aérea a través de la estación de crecimiento del cultivo de maíz. Se muestreó 1 m<sup>2</sup> de cada parcela, en sitios representativos de la misma. Las plantas de cada unidad experimental se cortaron al ras del suelo y se secaron en estufa a 65 °C hasta peso constante.

Tabla 1: Fechas de muestreo de biomasa y estadios fenológicos del maíz.

	Muestreos					
	1°	2°	3°	4°	5°	6°
	30/01	10/02	22/02	14/03	30/03	19/04
c/cc.3pl m <sup>-2</sup>	V15	R1	R2	R5	R5.1/2LL	MF
c/cc.8pl m <sup>-2</sup>	V13	V20	R1	R4.5	R5. 1/8LL	MF
s/cc.3pl m <sup>-2</sup>	R1	R2	R3	R5. 1/4LL	R5.2/3+LL	MF
s/cc.8pl m <sup>-2</sup>	V19	R1	R2	R5. 1/5LL	R5.2/3LL	MF

### 6-Rendimiento

En madurez fisiológica se determinó el rendimiento en grano de maíz mediante la cosecha manual de espigas en los surcos centrales de cada

parcela. Las espigas se trillaron y los granos se pesaron y se determinó su humedad ( $\delta$ ). Los valores se expresaron en rendimiento en grano por unidad de superficie, considerando 0% de humedad.

### **Estimaciones**

#### **1-Evapotranspiracion**

La ET del cc y del maíz se calculó para cada intervalo de medición de humedad sumando la precipitación (P, mm) y restando la variación de almacenaje de agua ( $\Delta A$ , mm) y el drenaje (D) según la siguiente expresión:

$$ET \text{ (mm)} = P \pm \Delta A - D$$

El drenaje (D) se calculó como la lámina de agua excedente al almacenaje al  $L_{max}$ . En general, se supuso una efectividad de las precipitaciones del 100% y se consideró nulo escurrimiento dado que el lote no presenta pendiente. En períodos de precipitaciones abundantes para los que el supuesto de 100% de lluvia efectiva era erróneo, se estimó la ET del período a partir del kc medio de los 7 días del período anterior como  $ET = kc \times ET_0$ . Donde  $ET_0$  es ET de referencia y es provista por la estación meteorológica de la EEA INTA Balcarce.

La ET estacional del cc y del maíz se obtuvo a partir de la suma de las ET de cada intervalo.

#### **2-Eficiencia de uso de agua (EUA)**

La EUA del cc y de maíz para producción de biomasa, se calculó a través del cociente entre biomasa y ET estacional y la EUA para grano como Rendimiento y ET estacional.

#### **3- Eficiencia de captura de agua (ECA)**

La eficiencia de captura de agua se estimó como el cociente entre ET total de los cultivos y las precipitaciones acumuladas en el periodo evaluado

#### **4- Productividad del agua**

La productividad del agua se calculó como el producto de la EUA y la ECA.

## **RESULTADOS PRELIMINARES**

### **Contenido de agua del suelo**

En la Figura 1 se observa la dinámica del contenido de agua del suelo desde la siembra del cc (24/06/2016) hasta la siembra del maíz (15/11/2016). El cc consumió 210mm a lo largo de la estación de crecimiento. El tratamiento sin cc, en paralelo, durante el crecimiento del cc (117 días) evaporó 179mm. Al momento del secado del cc, el contenido de agua del suelo fue 8% menor en el tratamiento con cc que en el sin cc.

Luego del secado del cc, en el periodo de transición a la siembra del maíz (27 días), el suelo desnudo (sin cc) perdió 79mm, en tanto que el tratamiento con residuos en superficie solo perdió 33mm de agua por evaporación. Esta mayor cantidad de agua perdida en el suelo descubierto podría explicarse por una mayor tasa de evaporación causada por la mayor temperatura del suelo y menor limitación física a la salida de agua. Los residuos en la superficie del suelo además de reducir la cantidad de radiación solar directa que llega al suelo, reflejan mayor cantidad de radiación por tener un albedo superior al del suelo desnudo Fernández et al.(2008, 2006).

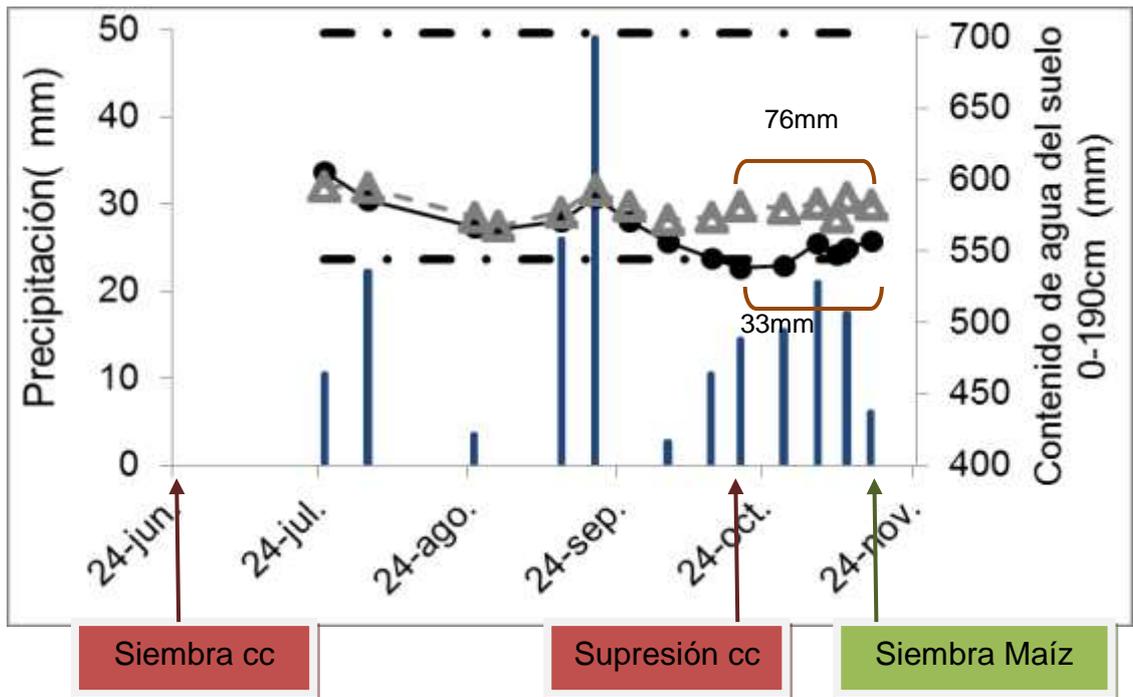


Figura 1: Contenido de agua en el suelo (0-190 cm) para el tratamiento con cc (círculos llenos) y sin cc, suelos descubiertos (triángulos grises). Precipitaciones: barras azules

A la siembra del maíz el contenido de agua del suelo varió entre 54% y 62 % de agua disponible para los tratamientos con cc y sin cc respectivamente. A medida que avanzó la estación de crecimiento el almacenaje de agua del suelo fue descendiendo, tanto en los tratamientos con cc, como sin cc. A los 75 días desde la siembra (30/01/2017), momento en que el tratamiento sin cc y 3pl m<sup>-2</sup> llegó a floración, el contenido de agua del suelo estuvo muy por debajo del umbral crítico, con menos del 30% de agua disponible.

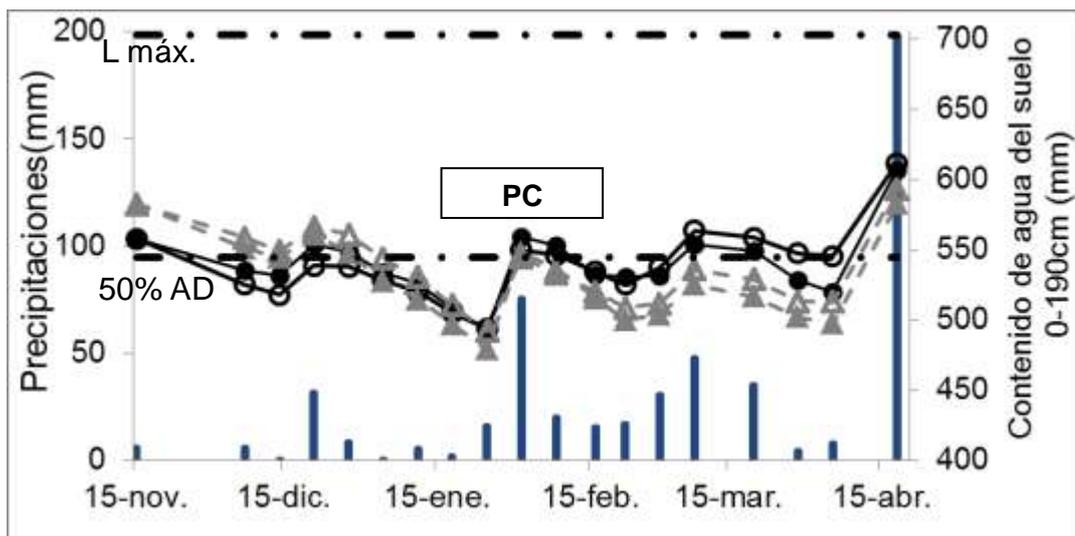


Figura 2: Contenido de agua en el suelo (0-190 cm) para el cultivo de maíz con cc: 8pl m<sup>-2</sup> (círculos llenos) y 3pl m<sup>-2</sup> (círculos vacíos) y sin cc: 8pl m<sup>-2</sup> (triángulos llenos) y 3pl m<sup>-2</sup> (triángulos vacíos). Precipitaciones: barras azules. PC: período crítico.

### Evapotranspiración

La ET estacional de maíz varió entre 401mm (c/cc en baja densidad de plantas) y 457 mm (s/cc en alta densidad de plantas). La presencia de cobertura disminuyó 9% la ET estacional de maíz en promedio de las dos densidades (Tabla 2). El aumento en la densidad de plantas de 8 a 3 plantas m<sup>-2</sup> tendió a aumentar levemente la ET estacional de maíz sin presencia de cobertura (4,3%) o no la modificó en presencia de cobertura (Tabla 2).

### Rendimiento

El rendimiento en grano varió entre 5759 y 10300 kg ha<sup>-1</sup> en las diferentes combinaciones de cobertura y densidad (Tabla 2). La presencia de cobertura disminuyó el rendimiento de maíz; las reducciones tendieron a ser mayores en baja densidad de plantas (26%) que en alta densidad de plantas (10%). El aumento en la densidad de plantas incrementó el rendimiento 38% en el suelo con cobertura de residuos en superficie y 24% en el suelo desnudo.

La producción de biomasa total varió entre 10147 y 21820 kg ha<sup>-1</sup> en función de la densidad de plantas y la cobertura de suelo. La densidad de plantas alta, 8 pl m<sup>-2</sup>, incrementó entre 30% y 40% la producción de biomasa respecto a la baja densidad, 3 pl m<sup>-2</sup>, en la situación con cc y sin cc respectivamente.

### Eficiencia de uso de agua

La EUA para producción de grano (EUAg) presentó valores entre 14 y 23 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> (Tabla 2). Estos valores se encuentran dentro del rango citado por diversos autores para el cultivo de maíz. La presencia de cobertura redujo la EUAg en baja densidad de plantas, pero no la modificó en alta densidad de plantas (Tabla 2). El incremento en densidad incrementó la EUAg en cualquier condición de cobertura (Tabla 2).

Tabla 2: Evapotranspiración acumulada desde la siembra hasta la madurez fisiológica del maíz (ET), rendimiento en grano y eficiencia en el uso del agua para producción de grano (EUAg) en un cultivo de maíz expuesto a 2 niveles de cobertura del suelo y 2 densidades de plantas.

Tratamiento	ET (mm)	Rendimiento (Kg ha <sup>-1</sup> )	EUAg
c/cc 3pl m <sup>-2</sup>	401	5759	14
c/cc 8pl m <sup>-2</sup>	406	9219	23
s/cc 3pl m <sup>-2</sup>	438	7839	18
s/cc 8pl m <sup>-2</sup>	457	10300	23

La EUA para producción de biomasa (EUA<sub>b</sub>) también se incrementó por efecto de la densidad (Figura 3) y no se observó un efecto significativo de la cobertura de suelo.

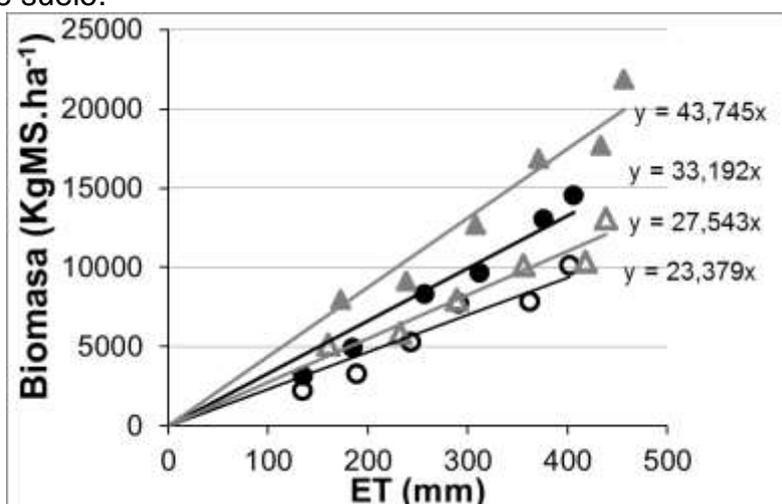


Figura 3: Eficiencia de uso de agua para producción de biomasa del cultivo de maíz con cc: 8pl.m<sup>-2</sup>(círculos llenos) y 3pl.m<sup>-2</sup> (círculos vacíos) y sin cc: 8pl.m<sup>-2</sup> (triángulos llenos) y 3pl.m<sup>-2</sup> (triángulos vacíos)

**2. Principales dificultades para la ejecución del trabajo.**

No hubo dificultades hasta el momento

**3. Grado de cumplimiento del proyecto original.**

Se cumplió un 80% con el proyecto original.

**4. Cronograma para cumplir las tareas a completar dentro del plazo**

ACTIVIDAD	MES																								
	2016											2017											2018		
	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M
Actividades académicas maestría	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
Revisión bibliográfica	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Ensayo de campo				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X											
Análisis de datos						X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X						
Escritura del manuscrito de tesis																		X	X	X	X	X	X		
Preparación de publicaciones																						X	X	X	X

**6. Grado de avance en la redacción del manuscrito de tesis**

Hasta el momento se avanzó un 20% en la redacción del manuscrito de tesis.