

73996

SCILINGO, JUAN MANUE

Respuestas de soja y

2014

73996



Universidad Nacional de Río Cuarto
Facultad de Agronomía y Veterinaria



MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

Mención Manejo de Tierras

Tesis

**“Respuesta de soja y maní a la profundidad
de la napa freática en ambientes medanosos del
centro-oeste de la República Argentina”**

Alumno: Ing. Agr. Juan Manuel Scilingo

Director: Dr. José Manuel Cisneros

Co-director: Dr. Esteban Gabriel Jobbágy

Septiembre de 2014

Río Cuarto – Córdoba

13513

73996

MFN:
Clasif:
T 963

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Tesis de Magister: Respuesta de soja y maní a la profundidad de la napa freática en ambientes medanosos del centro-oeste de la República Argentina.

Autor: Ing. Agr. Juan Manuel Scilingo

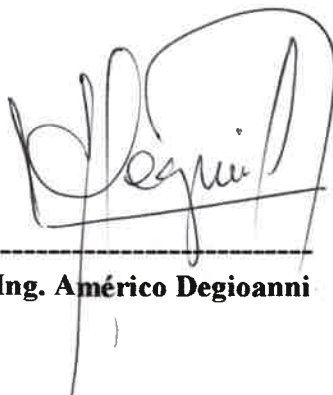
Director: Dr. José Manuel Cisneros

Co-director: Dr. Esteban Gabriel Jobbágy

Aprobado y corregido de acuerdo a las sugerencias de la comisión evaluadora:



Ing. Alberto Quiroga



Ing. Américo Degioanni



Ing. Guillermo Cerioni



A mis padres Mally y Juan José, and to the memory of Gerladine
"Gerry" Dykes Nettles, how took care of me as her soon and
makes me feel part of her own family.

Agradecimientos

No quiero dejar pasar esta ocasión para agradecer:

A mis padres por el ejemplo y el apoyo durante toda mi formación.

A mi hermana que me dio asilo en Río Cuarto durante los momentos de cursado.

A mi novia Macarena por entenderme y apoyarme en este desafío.

Al "Pepe" Cisneros, mi director y a Esteban Jobbágy, mi codirector, quienes me apoyaron y acompañaron durante el duro proceso de llevar adelante "la tesis".

A la Universidad Nacional de Río Cuarto, a la Facultad de Agronomía y Veterinaria y en particular a los profesores por toda la buena predisposición brindada.

A quienes me recibieron en sus cubículos y me dieron material y espacio para poder trabajar, en especial a Aniela Zubrzycki, Fede Morla y María Belén Rosso.

A mis amigos Ariel Angeli, Topi Gastaldi y Rafa Cuervo con quienes compartí y disfruté el cursado de esta carrera.

A los hermanos Ariel Bollati y Javier Bollati de la empresa Liderarg S.A. por su predisposición y apoyo desinteresado en el desarrollo de este trabajo.

A las personas con las que tengo el gusto de trabajar como asesor técnico, Eduardo "Remache" Cardinal, Don Carmelo S.A. (Cacho y Flia), Walter Zanotto, Santa Elena Agro (Juanca y Flia), Paine-Azul (Francisco Liceaga), El Vasco Viejo (Vasco y Flia).

A Francisco Obligado con quien tuve la suerte de trabajar y quien me confió el desarrollo del proyecto de manejo por ambientes en Estancia El Rosario, donde se llevó adelante este trabajo.

Índice General

Resumen	8
Summary.....	9
I. Introducción.....	10
II. Antecedentes.....	12
1-Relación cultivo-suelo-atmosfera.....	12
2-Efecto de la napa sobre los cultivos	12
3-Antecedentes en el área de estudio.....	14
III. Hipótesis del Trabajo.....	16
IV. Objetivos.....	16
Generales:	16
Específicos:.....	16
V. Materiales y Métodos	17
1-Sitio experimental.....	17
2-Características fisiográficas y climáticas de la región de estudio	18
2.1. Régimen térmico.....	18
2.2. Régimen hídrico.....	18
3-Diseño experimental.....	20
4-Observaciones y mediciones realizadas durante el estudio.....	22
4.1. Variables climáticas.....	22
4.2. Variables edáficas.....	22
4.2.1. Caracterización morfológica del suelo	22
4.2.2. Caracterización de la textura del perfil típico.....	22
4.2.3. Estimación de la densidad aparente del los horizonte (PEA).....	22
4.2.4. Capacidad hídrica de los distintos horizontes del perfil típico	22
4.2.5. Caracterización química y biológica inicial del suelo	22
4.2.6. Agua del suelo	23
4.2.6.1. Estimación de humedad del perfil de suelo	23
4.2.6.2. Estimación del frente capilar de humedecimiento.....	23
4.2.6.3. Estimación de los aportes de la capa freática a los cultivos	23
4.2.6.4. Aportes de la capa freática y la eficiencia de uso de agua (EUA) a distintas profundidades de exploración de raíces de los cultivos.....	24
4.2.7. Conductividad eléctrica del extracto saturado de suelo.....	24
4.3. Monitoreo de agua subterránea.....	24

4.4. Características del cultivo.....	25
4.4.1. Maní Granoleico:.....	25
4.4.2. Don Mario 4210.....	25
4.4.3. Don Mario 5.5i.....	25
4.5. Determinaciones realizadas sobre los cultivos y los granos cosechados.....	25
5-Procesamiento y análisis de datos. Desarrollo de modelos empíricos.....	26
VI. Resultados y Discusión.....	28
1-Condición meteorológica durante el ciclo del cultivo.....	28
2-Characterización de suelos.....	29
2.1. Morfología.....	29
2.2. Características texturales, densidad aparente y capacidad hídrica del suelo.....	30
2.3. Condición química y biológica inicial.....	31
2.4. Agua del suelo.....	32
2.4.1. Perfil de humedad de los suelos comparada entre cultivos a la siembra y a la cosecha.....	32
2.4.2. Determinación del frente capilar de humedecimiento.....	37
2.4.3. Conductividad eléctrica del extracto saturado de suelo.....	40
2.4.4. Lamina de agua útil del perfil de suelo expresado en mm. al momento de cosecha.....	42
3-Characterización de la capa freática.....	45
3.1. Relación entre la napa freática y los cultivos.....	45
3.1.1. Maní Granoleico.....	46
3.1.2. Soja DM 4210.....	47
3.1.3. Soja DM 5.5i.....	48
3.2. Relación entre el nivel freático y las variables meteorológicas - Modelos de descripción de nivel freático.....	50
4- Respuesta de los cultivos a la profundidad de la napa.....	53
4.1. Cobertura del canopeo y fenología.....	53
4.1.1. Maní Granoleico.....	53
4.1.2. Soja DM 4210.....	55
4.1.3. Soja DM 5.5i.....	57
4.2-Producción de granos.....	59
4.2.1. Maní.....	59
4.2.1.1. Relación entre el NF medio y el rendimiento en grano.....	59

4.2.1.2. Relación entre el NF medio y la madurez de los frutos.....	60
4.2.1.3. Relación entre el NF medio y la relación grano/caja.....	62
4.2.1.4. Relación entre el NF medio y el porcentaje de granos confitería..	63
4.2.2. Soja.....	64
4.2.2.1. Relación entre el NF medio y el rendimiento en grano de DM 4210	64
4.2.2.2. Relación entre el NF medio y el peso de mil semillas de DM 4210	66
4.2.2.3. Relación entre el NF medio y el rendimiento en grano de DM 5.5i.	67
4.2.2.4. Relación entre el NF medio y el peso de mil semillas de DM 5.5i	69
Alcances y limitaciones de los modelos	70
4.3. Eficiencia de uso de agua y aportes de agua de la freática.....	71
4.3.1. Maní.....	71
4.3.2. Soja.....	73
VII. Conclusiones.....	76
VIII. Agenda de investigación futura	78
IX. Limitaciones del estudio.....	79
X. Bibliografía.....	80
Anexos.....	90
A-1- Caracterización de suelos.....	90
A-2- Caracterización de la conductividad eléctrica de extracto saturado de suelo.....	93
A-3- Soja DM 4210- Gráficos de conductividad eléctrica de extracto saturado de suelo.....	94
A-4- Soja DM 5.5i - Gráficos de conductividad eléctrica de extracto saturado de suelo.....	95
A-5- Niveles freáticos, CE y Precipitación (PP) en el cultivo de Maní.....	96
A-6- Niveles freáticos, CE y PP en el cultivo de Soja DM 4210	96
A-7- Niveles freáticos, CE y PP en el cultivo de Soja DM 5.5i.....	97
A-8- Niveles freáticos observados Vs estimados por el modelo y la regresión entre ellos para cada tratamiento del cultivo de Soja DM 4210.....	98
A-9- Niveles freáticos observados Vs estimados por el modelo y la regresión entre ellos para cada tratamiento del cultivo de Soja DM 5.5i.....	100

Índice de Figuras

Figura 1: Localización de los ensayos.....	17
Figura 2: Plano del campo sobre el mapa de la carta de suelos (Tassile <i>et al.</i> , 2001).....	17
Figura 3: Ambientes geomorfológicos de la provincia de Córdoba (Gorgas y Tassile, 2006).	18
Figura 4: Precipitaciones medias para Del Campillo serie 1901-2006.....	19
Figura 5: Vista de un freatómetro sobre la superficie del suelo.	25
Figura 6: Precipitaciones medias del lugar (1961-2011), precipitaciones (2010-2011) y ETP (Thornthwaite).....	28
Figura 7: Vista del paisaje desde T5 hacia T1	29
Figura 8: Vista del perfil típico (T3).....	29
Figura 9: Contenido de humedad gravimétrica (gr/gr) del perfil de suelo en el cultivo de Maní a la siembra y a la cosecha para los distintos tratamientos.	34
Figura 10: Contenido de humedad gravimétrica (gr/gr) del perfil de suelo en el cultivo de Soja DM 4210 a la siembra y a la cosecha para los distintos tratamientos. ..	35
Figura 11: Contenido de humedad gravimétrica (gr/gr) del perfil de suelo en el cultivo de Soja DM 5.5i a la siembra y a la cosecha para los distintos tratamientos.	36
Figura 12: Maní - Frente capilar en T4 al momento de cosecha.	37
Figura 13: Maní - Frente capilar en T5 al momento de cosecha.	38
Figura 14: DM 4210 - Frente capilar en T4 al momento de cosecha.	38
Figura 15: DM 4210 - Frente capilar en T5 al momento de cosecha.	39
Figura 16: DM 5.5i - Frente capilar en T4 al momento de cosecha.	39
Figura 17: DM 5.5i - Frente capilar en T5 al momento de cosecha.	40
Figura 18: Conductividad inicial y final (ds/m) para cada uno de los tratamientos de cultivo de Maní.	41
Figura 19: Lamina de agua útil de suelo (mm) a cosecha en T1 de los distintos cultivos para 3 profundidades de suelo diferentes.....	42
Figura 20: Lamina de agua útil de suelo (mm) a cosecha en T2 de los distintos cultivos para 3 profundidades de suelo diferentes.....	43
Figura 21: Lamina de agua útil de suelo (mm) a cosecha en T3 de los distintos cultivos para 3 profundidades de suelo diferentes.....	43
Figura 22: Lamina de agua útil de suelo (mm) a cosecha en T4 de los distintos cultivos para 3 profundidades de suelo diferentes.....	44
Figura 23: Lamina de agua útil de suelo a cosecha en T5 de los distintos cultivos para 3 profundidades de suelo diferentes.	45
Figura 24: Relación entre el nivel freático (cm) y el las PP (mm) durante el ciclo del cultivo de Maní.	47



Figura 25: Relación entre el nivel freático (cm) y el las PP (mm) durante el ciclo del cultivo de Soja DM 4210.....	48
Figura 26: Relación entre el nivel freático (cm) y el las PP (mm) durante el ciclo del cultivo de Soja DM 5.5i.....	49
Figura 27: Niveles freáticos observados Vs estimados por el modelo y la regresión entre ellos para cada tratamiento del cultivo de Maní.....	52
Figura 28: Modelo de respuesta de rendimiento de Maní (kg/ha) en grano a la profundidad freática (cm).....	59
Figura 29: Rendimiento en grano de Maní Granoleico (Kg/ha) para los 5 tratamientos.....	60
Figura 30: Modelo de respuesta de la madurez de frutos (%) a la profundidad freática (cm).....	61
Figura 31: Modelo de respuesta entre la relación grano/caja (%) y la profundidad freática (cm).....	62
Figura 32: Relación grano/caja (%) de Maní Granoleico para los 5 tratamientos.....	63
Figura 33: Modelo de respuesta del porcentaje de granos de Maní confitería y la profundidad freática (cm).....	63
Figura 34: Porcentaje de granos de Maní confitería para los 5 tratamientos.....	64
Figura 35: Modelo de respuesta del rendimiento (Kg/ha) de Soja DM 4210 en grano a la profundidad freática (cm).....	65
Figura 36: Rendimiento en granos (Kg/ha) de Soja DM 4210 para los 5 tratamientos.....	65
Figura 37: Modelo de respuesta del peso de mil semillas (gr) de DM 4210 a la profundidad freática (cm).....	66
Figura 38: Peso de mil semillas de Soja (gr) DM 4210 para los 5 tratamientos.....	67
Figura 39: Modelo de respuesta de rendimiento en grano (Kg/ha) de Soja DM 5.5i a la profundidad freática (cm).....	68
Figura 40: Rendimiento en granos (Kg/ha) de Soja DM 5.5i para los 5 tratamientos.....	68
Figura 41: Modelo de respuesta del peso de mil semillas (gr) de DM 5.5i a la profundidad freática (cm).....	69
Figura 42: Peso de mil semillas de Soja (gr) DM 5.5i para los 5 tratamientos.....	70
Figura 43: T1 - Haplacuol tentativo.....	90
Figura 44: T4 – Haplustol éntico tentativo.....	91
Figura 45: T5 – Haplustol éntico tentativo.....	92
Figura 46: Conductividad inicial y final para cada uno de los tratamientos de cultivo de Soja DM 4210.....	94

Figura 47: Conductividad inicial y final para cada uno de los tratamientos de cultivo de Soja DM 5.5i.....	95
Figura 48: Niveles freáticos observados Vs estimados por el modelo y la regresión entre ellos para cada tratamiento del cultivo de Soja DM 4210.....	99
Figura 49: Niveles freáticos observados Vs estimados por el modelo y la regresión entre ellos para cada tratamiento del cultivo de Soja DM 5.5i.....	101

Índice de tablas

Tabla 1: Balance Hidrológico mensual de Thornthwaite para Del Campillo.....	19
Tabla 2: Controles fitosanitarios en el cultivo de Maní.....	20
Tabla 3: Controles fitosanitarios en el cultivo de Soja.....	21
Tabla 4: Métodos para determinaciones en laboratorio.....	22
Tabla 5: Características del perfil típico.....	30
Tabla 6: Análisis químicos de suelo de los tratamientos destinados a Maní.....	31
Tabla 7: Análisis químico de suelo de los tratamientos destinados a Soja DM 4210.....	32
Tabla 8: Análisis químicos de suelo de los tratamientos destinados a Soja DM 5.5i.....	32
Tabla 9: Nivel freático (cm), CE (ds/m) y precipitaciones (PP) (mm) en el cultivo de Maní.....	46
Tabla 10: Nivel freático (cm), CE (ds/m) y precipitaciones (PP) (mm) en el cultivo de Soja DM 4210.....	48
Tabla 11: Nivel freático (cm), CE (ds/m) y precipitaciones (PP) (mm) en el cultivo de Soja DM 5.5i.....	49
Tabla 12: Cobertura del suelo (%), estadio fenológico y profundidad de la freática (cm) para los 5 tratamientos de Maní Granoleico al 30/12/2010.....	53
Tabla 13: Cobertura del suelo (%), estadio fenológico y profundidad de la freática (cm) para los 5 tratamientos de Maní Granoleico al 10/02/2011.....	54
Tabla 14: Estadios fenológicos reproductivos de Maní Granoleico de los tratamiento expresados en días desde de la siembra (dds).....	54
Tabla 15: Cobertura del suelo (%), estadio fenológico y profundidad de la freática (cm) para los 5 tratamientos Soja DM 4210 al 30/12/2010.....	56
Tabla 16: Cobertura del suelo (8%), estadio fenológico y profundidad de la freática (cm) para los 5 tratamientos de Soja DM 4210 al 10/02/2011.....	56
Tabla 17: Estadios fenológicos reproductivos de Soja DM 4210 de los tratamiento expresados en días desde de la siembra (dds).....	57
Tabla 18: Cobertura del suelo (%), estadio fenológico y profundidad de la freática (cm) para los 5 tratamientos de Soja DM 5.5i al 30/12/2010.....	57

Tabla 19: Cobertura del suelo (%), estadio fenológico y profundidad de la freática (cm) para los 5 tratamientos de Soja DM 5.5i al 10/02/2011.....	58
Tabla 20: Cobertura del suelo (%), estadio fenológico y profundidad de la freática (cm) para los 5 tratamientos de Soja DM 5.5i al 07/03/2011.....	58
Tabla 21: Estadios fenológicos reproductivos de Soja DM 5.5i de los tratamiento expresados en días desde de la siembra (dds).	58
Tabla 22: Consumo de agua de la freática (mm), Eficiencia en el uso del agua (Kg de grano/ha.mm) para diferentes profundidades de raíces en cultivo de Maní y Rendimiento (Kg/ha).	72
Tabla 23: Consumo de agua de la freática (mm), Eficiencia en el uso del agua (Kg de grano/ha.mm) para diferentes profundidades de raíces en cultivo de Soja DM 4210 y Rendimiento (Kg/ha).	74
Tabla 24: Consumo de agua de la freática (mm), Eficiencia en el uso del agua (Kg de grano/ha.mm) para diferentes profundidades de raíces en cultivo de Soja DM 5.5i y Rendimiento (Kg/ha).	74
Tabla 25: Conductividad eléctrica del extracto saturado para los tres cultivos. .	93
Tabla 26: Niveles freáticos, CE y Precipitación (PP) en el cultivo de Maní.	96
Tabla 27: Niveles freáticos, CE y PP en el cultivo de Soja DM 4210.	96
Tabla 28: Niveles freáticos, CE y PP en el cultivo de Soja DM 5.5i	97

Resumen

En regiones donde las precipitaciones tienen una alta variabilidad, la presencia de napa freática puede definir el éxito productivo de los cultivos de secano. La profundidad y salinidad del agua freática definen cuanta de esa agua puede ser aprovechada por las plantas y transformada en rendimiento. Para cuantificar la influencia de la freática sobre un cultivar de Soja de ciclo corto (DM 4210), otro de ciclo largo (DM 5.5i), el Maní (Granoleico), durante la campaña 2010-2011 se instaló un ensayo en el cual se sembraron y colocaron freatímetros, siguiendo una transecta de suelos con 5 diferentes niveles freáticos (NF). Sobre cada uno de los 5 sitios de la transecta de suelos (tratamientos), se realizaron mediciones del cultivo, la napa, el suelo y las precipitaciones. Para napas con conductividad eléctrica entre 1 y 2 ds/m y NF entre 100 y 350 cm, la respuesta del rendimiento de los cultivos fue principalmente lineal y creciente a medida que aumentó el NF. Debido a las escasas precipitaciones que generaron un balance hídrico muy negativo durante todo el ciclo de los cultivos, el NF bajó 100 cm entre siembra y cosecha por lo que no pudo hallarse el NF a partir del cual los rendimientos deberían comenzar a deprimirse por el efecto negativo de la napa. Además de influir en el rendimiento, el NF, tuvo influencia, en el porcentaje de frutos maduros, el porcentaje de granos para confitería y la relación grano/caja en Maní, y en Soja aumentó el peso de mil semillas para las dos variedades. En los distintos tratamientos puedo observarse que, el sombreado del suelo por las plantas, aumentó para los casos con NF más cercano independientemente del cultivo, y que la fenología se atrasó en el Maní y se adelantó en la Soja para los tratamientos sin influencia de napa. No se encontraron variaciones significativas sobre la salinidad de la napa durante el ciclo de los cultivos. La profundidad y calidad de la napa freática, deben ser debidamente tomadas en cuenta, para generar estrategias de manejo tendientes a aprovechar las potencialidades de los ambientes con influencia de napa y estabilizar aquellos que no la tienen.

Summary

In regions where rain variability is very high, the presence of shallow ground water can define success of not irrigated crops. The deepness and salinity from the freatic water will define how much of this water can be used by plants and become in grain yield. To quantified the relationship between shallow ground water, a short cycle soybean (DM 4210), a long cycle soybean (DM 5.5i) and peanut (Granoleico), a test was done during the 2010-2011 season. These crops were seeded and freatic tubes were plant following the landscape with five different water table levels (WTL). Over each 5 landscape places (treatments), were done measurements from de crop, the ground water, the soil and the rain. For ground water with electric conductivity between 1 and 2 ds/m and WTL between 1 and 3,5 meters, the response from the yield was mainly lineal and growing with the increasing of the WTL. Because of the poor rain, this result in very negative water balance during all the crops growing season, the WTL get down 1 meter between seeding and harvesting time, it is why the WTL within the yield should start to decrease for the negative shallow ground water effect. Besides of the yield influence that, the WTL, had influence, in the percentage fruits ripen, the percentage of confectioner grain and the relationship grin/box in peanut, and in soybean increase the weight from 1000 grains to booth cultivars. In the different treatments can be observed that, the soil shading from the plant, increase in the places where WTL was higher, regardless of the crop. The peanut fenology delay and the soybean fenology come early in the treatments with not water table influence. There was not found significant variations from water salinity during the crop season. The water level and quality from the ground water, has been carefully taken care, to generated management strategies that allowed take advantage from the environments how have shallow ground water influence and to stabilize those how have not.

I. Introducción

La llanura Pampeana se extiende sobre 600.000 km² siendo una de las más importantes regiones de producción de cultivos templados del planeta. Aproximadamente 60% de esta área tiene aptitud para realizar agricultura de secano (Hall *et al.*, 1992). Unas 14,5 millones de hectáreas de esta superficie son cultivadas con Soja siendo la lluvia la mayor fuente de variabilidad de rendimiento (Sinclair *et al.*, 2007). Esta oleaginosa es el principal cultivo de Argentina. Su cosecha equivale a la mitad de la producción agrícola pampeana y sus exportaciones (en forma de grano, aceite y derivados) suman entre 8.000 y 9.000 millones de dólares, valor que equivale a una cuarta parte del total nacional de ventas al exterior (Schvarzer y Tavosnanska, 2007). En la provincia de Córdoba se siembran 4.527.200 hectáreas de las 15 millones que se siembran en todo el territorio nacional y se producen 11.462.525 toneladas de las 35 millones que se cosechan (SAGPyA-CNA, 2002; UPSIIA, 2008). El departamento Gral. Roca (donde se ubica el área de estudio) tiene 401.500 hectáreas en agricultura de las cuales 138.000 son sembradas con Soja, generando 358.800 toneladas de grano (UPSIIA, 2008).

El Maní es un cultivo regional típico de la zona centro sur de la provincia de Córdoba, donde se concentra el 96% de la producción primaria nacional y la totalidad del proceso industrial. Ambos procesos impactan económica y socialmente, ya sea directa o indirectamente, no solo por la generación de divisas de la exportación de productos (255.695 toneladas y 176,5 millones de dólares en el año 2005) sino también por la generación de trabajo a nivel predial e industrial (Cholaky Sobari, 2006). Si bien la superficie sembrada con Maní es variable y depende de varios factores, entre las campañas 2000/01 y 2006/07, el promedio ronda las 200.000 hectáreas, con una producción total promedio de 350.000 toneladas/año (Agüero, 2006). En la campaña 2007/08 se sembraron unas 202.000 hectáreas de este cultivo en la provincia de Córdoba de las cuales 56.000 se implantaron en el departamento Gral. Roca y se produjeron 449.000 toneladas totales de Maní, de las cuales 123.000 salieron de este último (UPSIIA, 2008).

En los últimos 20 años, de la mano del aumento de las precipitaciones y del uso de nuevas tecnologías ocurrió una expansión sostenida de la frontera agrícola hacia regiones semiáridas, más frágiles y de menor aptitud productiva típicamente utilizadas para ganadería (da Veiga, 2004). La productividad de las tierras es un concepto complejo y dinámico que abarca consideraciones climáticas, edáficas, bióticas, económicas, de trabajo y conocimiento (Cisneros *et al.*, 2004a; Viglizzo *et al.*, 2002; Cantero Gutiérrez, 1997). Dentro de la caracterización ambiental la disponibilidad hídrica es el factor más limitante de la productividad de cultivos (Baigorri y Martini, 2009; Boyer, 1982; Martínez Alvarez *et al.*, 2005; Sainz, 2009). Una de las características climáticas de la región de estudio, es la alta variabilidad de las precipitaciones, cuyo coeficiente de variación mensual excede el 70%. Estas variaciones mensuales, sumadas a las variaciones estacionales de disponibilidad hídrica y las características de suelo crean dos importantes riesgos para la producción de granos. Primero, los déficits de precipitación durante Septiembre y Octubre pueden generar retraso en la fecha de siembra disminuyendo el potencial de rendimiento de los cultivos (Hall *et al.*, 1992). Segundo, los déficits de precipitaciones durante mediados del verano pueden afectar el rendimiento disminuyendo la tasa de crecimiento de los cultivos

durante los períodos críticos, ya sea floración y/o llenado de granos (Calviño *et al.*, 2003; Cerioni, 2003). La presencia de napa freática con bajo contenido salino y a profundidades alcanzables por las raíces puede disminuir los efectos negativos generados por este último tipo de déficit (Nosetto *et al.*, 2009).

El sur de la provincia de Córdoba se encuentra enmarcada dentro de la región Chaco-Pampeana, una de las zonas más planas del mundo (Nosetto, 2009). En estas llanuras sedimentarias caracterizadas por una muy escasa pendiente regional, las redes de escurrimiento son pobres y los efectos de la precipitación sobre los sistemas agrícolas son mediados por el sistema hidrológico subterráneo, que en momentos de excesos hídricos, se traducen con frecuencia en inundaciones y redistribución local de sales (Jobbágy *et al.*, 2008).

La región de estudio ocupa aproximadamente 2 millones hectáreas de las tierras altas de un sistema de drenaje anárquico y endorreico de 12,4 millones de hectáreas que abraza la línea divisoria del Río Quinto hacia el sudoeste. El comportamiento y la dinámica de los procesos que hacen al movimiento de los niveles de freáticos dentro de sistemas de este tipo son muy complejos y se conocen parcialmente (Viglizzo *et al.*, 2009). Los aumentos en el nivel del agua superficial han sido asociados a cambios en la cobertura superficial y en el uso de las tierras que han pasado de cobertura arbórea o de pasturas a cultivos anuales de menor evapotranspiración que desregulan el balance hidrológico y permiten incrementos en la recarga (Bosch and Hewlett, 1982; Zhang *et al.*, 2001; Andréassian, 2004, Santoni *et al.*, 2008). Los cambios en uso de las tierras sumados a un posible escenario de incremento en las precipitaciones como el que se plantea para la Argentina (IPCC, 2007), proponen que los aumentos en los niveles freáticos podrían mantenerse. Este proceso daría lugar a un nexo recíproco entre producción agrícola y sistema hidrológico, existiendo la posibilidad de intercambio mutuo de agua y sales entre la napa freática y los agroecosistemas (Jobbágy *et al.*, 2008). Un aspecto clave en estos sistemas influenciados por napas, es la posible acumulación de sales y deterioro del suelo subsuperficial (Jobbágy y Jackson, 2004).

La intensificación agrícola hace necesario seleccionar cuidadosamente el uso de las tierras para aprovechar las capas freáticas como fuentes de agua y evitar daños por anegamiento y salinización (Angeli, 2006). La interacción entre cultivo y napa ofrece un reto agronómico, para tratar de disminuir los riesgos de inundación y maximizar el beneficio. Así también ofrece la oportunidad a los científicos de entender la influencia recíproca entre diferentes ecosistemas y napa freática que puedan surgir por la acción antrópica o de la naturaleza (Jackson *et al.*, 2000; Nosetto *et al.*, 2009). La región Pampeana alberga una gran cantidad de unidades de paisaje (loma, media loma y bajo) de decenas a cientos de metros de largo, que con diferencias de elevación de apenas decenas de centímetros, generan fuertes contrastes ecológicos (Jobbágy y Jackson, 2007). Asociada esta situación a su pobre drenaje, hace de esta región un buen lugar para estudiar los efectos negativos y positivos de la napa freática sobre los cultivos extensivos (Nosetto *et al.*, 2009). Dentro de la antes mencionada, la zona con mayor influencia de este fenómeno es la comprendida entre el noroeste de la provincia de Santa Fe, noreste de la provincia de La Pampa y sudeste de la provincia de Córdoba, que presenta un relieve muy plano y que desde la campaña 1997/98, estuvo afectada por inundaciones debido a altas precipitaciones (Baigorri y Martini, 2009).

La profundidad y calidad de la napa freática son factores decisivos y definen en gran medida el potencial productivo en los ambientes arenosos y semiáridos de la región

del centro-oeste argentino. Este trabajo pretende aportar a la investigación científica sobre el tema, mediante el desarrollo de modelos empíricos que relacionen la profundidad y calidad de la napa freática, con el rendimiento de los cultivos de Maní y Soja, relacionando además para este último dos diferentes grupos de madurez relativa.

II. Antecedentes

1-Relación cultivo-suelo-atmosfera

El rendimiento en granos está estrechamente relacionado con la transpiración y la fijación de dióxido de carbono, por tanto es importante que el cultivo pueda (i) capturar la mayor parte posible del recurso agua, (ii) utilizar el recurso capturado lo más eficientemente posible al intercambiarlo a nivel de estomas por el CO₂ destinado a producir fotoasimilados y (iii) convertir la mayor parte posible de los asimilados a órganos de cosecha (Passioura, 1996).

Cuando el agua disponible está por encima de la cantidad que el cultivo puede transpirar, el consumo está determinado por la demanda atmosférica asociada con determinadas condiciones del cultivo, como su grado de cobertura, altura, rugosidad y resistencias al flujo de agua. La demanda atmosférica es inherente a cada ambiente y se caracteriza a través de la evapotranspiración potencial de referencia (Dardanelli et al., 2003). Esta última representa el consumo de agua de un cultivo de alfalfa de 30-50 cm (Jensen et al., 1990) o de una pastura de 8-15 cm de altura, creciendo activamente con buena disponibilidad de agua (Doorembos y Pruit, 1997). Habitualmente esta variable ambiental está medida en pocas localidades de forma directa (con lisímetros), por lo que para ser estimada existen numerosas formulas de cálculo de diferente grado de complejidad según el grado de variables meteorológicas requeridas (Thornthwaite, Prestley-Taylor, Penman-FAO, Penman-Monteith). Para relacionar esta propiedad con el consumo de agua de un cultivo, se la debe afectar por un coeficiente específico de cada cultivo que integra las características morfológicas, fisiológicas y fenológicas del mismo (Dardanelli et al., 2003).

En condiciones de campo, los cultivos pueden manifestar deficiencias hídricas, en especial a las horas de máxima demanda atmosférica, cuando la absorción de agua por las raíces es insuficiente para compensar las pérdidas por transpiración. Si este desbalance es muy pronunciado y/o se prolonga en el tiempo, genera en el cultivo una situación de estrés hídrico que afecta su normal funcionamiento. De persistir el estrés, especialmente durante los estadios definidos como críticos para la determinación del rendimiento, este último se reduce, principalmente por una disminución del índice de cosecha. Para disminuir la intensidad del estrés hídrico durante los períodos críticos, las prácticas de manejo deberán orientarse a obtener un balance de agua más favorable para el cultivo durante esos estadios (Dardanelli et al., 2003).

2-Efecto de la napa sobre los cultivos

La precipitación es el elemento del clima habitualmente considerado en relación con la marcha de los cultivos pero resulta más adecuado considerar la humedad de suelo, pues allí es donde se acumula el agua utilizada por las raíces de las plantas. Además, iguales cantidades de precipitación tienen distinto efecto según el estado

vegetativo de la planta, el estado fenológico, la época del año y la humedad inicial del suelo. Se ha comprobado que el rendimiento de los cultivos muestra una correlación más estrecha con la humedad de suelo y con los componentes del balance hídrico que con los milímetros de precipitación (Gorgas y Tassile, 2006). El flujo transpiratorio del cultivo está directamente relacionado con la fijación de dióxido de carbono y ambos con el rendimiento en granos. Cuando el contenido de agua del suelo se encuentra por encima de un umbral crítico, este flujo es regulado por la atmósfera y cuando el suelo se encuentra por debajo de ese umbral, el flujo se encuentra regulado por la capacidad de la planta para absorber agua y explorar el suelo (Dardanelli *et al.*, 2003). En climas secos el consumo de agua subterránea puede disminuir o eliminar por completo las necesidades de aporte externo de agua (Pratharpar y Qureshi, 1998), además en climas más húmedos puede incrementar y estabilizar los rendimientos en secano (Nosetto *et al.*, 2009), mejorar la eficiencia de uso del agua, disminuir la polución por agroquímicos y mejorar la sustentabilidad ambiental (Mejia *et al.*, 2000). El aporte adicional de agua a partir de la napa freática mejora la eficiencia de uso del agua ya que sobre ella no ocurre el fenómeno de evaporación (Dardanelli y Collino, 2002), y constituye un sistema de riego ideal, ya que funciona permanentemente y sin costo alguno (Baigorri y Martini, 2009). Transformándose en un recurso de alto valor para la producción en cultivos de secano, suplementando déficit de precipitaciones en diferentes climas áridos y semiáridos (Martínez Alvarez *et al.*, 2005; Nosetto *et al.*, 2009; Sepaskhah *et al.*, 2003; Videla Mensegue, 2006).

En la región pampeana, la presencia de napa freática a profundidad accesible para las raíces de los cultivos adquiere gran relevancia por su potencial contribución en el incremento de la producción y debe necesariamente tenerse en cuenta y evaluarse lo más detalladamente posible (Baigorri y Martini, 2009; Dardanelli y Collino, 2002). El agua subsuperficial puede estar fuera del alcance de los cultivos, ser una fuente de agua, o un factor de stress por anoxia o salinidad (Ayars *et al.*, 2006) y sus efectos varían fuertemente dependiendo de la profundidad, salinidad y efecto tóxico de iones de la napa, los atributos de cada cultivo y su distribución de raíces, la textura y capacidad de retención del suelo y el balance entre precipitaciones y demanda atmosférica durante el ciclo productivo (Mueller *et al.*, 2005; Nosetto *et al.*, 2009; Sepaskhah *et al.*, 2003).

Las áreas bajas con agua subsuperficial a poca profundidad son hábitat de importancia para la vida silvestre y humana, y juegan un rol crucial en los ciclos de energía del mundo. Estrategias para un óptimo uso y mantenimiento, requieren conocimiento sobre consumo de agua y eficiencia de uso de la misma según sitios y plantas (Mueller *et al.*, 2005). Los cultivos influyen en las propiedades de la napa alterando la profundidad y la composición química de la misma (Jobbágy y Jackson, 2004). Información sobre la profundidad y salinidad del agua freática son fundamentales para generar decisiones de manejo (Hutmacher *et al.*, 1996). El agua subterránea muy superficial reduce la provisión de oxígeno a la raíz, la toma de nutrientes (Morard y Silvestre, 1996), el crecimiento del cultivo y restringe la exploración radical (Elmi *et al.*, 2002). Existe una profundidad mínima de la napa a partir de la cual el ascenso capilar de las sales disueltas en ella, llega a superficie con una intensidad tal que provoca salinización, generando depresión de los rendimientos por debajo de un umbral económico o daños ambientales manifiestos, por razones de baja productividad, salinización o anegamientos (Cisneros, 1994; Cisneros *et al.*, 1997). Este nivel freático mínimo, se denomina *profundidad crítica* y es variable para diferentes tipos de suelo, relacionándose íntimamente con la estructura y textura del

mismo (Bloemen, 1980) citado en Cisneros *et al.*, (1997). Para suelos del área pampeana central la profundidad crítica de la napa se encuentra entre 100 y 130 cm para suelos arenoso-francos y francos respectivamente. Para las condiciones de suelo del sudeste de Córdoba se han reportado profundidades críticas entre 100 y 150 cm, para diferentes texturas (Cisneros, 1994; Cisneros *et al.*, 1999). El exceso de sales en los suelos afecta a las plantas en todos sus estadios de crecimiento (Saqib *et al.*, 2004). La salinidad afecta la disponibilidad de agua de las plantas debido a su efecto en el potencial osmótico sobre el agua del suelo (Katerji *et al.*, 2003). Con el aumento del potencial osmótico disminuye la disponibilidad de agua para la planta generando un stress hídrico que disminuye la germinación (Bernardo *et al.*, 2000b), afecta la conductividad de los estomas, la expansión, el crecimiento de la hoja y la fotosíntesis (Cramer *et al.*, 2001; West *et al.*, 1986; Yeo *et al.*, 1985), la acumulación de materia seca y el área foliar (Bernardo *et al.*, 2000a).

3-Antecedentes en el área de estudio

En la región semiárida donde los rendimientos de los cultivos están regidos principalmente por las precipitaciones, la presencia de napa freática a profundidad accesible para la raíces adquiere gran relevancia por su potencial contribución al aumento de los rendimientos (Martínez Alvarez *et al.*, 2005). Durante períodos, de sequía la capacidad de extraer agua del suelo depende de la uniformidad y profundidad del sistema de raíces. Hay evidencias que muestran diferencias intra e inter específicas sobre este atributo (Dardanelli *et al.*, 1997). Para suelos Haplustoles énticos y cultivos anuales, la mayor capacidad de exploración fue la medida para el cultivo de girasol que llegó hasta los 290 cm de profundidad para un cultivar de 105 días de ciclo y 250 cm para otro de 95 días de ciclo. En el caso de Soja también se encontraron diferencias de capacidad de exploración entre variedades, midiéndose profundidades de 230 cm para una variedad grupo VII, 190 cm para una variedad del grupo V y 130 cm para una variedad del grupo III. En cultivo de Maní se trabajó sobre una variedad runner de 155 días de duración de ciclo para la cual se halló una profundidad máxima de 150 cm (Dardanelli *et al.*, 1997).

Mediante el uso mapas de rendimiento y de nivel freático, en suelos Haplustoles énticos del sur de Córdoba, Nosetto *et al.*, (2009), obtuvieron modelos empíricos de relación napa/rendimiento para dos años de características pluviométricas contrastantes y encontraron que, para una variedad de Soja de grupo 4.8, la profundidad óptima de la napa, donde se generan los mayores rendimientos, está en el rango entre 120 a 220 cm, obteniéndose rendimientos 1,8 veces mayores respecto de las zonas con napa por debajo de los 400 cm. Los rendimientos en los ambientes con napa por encima del umbral de 120 cm, disminuyen en promedio 230 kg/ha por cada 10 cm que se incrementa la superficialidad del agua freática. Este trabajo mostró además que, para el cultivo de maíz de ciclo completo (largo), la profundidad óptima de la napa donde se generan los mayores rendimientos, está en el rango entre 140 a 245 cm, obteniéndose rendimientos 3 veces mayores respecto de las zonas con napa por debajo de los 400 cm. Los rendimientos en los ambientes con napa por encima del umbral de 140 cm, disminuyen en promedio 650 kg/ha por cada 10 cm que se incrementa la superficialidad del agua freática. Y por último para el caso de cultivo trigo se halló que la profundidad óptima de la napa, donde se generan los mayores rendimientos, está en el rango entre 70 a 165 cm, obteniéndose rendimientos 3,7 veces mayores respecto de las zonas con napa por debajo de los 400 cm. Los rendimientos en los ambientes con napa por encima del umbral de

70 cm, disminuyen en promedio 80 kg/ha por cada 10 cm que se incrementa la superficialidad del agua freática.

Comparando mapas de rendimiento y de profundidad de napa, al sur-este de la provincia de San Luis, para suelos Ustipsamment típicos y Soja del grupo 5.2, se encontró que los mayores rendimientos se obtenían con profundidades de napa entre 150 a 250 cm y que a profundidades menores de 125 cm el rendimiento disminuía de forma gradual (Bollati, 2007).

Cisneros *et al* (2004) han establecido que las tierras aptas para Maní deben tener la napa por debajo de 100 cm de profundidad al momento de elegir el lote (finales del invierno). Se encontró además que, entre 100 y 150 cm de profundidad la producción es factible (con posibles problemas de anegamiento para la recolección), entre 150 y 250 cm de profundidad se obtiene el mayor potencial agrícola (hay un importante aporte de agua desde la napa), y que mas allá de los 250 cm de profundidad no hay influencia para el cultivo, citado en Cisneros *et al* (2006).

Al sur de la provincia de Córdoba se han observado y medido respuestas a las profundidades freáticas para cultivo de girasol sobre suelos Haplustoles énticos. En este trabajo se obtuvo un modelo empírico que muestra que, con napa a 150 cm de profundidad se obtienen los mayores rendimientos, estos son 15% superiores a los obtenidos con napa a 220 cm de profundidad, los cuales superan nuevamente 15% a los obtenidos con napa a 320 cm de profundidad, siendo estos últimos 47% más altos que los obtenidos con napa a mas de 400 cm de profundidad (Sainz, 2009).

Al oeste de la provincia de Córdoba, Depto. Roque Saénz Peña, dentro de la Pampa medanosa anegable, en la zona de Laboulaye, sobre un suelos Hapustol udorténtico, con napa freática en el rango de 135 a 185 cm de profundidad y una Soja del grupo 3.7, se obtuvieron rendimientos cercanos al potencial del cultivo (Videla Mensegue, 2006).

Los esfuerzos llevados adelante por los distintos investigadores han dado respuesta a algunos interrogantes sobre la relación entre los cultivos y la napa freática. A pesar de esto, no se encuentran trabajos en la bibliografía actual que cuantifiquen la respuesta del cultivo de Maní a la profundidad y calidad del agua de la napa. Sobre la relación entre la freática y el cultivo de Soja es posible encontrar mayor cantidad de información, de todas maneras el comportamiento de cultivares de Soja con distintos ciclo de madurez bajo condiciones de profundidad y calidad de agua similares es aun un interrogante.

III. Hipótesis del Trabajo

Los cultivos de Soja y Maní tienen capacidad para tomar agua de la napa freática y expresarla en rendimiento, dentro de ciertos límites de profundidad y salinidad.

Las respuestas en rendimiento de los diferentes grupos de madurez del cultivo de Soja a la profundidad de la napa son variables.

La conductividad eléctrica del agua de la napa es variable dependiendo del consumo del cultivo y de la recarga por lluvias.

La profundidad del agua freática varía en los distintos períodos fenológicos de los cultivos, dependiendo de la condición climática (balance hídrico), de la unidad de paisaje y para el caso de la Soja, del grupo de madurez implantado.

El cultivo de Maní y los dos grupos de madurez de Soja (DM 4210 y DM 5.5i) presentan distintos potenciales de aprovechamiento de la napa, generando diferentes depresiones de la misma.

La variedad de soja de ciclo más largo (DM 5.5i) puede explorar el suelo más profundamente y extraer mayor cantidad de agua de napas profundas, que aquella de ciclo más corto (DM 4210).

La profundidad de la napa es un factor que puede tener efectos en el crecimiento y desarrollo de las plantas y con esto en la capacidad de intercepción de la luz. Y puede además, ser un factor que genere variaciones en el peso de los granos de Soja y el tamaño de granos de Maní (calidad comercial).

IV. Objetivos

Generales:

Estudiar la respuesta de los cultivos de Soja y Maní a la influencia de la napa freática en ambientes medanosos del centro-oeste argentino.

Específicos:

Desarrollar modelos empíricos de producción de Soja y Maní en relación a la profundidad de la napa para las condiciones de ambientes medanosos del centro oeste de Argentina.

Analizar el comportamiento de la napa freática en profundidad y salinidad, en relación con la ETP, lluvias, cultivos, grupos (Soja) y fenología.

Establecer la profundidad crítica a partir de la cual los cultivos se pierden por anegamiento y/o salinización del perfil.

Aportar elementos de análisis y predicción de comportamiento de cultivos para incorporar en herramientas de manejo sitio específico o por ambiente.

V. Materiales y Métodos

1-Sitio experimental

Estancia El Rosario se encuentra ubicado entre las localidades de Del Campillo y Villa Valeria, 8 km al norte de la antigua Estación De la Serna, en el extremo oeste de la pedanía Necochea, Depto. Gral. Roca, sur de la provincia de Córdoba (Latitud Sur: $34^{\circ}19'28''$ - Longitud Oeste: $64^{\circ}40'27''$) (Figura 1). La parcela donde se emplazó el experimento está descrita dentro la serie de suelos El Yarará (Tassile *et al.*, 2001) (Figura 2).



Figura 1: Localización de los ensayos.

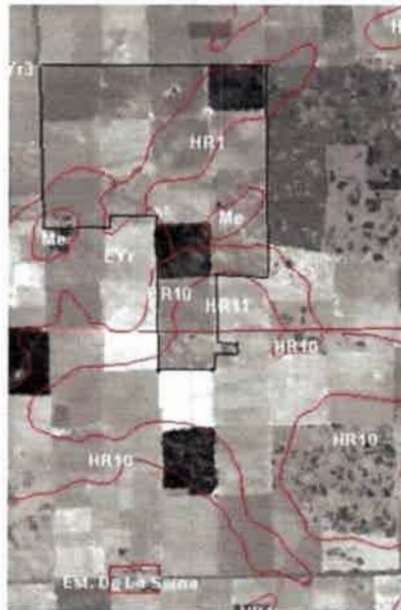


Figura 2: Plano del campo sobre el mapa de la carta de suelos (Tassile *et al.*, 2001).

2- Características fisiográficas y climáticas de la región de estudio

Dentro de la descripción fisiográfica de la provincia de Córdoba, la zona de estudio se encuentra ubicada en la Pampa Medanosa al sudoeste de la provincia de Córdoba (Figura 3). Esta subregión provincial está constituida principalmente por materiales franco arenosos y arenosos de origen eólico. El relieve es generalmente ondulado o suavemente ondulado de lomas y lomas medanosas con drenaje excesivo. La red de drenaje se encuentra representada por el curso permanente del río Popopis que la atraviesa en su parte norte y por algunas pequeñas corrientes semipermanentes en el sudoeste. La dinámica erosiva eólica de esta subregión es muy alta, con importantes acumulaciones de médanos activos en la parte norte (Gorgas y Tassile, 2006).

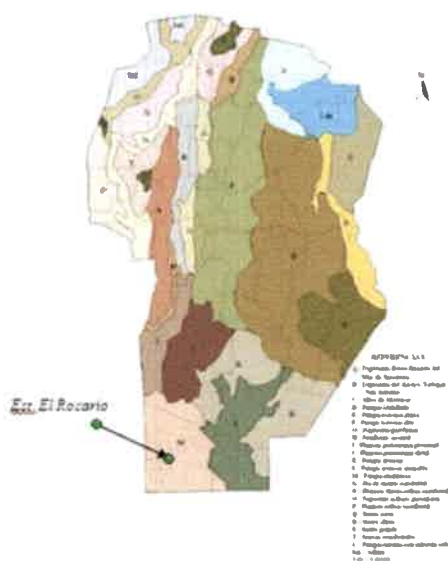


Figura 3: Ambientes geomorfológicos de la provincia de Córdoba (Gorgas y Tassile, 2006).

Esta región se caracteriza climáticamente por dos regímenes:

2.1. Régimen térmico: La temperatura media del mes más cálido es de 24 °C y la del mes más frío de 8 °C, generando una amplitud térmica anual de 16 °C, amplitud relativamente baja para la ubicación mediterránea del lugar. La sumatoria de horas térmicas es de 2600 grados/días y las fechas medias de ocurrencia de primeras y últimas heladas son el 15/05 y 17/09 respectivamente, determinando un período libre de heladas de 230 días al año (Gorgas y Tassile, 2006; UPSIIA, 2008).

2.2. Régimen hídrico: La precipitación (pp) media anual anual ronda los 600 mm y se caracteriza por tener un comportamiento monzónico donde la mayor parte de las precipitaciones ocurren desde mediados de la primavera hasta mediados del otoño y con escasas precipitaciones durante el semestre más frío del año (Gorgas y Tassile, 2006; UPSIIA, 2008).

La media anual de precipitaciones para Del Campillo desde 1901 al 2006 es de 693 mm (Figura 4). El promedio hasta la década del 80 fue de 637 mm y a partir de allí se incrementó a 877 mm, el mínimo se registró en el año 1929 con 271 mm, mientras que el máximo fue de 1305 mm en el año 2004, determinando una amplitud de 1034 mm y un desvío estándar de 219,4 mm. En el gráfico se indican las precipitaciones medias mensuales del período 1901-2006 (IPEM 219 Enrique Cook, Del Campillo).

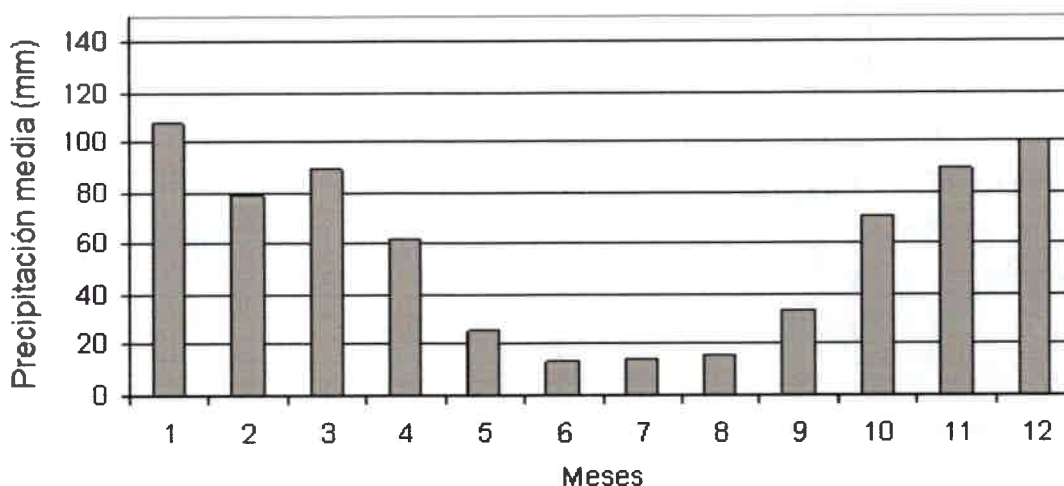


Figura 4: Precipitaciones medias para Del Campillo serie 1901-2006.

El balance hídrico (Thornthwaite y Mather, 1957) para Del Campillo que se observa en la carta de suelos del Depto. Gral. Roca (Tassile *et al.*, 2001) indica que la evapotranspiración potencial anual es de 855 mm/año y la real es de 685 mm/año generando un déficit de 170 mm/año (Tabla 1).

Tabla 1: Balance Hidrológico mensual de Thornthwaite para Del Campillo.

MESES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
Temperatura media (°C)	22.7	23.2	19.3	15.5	12.2	8.5	7.0	10.0	13.7	15.6	22.3	21.6	16.0
ETP (mm)	143	121	86	49	29	14	11	24	45	67	131	135	855
Precipitación (mm)	103	79	88	59	24	13	13	16	33	69	89	99	685
Almacenaje	8	6	8	20	19	19	21	20	18	20	15	11	
ETR (mm)	106	82	86	49	24	13	11	17	34	67	94	102	685
Déficit (mm)	37	39	0	0	5	1	0	7	11	0	37	33	170
Exceso (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Los balances hidrológicos antes mencionados y sus déficits tienen validez para suelos bien drenados y con capa freática fuera del alcance de las raíces. Para suelos con influencia de napa, en el balance entran en consideración los aportes de las precipitaciones, de la freática y otras fuentes como, los escurrimientos superficiales e hipodérmicos, todo lo cual define un balance positivo durante la mayor parte del año (Cisneros *et al.*, 1997; Videla Mensague, 2006).

3-Diseño experimental

Se realizaron 3 ensayos experimentales uno por cada cultivo (3 cultivos), con diseño en parcelas apareadas con 5 tratamientos y 3 repeticiones. Cada cultivo (Maní, Soja DM 4210 y Soja DM 5.5i) se emplazó siguiendo una transecta de suelos y se ubicó un freatómetro en cada uno de los tratamientos:

- a. T1: bajo (napa a menos de 100 cm),
- b. T2: bajo intermedio (napa entre 100 y 150 cm),
- c. T3: media loma (napa entre 150 y 200 cm),
- d. T4: loma intermedia (napa entre 200 y 300 cm) y
- e. T5: loma (napa a más de 300 cm).

Para el caso de Maní se emplazó un solo ensayo, ya que se trata de un solo cultivar. Mientras que en el caso de Soja las parcelas se repitieron para cada variedad, con lo cual el diseño involucra 2 ensayos en parcelas apareadas con 5 tratamientos y 3 repeticiones.

El manejo de cada tratamiento fue el mismo, tanto fecha de siembra, distancia y densidad, variando solo los grupos en el caso del cultivo de Soja.

Maní: Implantación y controles fitosanitarios

La implantación del Maní se realizó el día 18 de octubre del año 2010 con sembradora Fercam de 12 surcos a 70 cm de distanciamiento, sistema de placa tarja e inoculación líquida en la línea de siembra. La densidad de semillas fue de 228.000 semillas/hectárea, inoculadas con Nitrasoil®. Se lograron 200.000 plantas/ha. La variedad utilizada fue Granoleico de "Criadero El Carmen". El arrancado del cultivo se realizó el día 16 de abril del año 2011, teniendo este último en consecuencia 174 días desde siembra hasta arrancado. En la Tabla 2 se detallan los controles fitosanitarios realizados.

Tabla 2: Controles fitosanitarios en el cultivo de Maní

20/08/10	Barbecho: Glifosato 48% (2500 cm ³ /ha) + 2,4D amina 60% (400 cm ³ /ha) + Sumisoya (50 cm ³ /ha)
18/10/10	Siembra.
23/10/10	Pulverización: Glifosato 48% (3500 cm ³ /ha).
05/11/10	Pulverización: Imazapic 70% (85 gr/ha) + 2,4DB 100% (300 cm ³ /ha) + Clorpirifós 48% (500 cm ³ /ha)
27/12/10	Pulverización: Diclosulan 84% (17 gr/ha) + 24DB 100% (300 cm ³ /ha)
20/01/11	Pulverización: Clorpirifós 48% (500 cm ³ /ha)

30/01/11	Pulverización: Clorpirifós 48% (500 cm ³ /ha) + Carbendazim 25% y Tebuconazol 10% (1200 cm ³ /ha)
04/02/11	Desyuyado manual
28/02/11	Pulverización: Pyraclostrobin 13,3% y Epiconazole 5% (750 cm ³ /ha) + Dimetoato 37,6% (700 cm ³ /ha)
16/04/11	Arrancado

Soja: Genotipos, implantación y controles fitosanitarios

Se sembraron aproximadamente 20 has de los grupos 4.2, variedad DM 4210 y 5.5, variedad DM 5.5i.

La implantación de ambas variedades se realizó el 02/11/10 con sembradora Crucianelli de 14 surcos a 52,5 cm de espaciamento entre surco y sistema de distribución a placa. La semilla fue inoculada y tratada (Tiram + Carbendazim) antes de la implantación. La densidad de siembra elegida fue de 380.000 semillas/ha y se lograron, de manera uniforme 358.000 plantas/ha para las dos variedades. Todas las labores en las dos variedades se realizaron en el mismo momento a excepción la de cosecha (Tabla 3).

Tabla 3: Controles fitosanitarios en el cultivo de Soja

10/09/10	Barbecho: Glifosato 48% (3000 cm ³ /ha) + 2,4D amina 60% (500 cm ³ /ha)
02/11/10	Siembra.
05/11/10	Pulverización: Glifosato 48% (3500 cm ³ /ha) + Clorpirifós 48% (500 cm ³ /ha)
12/12/10	Pulverización: Glifosato 48% (3500 cm ³ /ha + Haloxyfop-R-metil éster 3,11% (1500 cm ³ /ha)
27/12/10	Pulverización: Pyraclostrobin 13,3% y Epiconazole 5% (500 cm ³ /ha) + Clorpirifós 48% (600 cm ³ /ha) + Aceite de Soja (800 cm ³ /ha)
29/03/11	Cosecha: DM 4210
14/04/11	Cosecha: DM 5.5i

4-Observaciones y mediciones realizadas durante el estudio

4.1. Variables climáticas

Se colocaron pluviómetros en cada uno de los lotes afectados al trabajo. El resto de los datos climáticos necesarios se obtuvieron de la carta de suelo del Depto. Gral. Roca (Tassile *et al.*, 2001).

4.2. Variables edáficas

4.2.1. Caracterización morfológica del suelo

Para llevar adelante la caracterización de suelos, se realizaron calicatas en cuatro de las cinco unidades de paisaje que definen los tratamientos de la parcela destinada a cultivo de Maní (T1, T3, T4, T5, no se realizó calicata en T2 asumiéndose similitud con T3, este último es considerado en adelante como el perfil típico de suelo). Siguiendo las normas de reconocimiento de suelos (Etecheverehere, 1976) se identificaron los tipos de suelo con sus horizontes característicos.

En cada una de las calicatas se realizó la descripción morfológica y se tomaron muestras para determinar contenido de agua, NO₃, MO, pH y P.

4.2.2. Caracterización de la textura del perfil típico

Las muestras de los horizontes del perfil típico fueron llevadas a laboratorio y mediante el método de Hidrómetro (Modificado por Day- 1965 y ASTM 1985) se obtuvo su textura.

4.2.3. Estimación de la densidad aparente del los horizonte (PEA)

Por cada uno de los horizontes determinados en el perfil típico se estimó el PEA mediante el método de cilindro (Klute y Dirksen, 1986) por triplicado.

4.2.4. Capacidad hídrica de los distintos horizontes del perfil típico

Con las texturas de los horizontes del perfil típico obtenidas en laboratorio y mediante el uso de SPAW Model - Soil Water Characteristics (USDA-NRCS, 2007), se obtuvieron la capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP) de los distintos horizontes.

4.2.5. Caracterización química y biológica inicial del suelo

Se tomaron muestras de suelo de los distintos horizontes y se estimaron MO, NO₃, pH y P, disponibles a la siembra por horizonte (Tabla 4).

Tabla 4: Métodos para determinaciones en laboratorio.

Materia Orgánica (%MO).	Walkley-Black. Escala Semi-Micro. Determinación de Carbono Orgánico Oxidable por mezcla SulfoCrómica en suelos. IRAM-SAGPyA 29571-2.
Fósforo (P)	Bray y Kurtz N°1. Extracción con Solución de Fluoruro de amonio-Acido Clorhídrico. IRAM-SAGPyA29570-1.
Nitratos (N-NO ₃)	Método de Extracción con sulfato de Cobre y determinación colorimétrica del ácido fenoldisulfónico. SAT4. Asociación Argentina e la Ciencia del Suelo (AASC)
pH	Potenciométrica. IRAM 29410. (Agua 1:2.5)

4.2.6. Agua del suelo

Se estimó el contenido de humedad gravimétrico y volumétrico del perfil de suelo hasta la napa antes de la siembra y al momento de cosecha para cada uno de los tratamientos. Estos datos se usaron para hacer los gráficos de humedad del perfil y los balances de agua de cada uno de los cultivos y tratamientos.

4.2.6.1. Estimación de humedad del perfil de suelo

Ante de la siembra y al momento de cosecha, se tomaron muestras de suelo cada 20 cm hasta la napa freática para obtener el contenido de humedad gravimétrico de los distintos horizontes. Las muestras fueron colocadas en recipientes de aluminio, registrado su peso húmedo, y secadas en estufa a 105°C hasta peso constante (72 h). Luego se calculó la humedad gravimétrica (g.g^{-1}) para cada horizonte. Con los datos de humedad gravimétrica y la densidad aparente del suelo (PEA), se calculó la humedad volumétrica ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$). A partir de esta última se estimó la lámina de agua en mm con la que se calcularon las eficiencias de uso de agua de cada capa de suelo.

La humedad de suelo a saturación (napa), se estimó calculando la cantidad total de poros del suelo y considerando que todos ellos se encuentran saturados con agua. Para esto se utilizaron las densidades de suelos (PEA) calculadas a campo y la densidad real de suelo (PER) para suelos con menos de 1% de materia orgánica (De Leeneher y De Boodt, 1965; De Leeneher, 1976) en Rucks *et al.*, (2004).

4.2.6.2. Estimación del frente capilar de humedecimiento

El frente capilar de humedecimiento se encuentra inmediatamente por encima del nivel freático y se caracteriza porque todos los intersticios están ocupados por agua sujeta a fuerzas capilares, que asciende desde la zona saturada inferior a una altura tanto mayor cuanto mayor sean estas fuerzas (Martín Sánchez *et al.*, 2012; UNESCO, 2012).

Para estimar el espesor del frente capilar de los suelos estudiados, se utilizaron los valores de CC y PMP volumétrica a más de 130 cm de profundidad. Estos valores fueron estimados con SPAW Moldel (USDA-NRCS, 2007) en los tratamientos T4 y T5 al momento de la cosecha. Esta elección de tratamientos y momento, se debió a la fuerte sequía durante el ciclo de los cultivos, lo que secó el perfil y a la distancia entre el nivel freático y la superficie del suelo, lo que aisló el frente de humedecimiento de la influencia de precipitaciones ocurridas al final del ciclo de los cultivos.

4.2.6.3. Estimación de los aportes de la capa freática a los cultivos

Se estimó la evapotranspiración real (ETR) de los cultivos sobre la base de un balance hídrico sencillo que incorporó precipitación durante el ciclo del cultivo, humedad del suelo a la siembra y a la cosecha (Cerioni, 2003). Se asumió que no hubo escorrentía debido a la textura arenosa, y a que no ocurrieron precipitaciones intensas.

Por diferencia entre la evapotranspiración real y el aporte de humedad edáfica se estimó la contribución de la capa freática a los cultivos.

Para determinar la humedad aportada por el suelo se consideró que, el porcentaje de humedad de T5 (loma con NF inicial a más de 300 cm) era igual al contenido de agua del suelo sin aportes de la freática. Por tanto, mediante aritmética sencilla se sustrajo el contenido de agua en T5 a cada uno de los tratamientos y se obtuvo como resultado el aporte de agua de la napa al perfil.

4.2.6.4. Aportes de la capa freática y la eficiencia de uso de agua (EUA) a distintas profundidades de exploración de raíces de los cultivos

Las raíces de los principales cultivos extensivos tienen una gran capacidad exploratoria a través de todo el perfil de suelo, aunque la mayor densidad se encuentre en los primeros centímetros del mismo. La profundidad máxima de enraizamiento coincide normalmente con el momento de llenado de grano para los distintos cultivos y posee un rango muy amplio que va desde los 150 cm hasta los 300 cm (Borg y Grimes, 1986) citado por Andriani, (2000).

Debido a la dependencia entre la eficiencia de uso de agua (EUA) de la condición climática y del manejo de cultivo, puede encontrarse en la bibliografía un amplio rango de EUA para cultivos con adecuada disponibilidad hídrica, ya que la misma es modificada por todas las variables que afectan el rendimiento y/o el consumo (Della Magiora *et al.*, 2000).

Se simuló distintas profundidades de exploración de raíces de los cultivos y utilizando los datos de aporte de humedad edáfica, ETR y contribución de la napa del punto anterior (4.2.6.3), se calcularon, el consumo de la napa por parte de los cultivos (consumo del NF), la contribución porcentual de la napa al total de los milímetros evapotranspirados y EUA (Kg de grano/ha.mm) para tres profundidades diferentes (160 cm, 180 cm y 200 cm) en todos los cultivos, y para el caso de la Soja de ciclo más largo (DM 5.5i) se agregó una profundidad más al análisis (220 cm), ya que esta última debido a la longitud de su ciclo podría presentar mayor profundidad de raíces (Dardanelli *et al.*, 1997).

4.2.7. Conductividad eléctrica del extracto saturado de suelo

Una vez secadas las muestras del perfil de suelo hasta la napa para obtener sus porcentajes de humedad, las mismas fueron procesadas para obtener la conductividad eléctrica mediante el método de *Suspensión de Suelo Agua 1:1* (Smith y Doran, 1996). Estas fueron luego llevadas a conductividad de extracto saturado multiplicándolas por un factor de ajuste 3 (Richards, 1973).

4.3. Monitoreo de agua subterránea

Comenzando desde la siembra y durante todo el ciclo de los cultivos se midió la profundidad y la conductividad eléctrica (conductímetro: Milwaukee C62, rango de medición 0-20 dS/m) de la napa en cada freatímetro con una periodicidad de 14 días.

Los freatímetros estuvieron compuestos por caños de PVC de una pulgada enterrados 100 cm por debajo del nivel de agua libre (Figura 5).

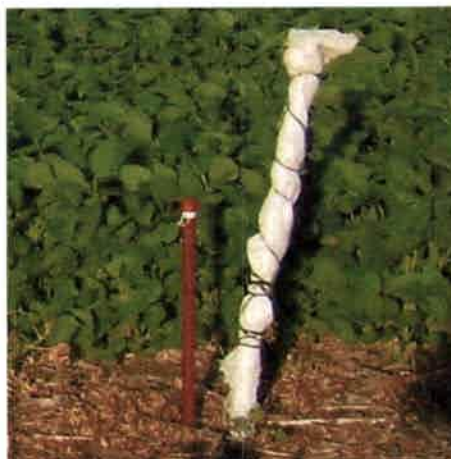


Figura 5: Vista de un freatímetro sobre la superficie del suelo.

4.4. Características del cultivo.

4.4.1. Maní Granoleico:

Tipo botánico Virginia y comercial Runner. Es un Maní de ciclo completo, 155 – 170 días desde siembra hasta arrancado. En cuanto a porte, tamaño de folíolos, color de folíolos, color del tegumento (rosado), y demás caracteres fenológicos, no varía de lo que es un típico botánico Virginia y comercial Runner (Moresi, 2010). No tiene variaciones agronómicas significativas con su parental más cercano y conocido, variedad Teguá. Su principal característica, es que tiene por arriba de 75% de ácido oleico, haciéndolo muy estable a la oxidación (Soave, 2006).

4.4.2. Don Mario 4210

Soja de grupo 4 corto indeterminado. Se estiman 135 días de emergencia a R8 (Don_Mario, 2010).

4.4.3. Don Mario 5.5i

Soja de grupo 5 medio indeterminado. Se estiman 182 días de emergencia a R8 (Don_Mario, 2010).

4.5. Determinaciones realizadas sobre los cultivos y los granos cosechados

Durante el periodo de desarrollo de los cultivos se midieron variables que podrían afectar los rendimientos y estar relacionadas con la profundidad de la freática.

Una vez realizada la cosecha, sobre los frutos se midieron variables que podrían estar relacionadas con la proximidad de la napa y que, en el caso de Maní, definen su valor comercial.

Las variables estudiadas se detallan a continuación:

- Densidad de plantas logradas: Se contabilizaron el número de plantas logradas por m² (3 repeticiones por tratamiento).

- Índice de sombreado de la canopia sobre el suelo: Se midieron los porcentajes de sombreado de las plantas respecto del suelo en cada una de las unidades de paisaje para diferentes etapas fenológicas de cada cultivo (Maní y Soja). Para esto se utilizó un método no destructivo en el que es necesario medir entre las 11 y las 13 hs, y que consta de una regla de 100 centímetros de largo, la cual se ubicó de forma perpendicular a los surcos y se contabilizó la cantidad longitudinal de centímetros sombreados cada 100. Luego se expresaron estos valores en porcentaje de cobertura del suelo (Cerioni, 2003).
- Fenología: Se realizó el seguimiento de la fenología en cada uno de los tratamientos definidos en la transecta de suelos, para los diferentes grupos de Soja (Fher y Caviness, 1977) y para el cultivo de Maní (Boote, 1982).
- Rendimiento: Se realizó cosecha manual de 3 repeticiones de 1 m² para cada uno de los tratamientos definidos de los distintos cultivos y genotipos (Soja). Los rendimientos obtenidos en cada una de las repeticiones fueron llevados al porcentaje de humedad base de comercialización (10,5% para Maní y 13,5% para Soja) y se obtuvo el valor medio para cada tratamiento.
- Peso de mil semillas de Soja: Se midió el peso de mil semillas para cada uno de los genotipos de Soja y los tratamientos planteados.
- Calidad comercial de Maní (SAGPyA, 2006): Una vez extraídos los frutos (cajas) de la planta, se separaron de manera manual las cascarras de los granos y se pesaron por separado para obtener la relación grano/caja. Luego de este procedimiento se pasaron los granos por una zaranda de estilo tajo de 7,5 mm, se separó el grano tipo confitería del resto y se obtuvo el porcentaje de granos confiteros de cada muestra.

5-Procesamiento y análisis de datos. Desarrollo de modelos empíricos.

Los datos de comportamiento de cada cultivo para cada tratamiento se compararon mediante análisis de la varianza (ANAVA), test de Fisher, y se comprobaron los tres supuestos de ANAVA: Normalidad (Shapiro-Wilks modificado), Homogeneidad de la varianza (Test de Levene) e independencia (Balzarini *et al.*, 2011), mediante el uso de Infostat versión 2011 (Di Rienzo *et al.*, 2011), donde se validaron las hipótesis de efectos de la napa.

La profundidad de napa utilizada en los modelos fue, el nivel freático (NF) promedio de todas las mediciones realizadas en los freátímetros, desde la siembra hasta la cosecha.

Con los datos de variables del cultivo vs profundidad de napa se desarrollaron diferentes modelos de regresión (Nosetto *et al.*, 2009; Sainz, 2009) por cultivo y por variedad para el caso de la Soja. Se testearon modelos polinomiales (cuadráticos) exponenciales (logarítmicos), lineales-planos (mixto) y lineales, obteniéndose los mejores resultados con estos últimos.

Con información climática (precipitación y ETP de Thornthwaite) e información sobre la oscilación de las napas, se desarrollaron modelos empíricos de comportamiento de la profundidad freática para las condiciones de suelo del área de estudio. El modelo de comportamiento de nivel freático es un modelo empírico que relaciona la ETP de

Thornthwaite para el lugar y las precipitaciones ocurridas, para obtener un balance hídrico y de acuerdo a este balance genera una predicción del aumento o la disminución del nivel freático. Para hacer la predicción se asume una precipitación efectiva del 100% y que la ETP y la ETR son iguales (Cisneros, 1994; Cisneros *et al.*, 1997).

La base del modelo es la siguiente:

$$\text{Var NF} = a * (\text{PPT} - \text{ETP}) + b$$

donde:

Var NF = variación del NF entre 2 mediciones consecutivas

PPT – ETP = balance hídrico estimado entre 2 mediciones consecutivas

a = porosidad drenable (parámetro que depende de las condiciones del suelo).

b = parámetro de ajuste de estadístico de la regresión

La bondad de ajuste del modelo se analizó mediante el coeficiente de determinación de la regresión (R^2).

Se evaluaron las diferencias de nivel freático entre variedades para verificar la hipótesis de diferentes grados de depresión de napa (Angeli, 2006) y aprovechamiento por el cultivo, en función del ciclo.

Se correlacionaron los datos de profundidad y salinidad de napa para verificar efectos de dilución-concentración y analizar posibles efectos sobre el cultivo.

VI. Resultados y Discusión

1- Condiciones meteorológicas durante el ciclo del cultivo

La condición climática dominante durante el período de estudio, fue el fenómeno de “La Niña”. Este constituye la fase fría del fenómeno “El Niño Oscilación del Sur”, encontrándose asociada a un incremento de la intensidad de los vientos alisios ecuatoriales y a un enfriamiento del Océano Pacífico Ecuatorial. Los episodios bien desarrollados generan lluvias por debajo de lo normal desde Noviembre hasta Marzo en vastos sectores incluida la Región Pampeana. El episodio de “La Niña” que afectó la campaña agrícola 2010/2011 observó un desarrollo significativamente superior a la media por lo que fue calificado como uno de los más intensos de las últimas décadas (Sierra 2011).

Las precipitaciones totales entre julio 2010 y junio 2011 fueron de 471 mm, muy por debajo del promedio anual del campo entre 1961 y 2011 que es de 800 mm/año (Figura 6). Las precipitaciones entre Noviembre y Marzo de la campaña 2010/2011 fueron de 220 mm, muy por debajo de los 552 mm promedio de la serie 1961/2011, confirmando planteado por Sierra, (2011) (Fuente: Datos pluviométricos Estancia El Rosario).

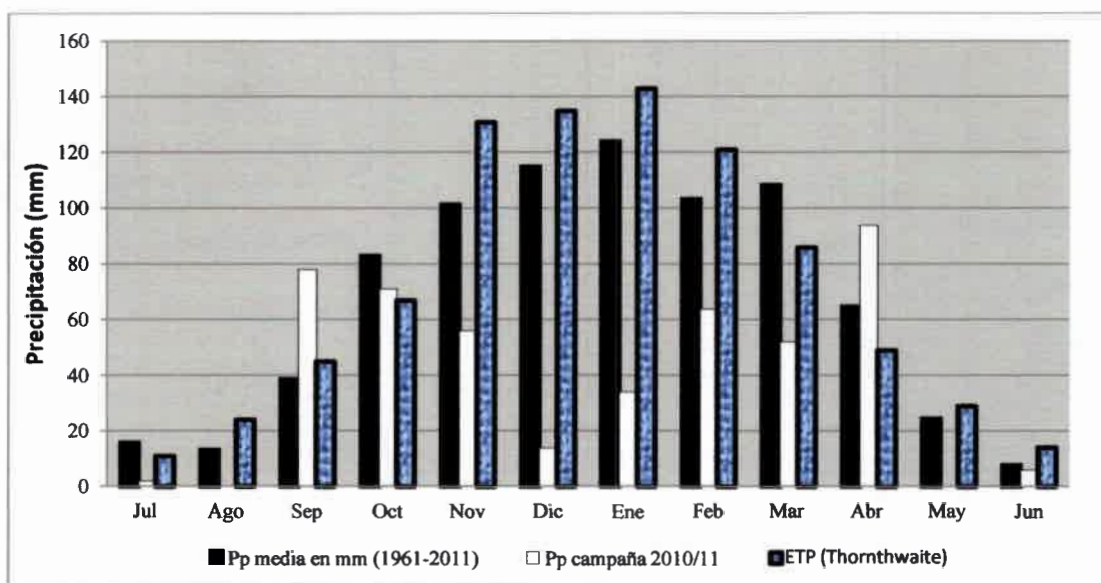


Figura 6: Precipitaciones medias del lugar (1961-2011), precipitaciones (2010-2011) y ETP (Thornthwaite).

Las magras precipitaciones ocurridas durante gran parte del ciclo y fundamentalmente durante los periodos de mayor demanda, tanto atmosférica como de los cultivos, hicieron que los mismos debieran valerse fundamentalmente del agua del suelo y del aporte de la napa freática para desarrollarse y generar rendimiento.

Las características climáticas del año fueron muy buenas para validar las hipótesis sobre la respuesta de los cultivos a la influencia de napa freática somera.

2- Caracterización de suelos

2.1. Morfología

A pesar de que cada una de las cinco parcelas donde se llevaron adelante los ensayos se ubicó en una unidad de paisaje diferente, los suelos fueron muy similares entre sí (Figura 7). Estos fueron contrastados con los de la carta de suelos del Depto. Gral. Roca (Tassile *et al.*, 2001), observándose similitud entre los mismos. Se describe a continuación el perfil del tratamiento 3 (T3) que es considerado de aquí en adelante como el perfil típico (Figura 8). En anexo se encuentran el resto de los perfiles de los suelos, con el espesor de cada uno de sus horizontes (Figuras 43, 44, 45).



Figura 7: Vista del paisaje desde T5 hacia T1



Figura 8: Vista del perfil típico (T3).

Suelo Haplustol éntico tentativo

Horizontes:

A: 0-27 cm.

Color pardo grisáceo muy oscuro en húmedo; areno franco; estructura en bloques subangulares débiles; friable en húmedo; no plástico; no adhesivo; límite inferior claro, suave.

AC: 27-76 cm.

Color pardo oscuro en húmedo; areno franco; estructura masiva a bloques muy débiles; muy friable en húmedo; no plástico; no adhesivo; límite inferior gradual, suave.

C: 76-125 cm.

Color pardo amarillento oscuro en húmedo; areno franco; masivo a grano simple; muy friable en húmedo; no plástico; no adhesivo.

Ck: + 125

Color pardo amarillento oscuro en húmedo; areno franco; masivo a grano simple; muy friable en húmedo; no plástico; no adhesivo.

2.2. Características texturales, densidad aparente y capacidad hídrica del suelo

El suelo estudiado tiene una textura homogénea, sin horizontes restrictivos para el normal desarrollo de raíces. Los altos porcentajes de arena y bajos porcentajes de limo y arcilla permiten una buena infiltración de las precipitaciones en detrimento del almacenaje de agua (Tabla 5). Las constantes hídricas obtenidas con SPAW Model (USDA-NRCS, 2007) para suelos con esta textura, indican que la cantidad de agua útil (CAU) en este tipo de suelos esta en el orden de los 140 mm hasta los 200 cm de profundidad. Debido al alto contenido de agua del suelo al momento tomar las muestras para realizar los PEA, se obtuvieron muestras hasta los 50 cm de profundidad y se estimó que este último era similar a los que le seguían en profundidad.

Tabla 5: Características del perfil típico

Muestra	%Arena	%Limo	%Arcilla	PEA (Tn/m ³)	CC%Vol	PMP%Vol	CAU%Vol
MANI T3 0-15	81	12	7	1,36	12,5	5,2	7,3
MANI T3 15-30	81	12	7	1,38	12,2	5,3	6,9
MANI T3 30-50	82	13	5	1,37	10,5	3,5	7,0
MANI T3 50-76	82	13	5	1,37	9,6	2,9	6,7
MANI T3 76-90	82	13	5	1,37	9,0	2,4	6,6
MANI T3 90-110	82	13	5	1,37	9,0	2,4	6,6
MANI T3 110-130	85	10	5	1,37	8,6	2,3	6,3

CC: capacidad de campo, PMP: punto de marchitez permanente, CAU: capacidad de agua útil.

Los resultados obtenidos son similares a los hallados por (Tassile *et al.*, 2001) en serie El Yará (12 km al nor-este de Del Campillo) y (Gorgas y Tassile, 2006) en La María (3 km al nor-oeste de Del Campillo).

2.3. Condición química y biológica inicial

La fertilidad física, química y biológica de los suelos, son interdependientes y tienen estrecha relación con el contenido de materia orgánica (MO) de los suelos (Tittonel, 2004). Esta variable está relacionada con el tipo de suelo, así como también con el uso y manejo del mismo, siendo un indicador del grado de deterioro (Lopez Furcade, 2007; Tittonel, 2004). Los sitios donde se llevó adelante el trabajo cuentan con una larga historia ganadera extensiva, con más de 30 años de pastura con llorones y una reciente historia agrícola que no tiene más de 15 años, la que se ha realizado principalmente bajo el sistema de siembra directa, con rotación de gramíneas y oleaginosas (Fuente: Francisco Obligado, com. pers.). Los valores de los análisis químicos realizados en los distintos tratamientos donde se llevaron adelante los ensayos arrojaron nivel altos de MO comparados con ambientes similares (Lopez Furcade, 2007; Tittonel, 2004). Los niveles de nutrientes que se obtuvieron antes de la siembra en los distintos tratamientos, no son deficitarios para ninguno de los cultivos implantados permitiendo el normal desarrollo de los mismos (Andrade *et al.*, 2000b; Bonadeo y Moreno, 2006). El pH superficial de los suelos es neutro a levemente alcalino por lo que no limita la disponibilidad de nutrientes (Bernardo *et al.*, 2003) (Tabla 6, 7 y 8). El rango de pH del suelo se ubica dentro de los valores donde se obtienen los mejores rendimientos de Maní para textura arenosa-franca (Pezzini *et al.*, 2010)(Tabla 6). Pueden observarse (Tabla 6 y 7) valores inusualmente altos de pH en los perfiles de la posiciones bajas del relieve que podrían sugerir presencia de Na de intercambio. No obstante los porcentajes de arcilla y la baja salinidad del perfil, no constituyen una limitante de jerarquía para el funcionamiento del cultivo.

Tabla 6: Análisis químicos de suelo de los tratamientos destinados a Maní.

Maní	N-NO3 ppm	MO %	pH	P ppm
MANI T1 0-15	5,32	1,92	7,68	51,8
MANI T1 15-30	6,01	1,12	8,89	45,5
MANI T3 0-15	26,82	1,93	7,05	14,7
MANI T3 15-30	10,05	1,76	7,06	5,6
MANI T4 0-15	15,81	1,28	6,93	38,5
MANI T4 15-23	10,57	0,96	6,86	9,8
MANI T5 0-15	9,42	1,76	7,54	28,7
MANI T5 15-26	16,72	1,6	6,85	14,7

Tabla 7: Análisis químico de suelo de los tratamientos destinados a Soja DM 4210.

DM 4210	N-NO3 ppm	MO %	pH	P ppm
SOJA DM 4210 T1 0-15	7,06	1,96	8,24	46,9
SOJA DM 4210 T1 15-25	5,38	0,98	7,77	20,3
SOJA DM 4210 T2 0-15	17,87	1,8	7,02	29,4
SOJA DM 4210 T2 15-25	4,76	0,82	7,52	24,5
SOJA DM 4210 T3 0-15	15,44	1,96	6,14	39,9
SOJA DM 4210 T3 15-25	8,12	0,82	6,7	28,7
SOJA DM 4210 T4 0-15	24,27	1,48	6,24	49
SOJA DM 4210 T4 15-25	9,31	0,98	6,53	9,1
SOJA DM 4210 T5 0-15	21,36	1,15	5,75	63,7
SOJA DM 4210 T5 15-25	14,33	0,16	5,9	33,6

Tabla 8: Análisis químicos de suelo de los tratamientos destinados a Soja DM 5.5i.

DM 5.5i	N-NO3 ppm	MO %	pH	P ppm
SOJA DM 5.5i T1 0-15	31,28	3,93	6,43	58,8
SOJA DM 5.5i T1 15-25	9,66	1,16	7,15	44,8
SOJA DM 5.5i T2 0-15	45,88	3,6	5,86	45,5
SOJA DM 5.5i T2 15-25	14,82	1,31	6,26	46,2
SOJA DM 5.5i T3 0-15	23,74	2,13	6,44	45,49
SOJA DM 5.5i T3 15-25	16,02	1,15	6,62	32,9
SOJA DM 5.5i T4 0-15	34,55	1,47	6,08	56
SOJA DM 5.5i T4 15-25	29,61	0,65	6,05	40,6
SOJA DM 5.5i T5 0-15	34,18	1,47	6,05	48,3
SOJA DM 5.5i T5 15-25	9,24	0,82	5,98	23,8

2.4. Agua del suelo

2.4.1. Perfil de humedad de los suelos comparada entre cultivos a la siembra y a la cosecha

Al momento de la siembra el contenido de agua del suelo en los distintos tratamientos era muy elevado debido a las altas precipitaciones ocurridas. Los perfiles de los suelos con napa más cercana tuvieron mayor contenido de humedad que aquellos con la freática más profunda. La influencia del ascenso capilar de aproximadamente 150 cm y las copiosas precipitaciones (previas al muestreo), tuvieron un claro efecto sobre el contenido de agua de los distintos perfiles (Figuras 9, 10 y 11). Para los mismos tratamientos en los distintos cultivos implantados la humedad inicial fue similar.

Al momento de la cosecha el cultivo de Maní desecó las partes más superficiales del perfil hasta un punto cercano al PMP. En el T1 es el único caso donde ningún estrato del perfil está por debajo de CC, por lo que se puede inferir que el aporte de agua subterránea existió durante todo el ciclo del cultivo. En el resto de los tratamientos comienza a notarse como, de manera gradual, a medida que se va alejando la napa de los estratos del perfil más cercanos a la superficie, van disminuyendo su contenido de humedad, hasta llegar a T5 donde el suelo está en PMP hasta los 200 cm de profundidad (Figura 9).

Los cultivares de Soja tuvieron comportamientos muy similares entre sí en lo que respecta a humedad final, incluso con distintos momentos de cosecha. En ambos casos los primeros 3 tratamientos tiene valores cercanos a CC en todo el perfil hasta llegar al frente capilar por lo que se podría inferir no tuvieron deficiencias hídricas durante el ciclo del cultivo. En los dos tratamientos restantes, a medida que la freática se aleja en profundidad se observa como el perfil va secándose hasta valores intermedios entre la CC y el PMP (Figuras 10 y 11).

Si comparamos los perfiles de suelo de los cultivares de Soja con los del cultivo de Maní podemos ver la mayor capacidad de este último para extraer agua hasta los 200 cm de profundidad (Cerioni, 2003; Uberto, 2008).

A continuación se muestran las Figuras del perfil de humedad gravimétrica del suelo antes de la siembra y a la cosecha de cada uno de los cultivos y tratamientos.

Maní: Granoleico

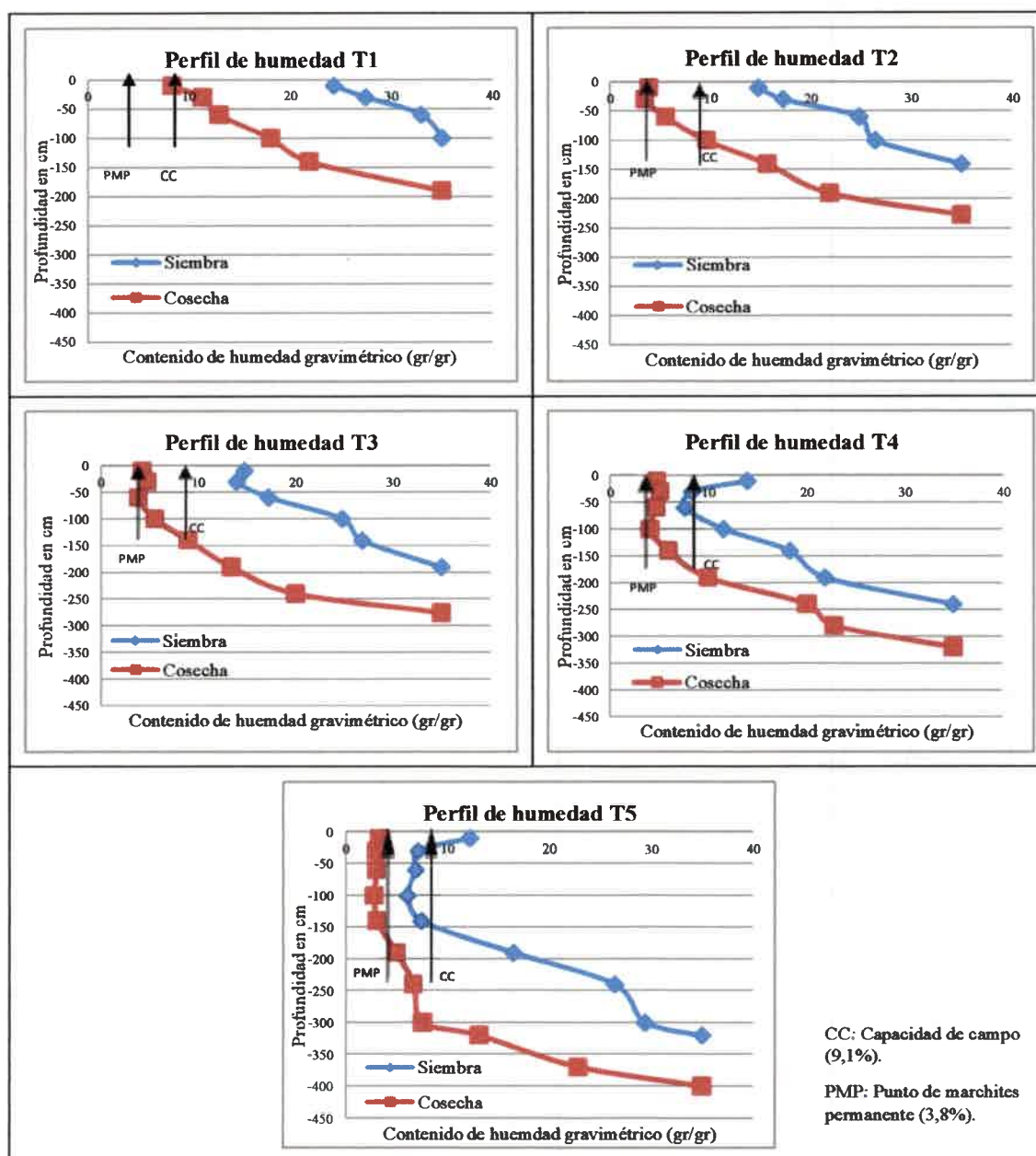


Figura 9: Contenido de humedad gravimétrica (gr/gr) del perfil de suelo en el cultivo de Maní a la siembra y a la cosecha para los distintos tratamientos.

Soja: DM 4210

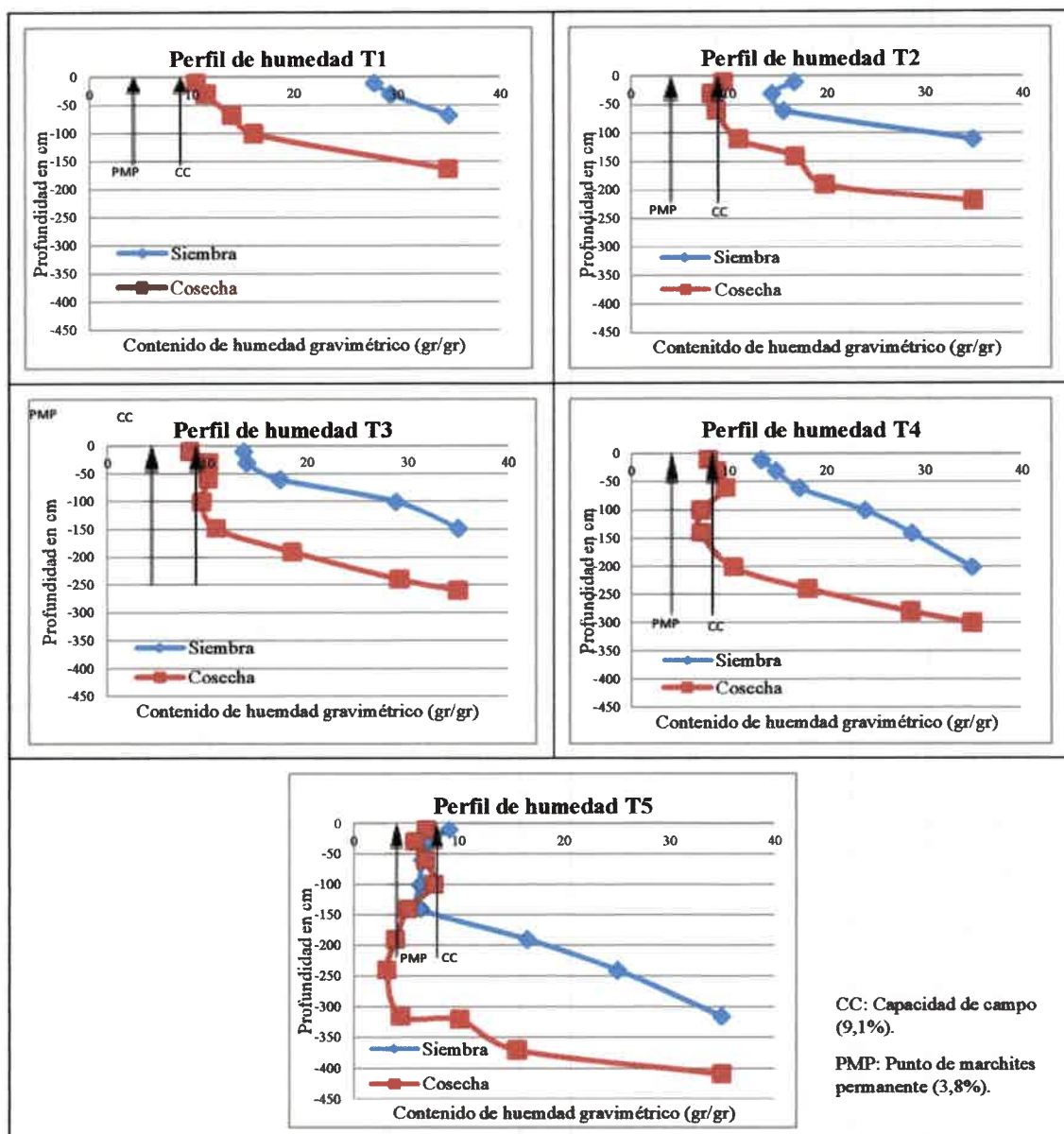


Figura 10: Contenido de humedad gravimétrica (gr/gr) del perfil de suelo en el cultivo de Soja DM 4210 a la siembra y a la cosecha para los distintos tratamientos.

Soja: DM 5.5i

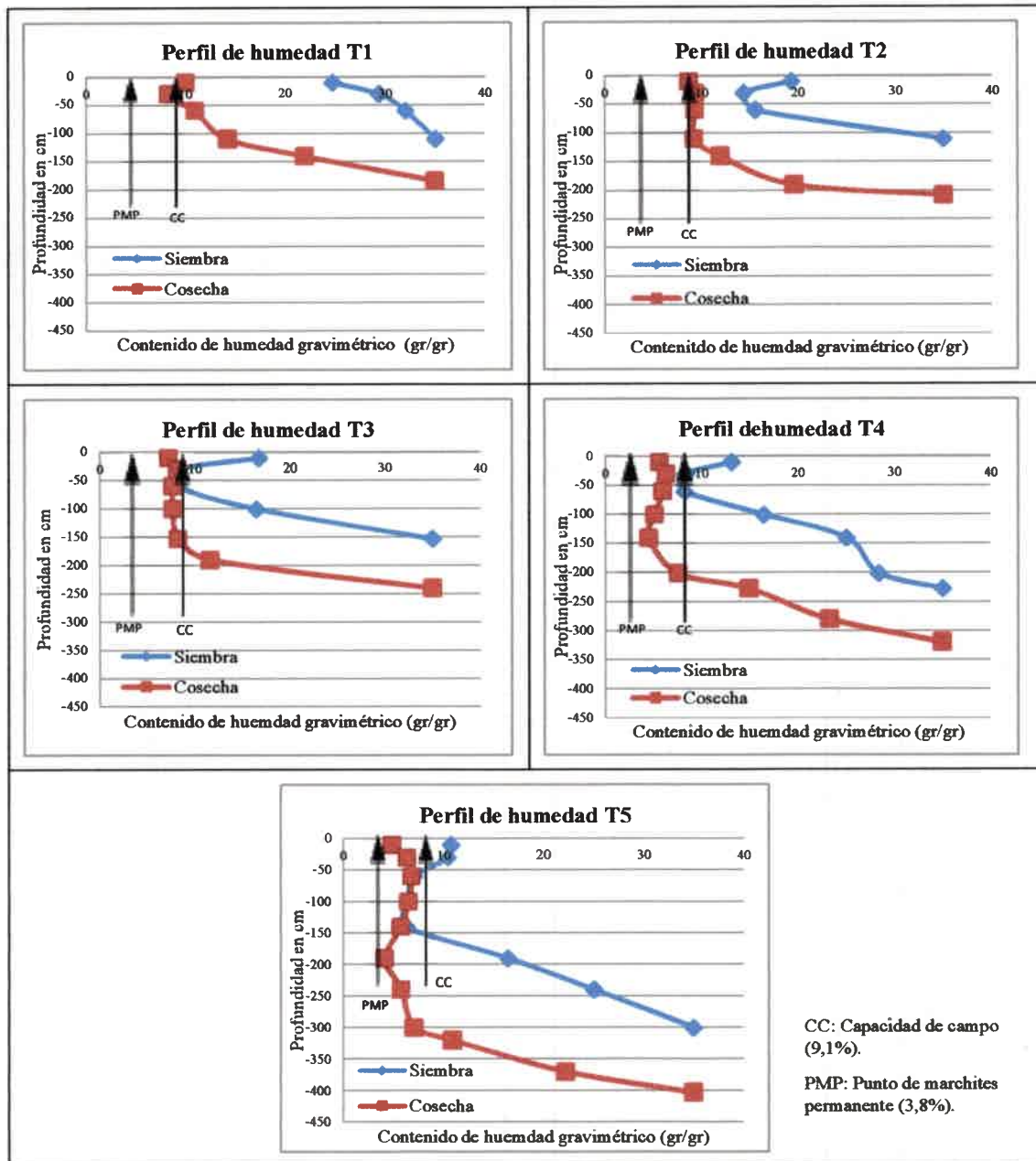


Figura 11: Contenido de humedad gravimétrica (gr/gr) del perfil de suelo en el cultivo de Soja DM 5.5i a la siembra y a la cosecha para los distintos tratamientos.

2.4.2. Determinación del frente capilar de humedecimiento

En el perfil, inmediatamente por encima de la napa freática (NF), se encuentra una capa de suelo que recibe por capilaridad humedad de ésta. Esta zona posee un contenido de humedad que oscila entre saturación (SAT) y capacidad de campo (CC), es denominado frente o franja capilar y es el lugar desde el cual las plantas extraen el agua (Baigorri y Martini, 2009).

Para estimar el espesor del frente capilar se llevaron a volumétrico los valores de humedad de suelo del punto anterior y partiendo de la CC a más de 130 cm de profundidad (7,8 %) determinada con SPAW Model (USDA-NRCS, 2007) y el contenido de agua a saturación (48 %), por un procedimiento gráfico se estimó el espesor del frente de humedecimiento de T4 y T5 a cosecha en cada una de las parcelas. Se eligieron estos tratamientos debido a que la napa freática no tiene influencia con el contenido de agua de los horizontes más superficiales y que, luego de las muy escasas precipitaciones los cultivos secaron el perfil de suelo. Por lo que los aumentos de las cantidades de agua se deberían al aporte capilar de la napa freática.

Según los datos relevados y tal como se observa en las Figuras 12, 13, 14, 15, 16 y 17 el perfil de humedecimiento tiene un espesor que oscila entre 120 y 170 cm. Estos valores son mayores a los citados por Baigorri y Martini, (2009), que se encuentran entre 80 y 90 cm de espesor, para suelos arenosos y 120 cm para suelos de textura más fina. Es importante destacar que este espesor es relativo al PMP y la CC que se tomen como referencia, en este caso los autores antes citados muestran para suelos arenosos CC de 20% y PMP de 10% de contenido de humedad, muy por encima de lo estimado en este trabajo, mediante el uso de SPAW Model (USDA-NRCS, 2007).

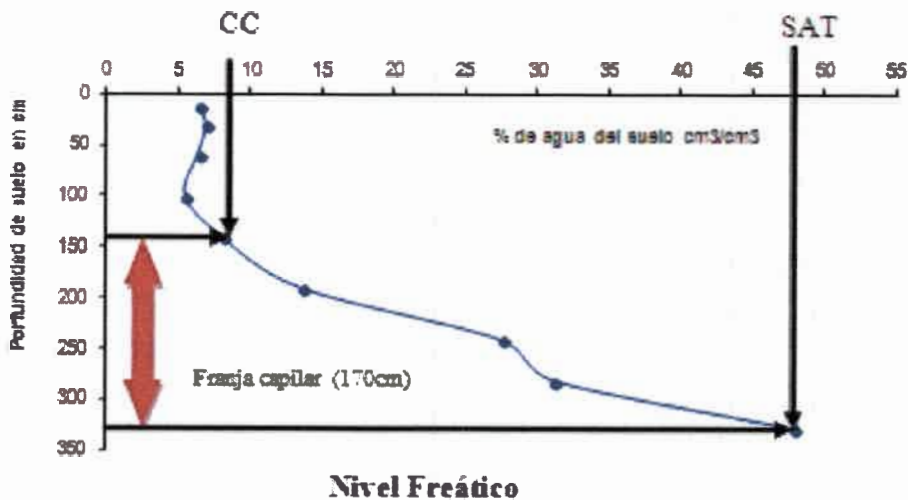


Figura 12: Maní - Frente capilar en T4 al momento de cosecha.

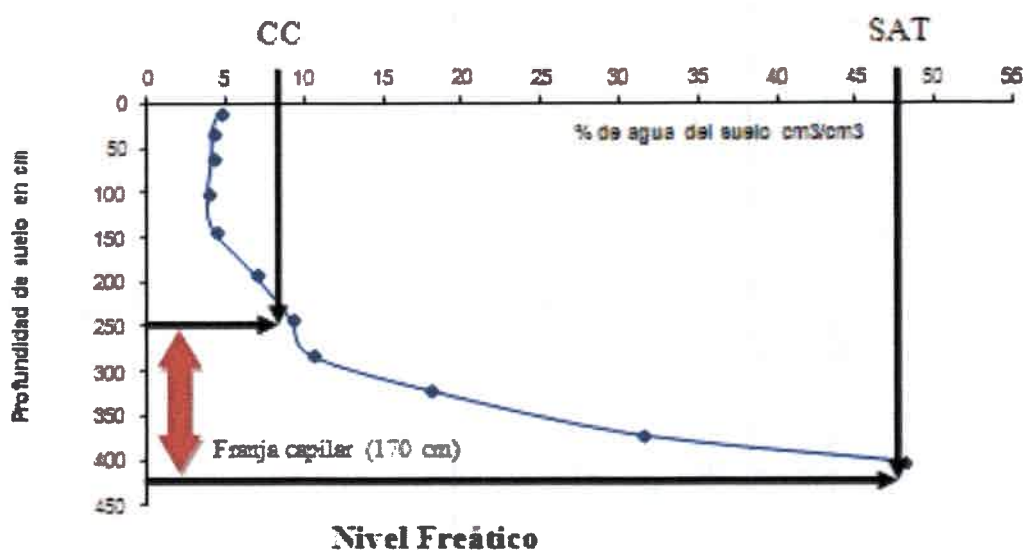


Figura 13: Maní - Frente capilar en T5 al momento de cosecha.

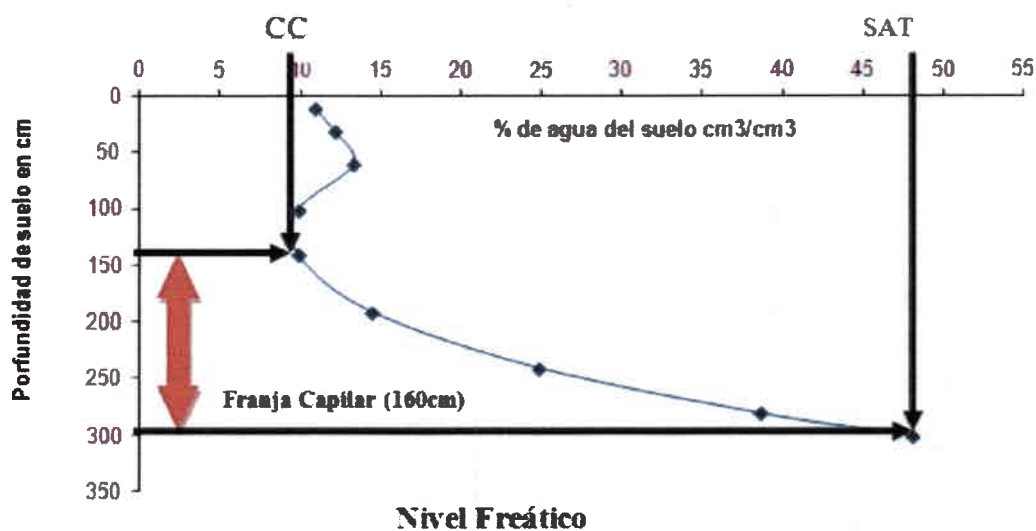


Figura 14: DM 4210 - Frente capilar en T4 al momento de cosecha.

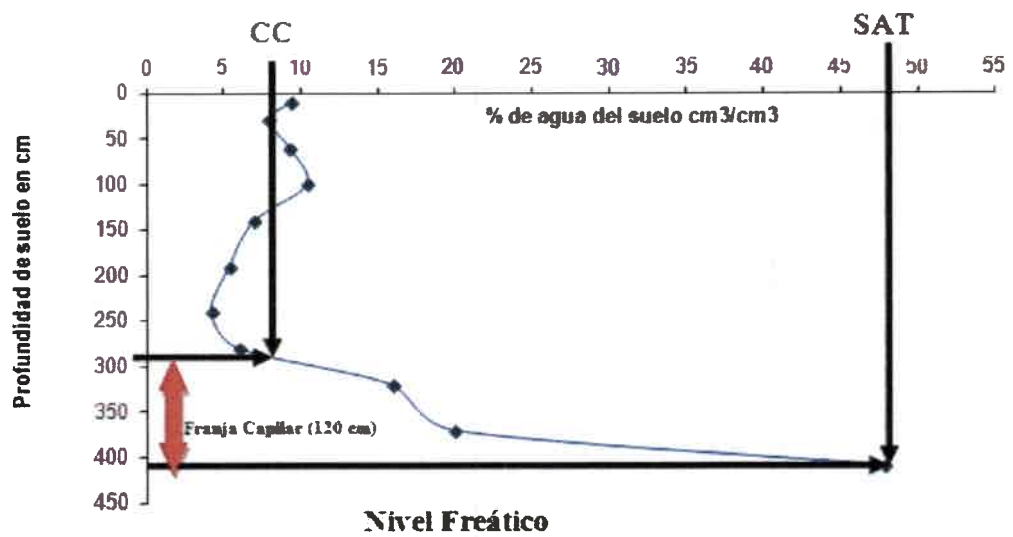


Figura 15: DM 4210 - Frente capilar en T5 al momento de cosecha.

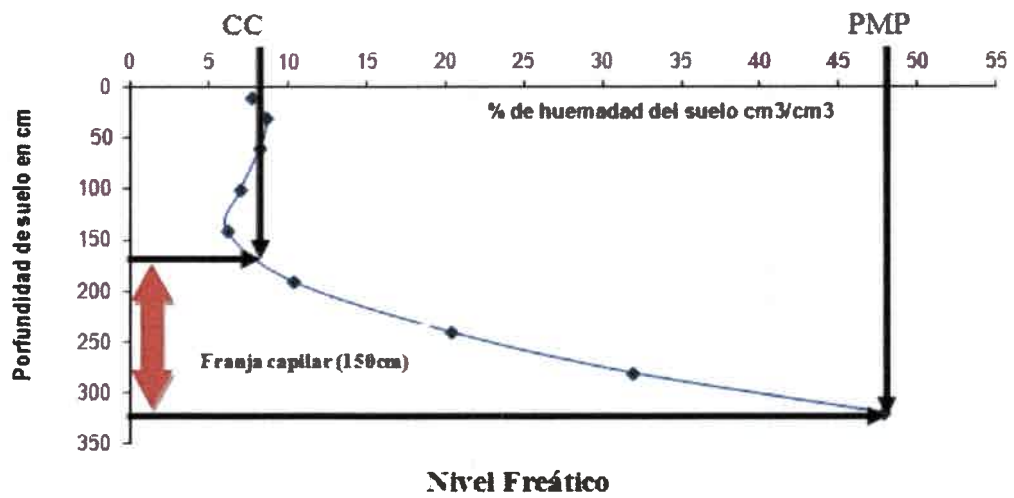


Figura 16: DM 5.5i - Frente capilar en T4 al momento de cosecha.

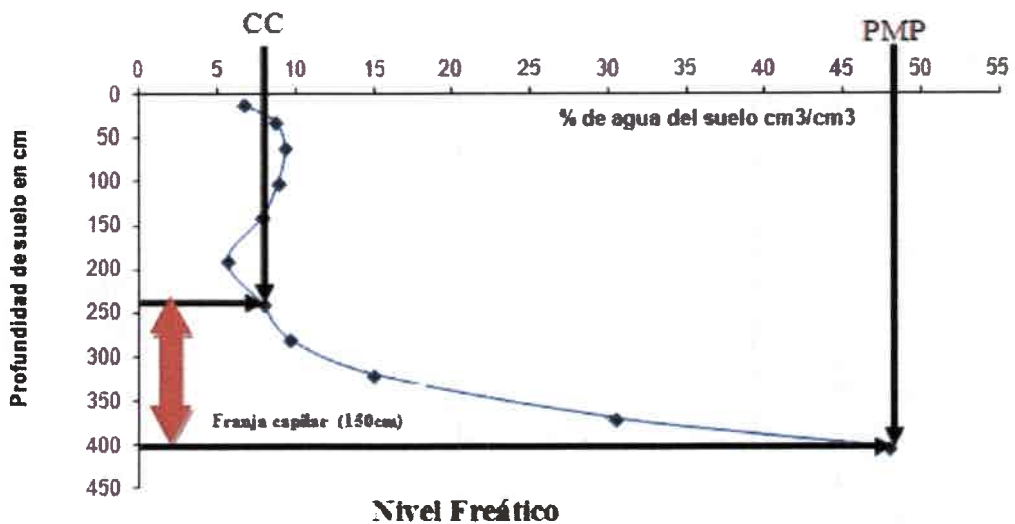


Figura 17: DM 5.5i - Frente capilar en T5 al momento de cosecha.

2.4.3. Conductividad eléctrica del extracto saturado de suelo

La distribución de sales desde la freática y hasta la superficie del suelo puede considerarse como producto de un equilibrio de flujos de ingreso y egreso de agua y sales, cuyos principales componentes son el ascenso capilar y la infiltración, como responsables del aporte y la remoción de sales respectivamente (Varallyay, 1981) citado en Cisneros *et al.*, (1997). El caudal que circula por el suelo por capilaridad puede cuantificarse por la ley de Darcy para flujo no saturado, y está afectado por la relación conductividad hidráulica no saturada (k) y contenido de humedad (θ), la cual difiere según la granulometría del material (Bloemen, 1980) citado en Cisneros *et al.*, (1997).

En la Figura 18 se muestran las CE del extracto saturado de suelo a distintas profundidades, en los momentos de siembra y cosecha. Se muestran solo los gráficos de los tratamientos de la parcela con Maní debido a la similitud que tiene con los tratamientos de las parcelas con Soja los cuales están en anexo (Figura 47 y 48).

Los valores obtenidos del extracto saturado no superaron en ninguno de los casos los 2 ds/m, siendo generalmente inferiores a 1 ds/m, valores que no son limitantes para que ninguna de las especies estudiadas pueda expresar el 100% de su potencial de rendimiento (FAO, 2011). Estos valores son explicados por los bajos contenidos de sal de la capa freática subyacente. Los datos numéricos de conductividad para las distintas profundidades pueden verse en el anexo (Tabla 25).

La conductividad de los primeros centímetros de suelo varió de manera brusca solamente en el T1, lo que puede ser explicado por su cercanía a la napa que hizo que las sales de esta última subieran con el agua por capilaridad y quedara depositadas en superficie. En el resto de los tratamientos no se observan variaciones importantes en las conductividades de la superficie del suelo.

Existió tendencia al aumento en la salinidad del perfil en todos los tratamientos, la que puede ser atribuida al ascenso de sales por capilaridad en los ambientes con napa

freática más cercana. De todas maneras es importante destacar que en todos los casos los valores de salinidad de extracto saturado son bajos.

Maní Granoleico

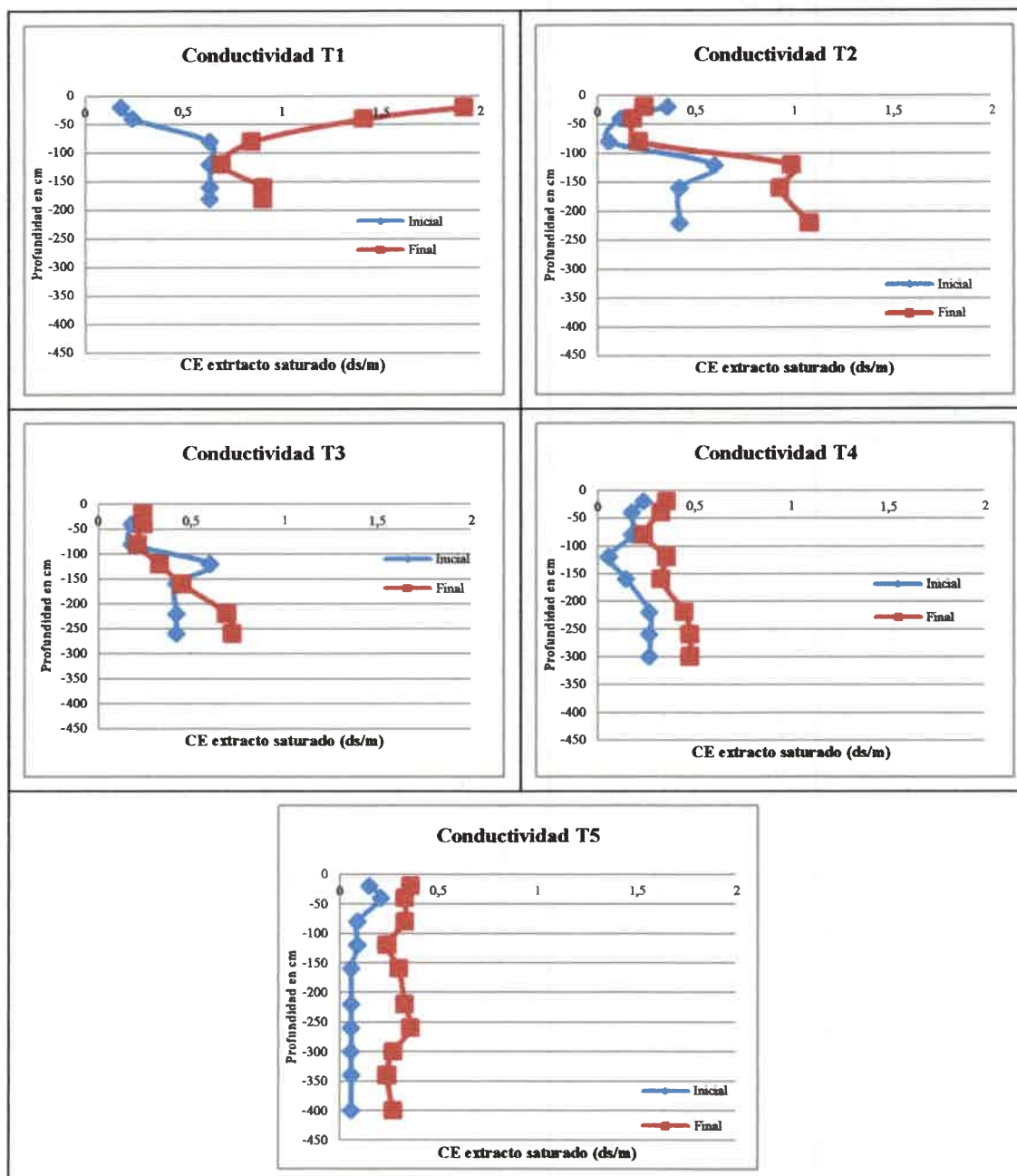


Figura 18: Conductividad inicial y final (ds/m) para cada uno de los tratamientos de cultivo de Maní.

2.4.4. Lamina de agua útil del perfil de suelo expresado en mm. al momento de cosecha

La campaña agrícola 2010/2011 fue afectada por una intensa sequía (Sierra, 2011) lo que permitió estudiar las distintas capacidades para extraer agua por parte de los cultivos y las condiciones de humedad en que dejan los suelos luego de la cosecha.

Las exploración del perfil del suelo por parte de la raíces permite posponer los efectos de la falta de agua sobre el crecimiento de los cultivos (Kramer, 1983). Hamblin y Tennat, (1987); Connor y Sadras, (1992) citan diferencias entre la densidad de raíces y la profundidad de las mismas para gramíneas, leguminosas y girasol. Andrade y Sadras, (2000) citan para cultivo de Soja un capacidad de extraer agua entre mediana y baja comparada con maíz y girasol.

A continuación (Figuras 19, 20, 21, 22 y 23) se muestra el agua útil del suelo a cosecha expresada en mm para cada uno de los cultivos y tratamiento. Donde 0 (cero) mm es igual al PMP. Se muestran además 3 profundidades de suelo diferentes (100cm, 140cm y 190cm) para poder mostrar como varía la capacidad de extraer agua y hasta que profundidad secan el suelo los cultivos.

En el T1 (Figura 19), las variaciones entre los distintos cultivos fueron muy escasas en todas las profundidades, esto podría deberse a la poca profundidad final de la napa, que de acuerdo al espesor del frente capilar estimado en el punto 2.5, le podría aportar agua a la mayor parte del perfil.

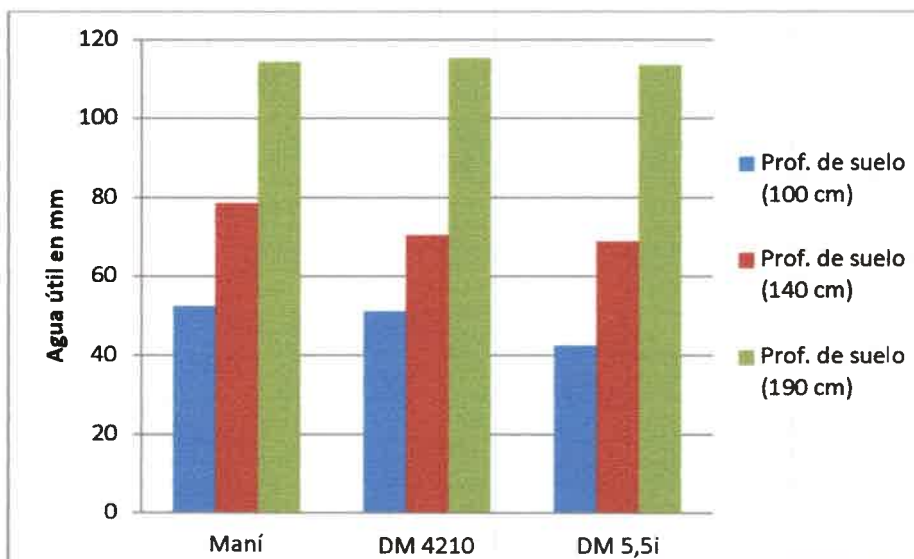


Figura 19: Lamina de agua útil de suelo (mm) a cosecha en T1 de los distintos cultivos para 3 profundidades de suelo diferentes.

En el T2 (Figura 20) es posible observar que las dos variedades de Soja se comportaron de manera muy similar hasta los 100 cm y luego DM 5.5i extrajo más agua del perfil. El cultivo de Maní comenzó a marcar su mayor potencial para extraer agua y fue quien más secó el perfil para todas las profundidades extrayendo entre 10 y 15 mm

más de agua que DM 5.5i y entre 15 y 20 mm más que DM 4210, dependiendo la profundidad que se considere.

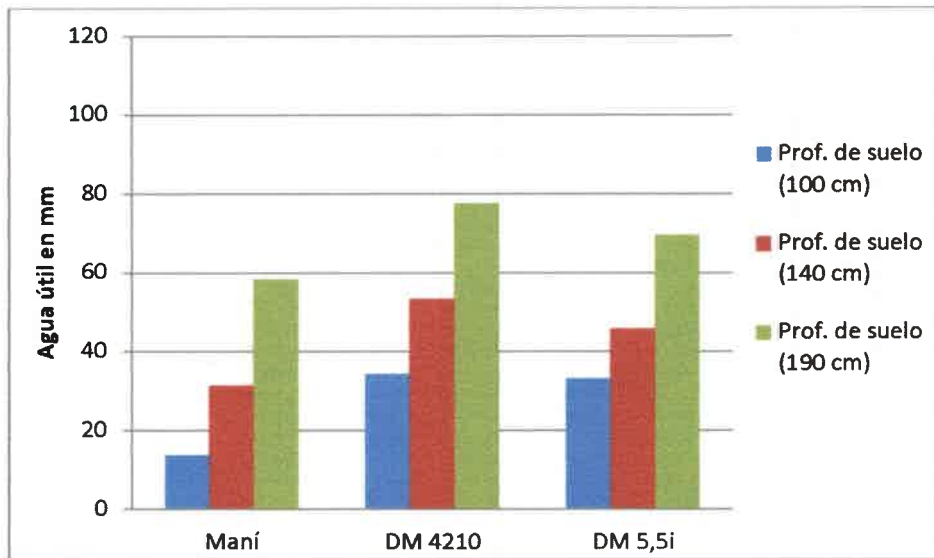


Figura 20: Lamina de agua útil de suelo (mm) a cosecha en T2 de los distintos cultivos para 3 profundidades de suelo diferentes.

En el T3 (Figura 21) se marcaron con mayor fuerza las tendencias del T2, el Maní tuvo la mayor capacidad de desecar el perfil, seguido de la Soja de ciclo más largo y por último la Soja de menor longitud de ciclo. La diferente capacidad de extraer agua entre los cultivos, medida en mm de agua, indica que el Maní puede extraer entre 25 y 45 mm más que DM 4210, dependiendo de la profundidad considerada, y 15 mm más que DM 5.5i, independientemente de la profundidad.

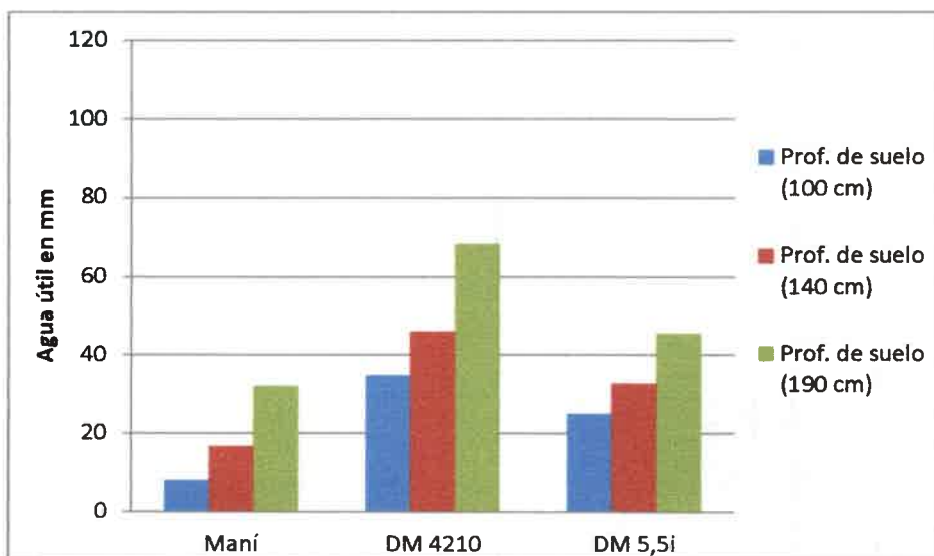


Figura 21: Lamina de agua útil de suelo (mm) a cosecha en T3 de los distintos cultivos para 3 profundidades de suelo diferentes.

En el T4 (Figura 22) se mantiene una tendencia muy similar a la del T3 con Maní como el principal extractor de agua, seguido por DM 5.5i y por último DM4210. Es importante aclarar que aunque la tendencia es similar, los contenidos de humedad total del suelo a las distintas profundidades consideradas son claramente menores.

El cultivo de Maní extrajo aproximadamente 7 mm más que DM 5.5i hasta los primeros 100 cm de profundidad. A medida que la profundidad considerada fue aumentando, la diferencia entre ambos fue disminuyendo hasta hacerse casi nula. Por su parte DM 4210 extrajo entre 20 y 25 mm menos que Maní.

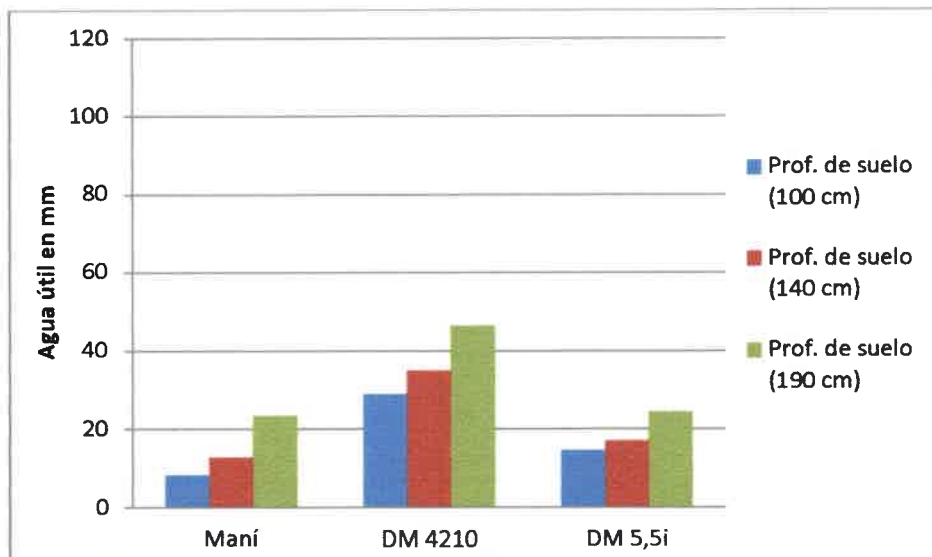


Figura 22: Lamina de agua útil de suelo (mm) a cosecha en T4 de los distintos cultivos para 3 profundidades de suelo diferentes.

En el T5 (Figura 23) el Maní siguió desecando el perfil respecto de T4 incluso hasta llevarlo a valores similares al PMP. En el caso de los cultivos de Soja, DM 5.5i tuvo muy poca diferencia respecto del T4, y DM 4210 desecó el perfil hasta contenidos de humedad de suelo muy similares a los de esta última, con diferencias menores a 5 mm, por lo que se podría pensar que ambas llegaron cercano al máximo que pueden extraer.

En este caso se puede observar que en el ambiente con más restricciones hídricas, independientemente de la variedad considerada, el cultivo de Soja dejaría más de 20 mm de agua por encima del valor de PMP estimado por SPAW Model (USDA-NRCS, 2007) para este tipo de suelos, y que el cultivo de Maní consumiría agua hasta niveles similares al PMP del suelo estudiado, coincidiendo con lo descrito por Uberto, (2008).

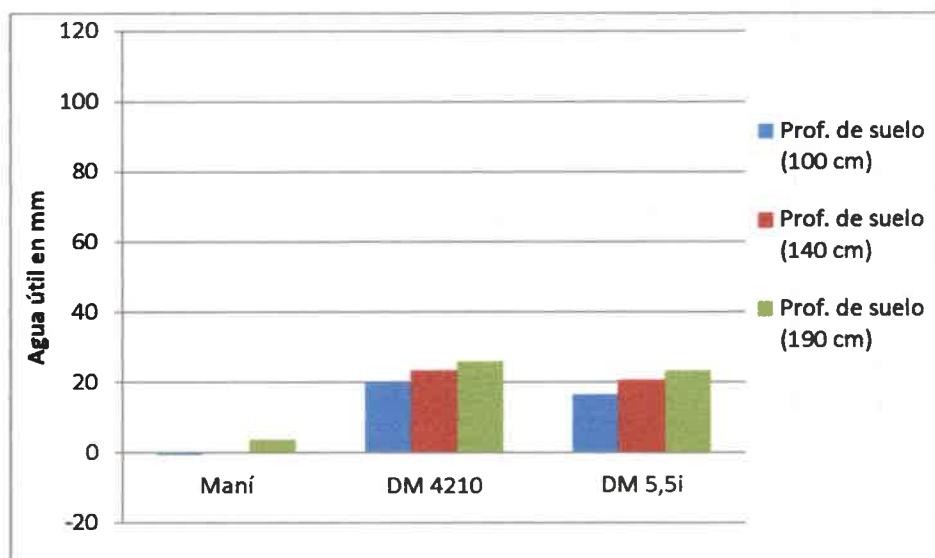


Figura 23: Lamina de agua útil de suelo a cosecha en T5 de los distintos cultivos para 3 profundidades de suelo diferentes.

Como conclusión general, el cultivo de Maní extrae mayores cantidades de agua que la Soja y ante condiciones de estrés hídrico, lleva el suelo hasta el límite, dejándolo completamente seco.

Entre las variedades de Soja se observa una tendencia a que la Soja de ciclo más largo consuma mayor cantidad de agua respecto la de ciclo más corto, aunque con pequeñas diferencias entre ellas.

3- Caracterización de la capa freática

Las napas son cuerpos de agua subterráneos que circulan en forma lenta respondiendo a gradientes de pendiente, siendo sus variaciones de profundidad en el espacio y el tiempo producto de las características topográficas del sitio y del equilibrio de recargas (ascenso) y descargas (descenso). La principal fuente de recarga es la precipitación, mientras que la descarga se produce principalmente en respuesta a las demandas de evapotranspiración (Cisneros, 1994; Cisneros *et al.*, 1997).

3.1. Relación entre la napa freática y los cultivos

Las napas freáticas cercanas a la superficie interactúan con los cultivos y, dependiendo de las profundidades prevalentes, el agua subterránea puede estar: a) totalmente desacoplada de la vegetación, b) puede ser una valiosa fuente de agua o c) transformarse en una agente de estrés por anegamiento o salinidad. De forma recíproca los cultivos pueden influir sobre el agua de la napa alterando la profundidad y la composición química de la misma (Jobbágy *et al.*, 2010; Nosetto *et al.*, 2009).

3.1.1. Maní Granoleico

La variación entre el nivel freático inicial (NFI) y final (NFF) estuvo entre 100 y 130 cm para los distintos tratamientos. Puede observarse una cierta tendencia a que las mayores variaciones entre estos dos momentos se dieran en T1, T2 y T3 (Tabla 9), muy probablemente relacionado con la posibilidad de que con napa a estas profundidades, las plantas puedan tomar agua con mayor facilidad para cubrir las demandas atmosféricas en momentos de déficit. Los tratamientos T4 y T5 también sufrieron una disminución considerable del nivel freático, aunque inferior a los tratamientos anteriores, por lo que podría hipotetizarse que su relación con la demanda de los cultivos fue relativamente menor.

En las variaciones de la conductividad eléctrica inicial (CEI) y final (CEF) del agua de la napa en los distintos tratamientos puede observarse que tiende a disminuir la CE a medida que baja el NF (Tabla 9). Este comportamiento es opuesto al encontrado por Cisneros *et al.*, (1997) y Nosetto *et al.*, (2009), quienes encontraron que la depresión de la freática coincide con incrementos en su salinidad.

El cultivo fue sembrado con muy buenas condiciones de humedad del suelo, aunque durante el ciclo de desarrollo del mismo las precipitaciones fueron muy escasas (Figura 24). Puede verse como a partir de mediados de Diciembre la napa empieza a bajar de manera abrupta hasta mediados de Febrero, coincidiendo con el período crítico del cultivo, la alta ETP (Tabla 1) y las muy escasas precipitaciones (Figura 24).

Tabla 9: Nivel freático (cm), CE (ds/m) y precipitaciones (PP) (mm) en el cultivo de Maní.

Tratamiento	T1	T2	T3	T4	T5
Nivel freático inicial (cm)	-72	-91	-139	-229	-298
Nivel freático final (cm)	-180	-227	-276	-327	-400
Nivel freático medio (cm)	-121	-162	-206	-260	-340
CE freática inicial (ds/m)	2,52	2,35	2,23	2,60	2,58
CE freática final (ds/m)	1,10	1,06	2,00	1,97	1,61
CE freática media (ds/m)	2,0	2,0	2,1	2,2	2,0
PP durante el ciclo (mm)	350	350	350	350	350

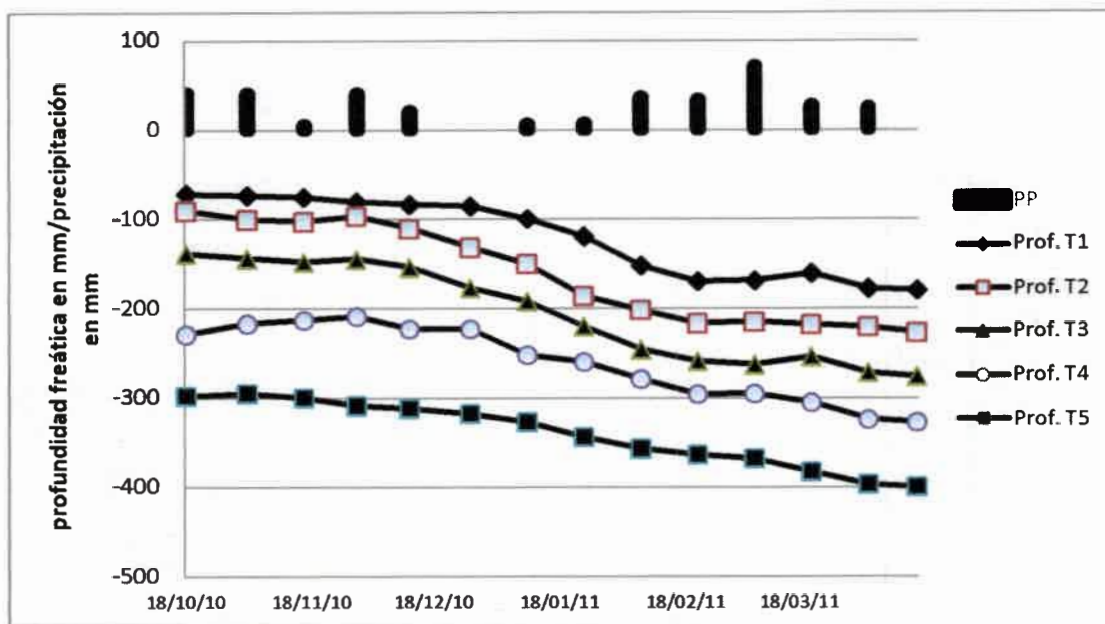


Figura 24: Relación entre el nivel freático (cm) y el las PP (mm) durante el ciclo del cultivo de Maní.

3.1.2. Soja DM 4210

La variación entre el NFI y final NFF estuvo entre 110 y 130 cm para los distintos tratamientos. Se observó una tendencia a que las mayores variaciones ocurrieran en los primeros 3 tratamientos aunque la diferencia con T4 y T5 fueron sensiblemente menores a las que se vieron en el ensayo de Maní (Tabla 10). Las diferencias entre los tratamientos de DM 4210 podría estar relacionado, al igual que en el caso de Maní, con que los primeros 3 tratamientos tomaron con mayor facilidad agua de la napa para cubrir las demandas atmosféricas. Por su parte T4 y T5 tuvieron variaciones muy similares entre si, por lo que se podría especular que en esas profundidades de napa, el cultivo tuvo relativamente menor efecto sobre la variación del nivel freático.

En las variaciones de la CEI y CEF del agua de la napa en los distintos tratamientos puede observarse que hay una tendencia a la disminución de la CE a medida que baja el NF (Tabla 10). Este comportamiento es similar al encontrado en el ensayo de Maní (punto 3.1.1) y es opuesto al encontrado por Cisneros *et al.*, (1997) y Nosetto *et al.*, (2009), quienes encontraron que la depresión de la freática coincide con incrementos en su salinidad.

Al igual que el cultivo de Maní, la Soja fue sembrada con muy buena condiciones de humedad de suelo y durante el ciclo de desarrollo de la misma las precipitaciones fueron muy escasas (Figura 25). De la misma manera que para el cultivo anterior se observa una clara disminución del nivel freático desde mediados de Diciembre hasta finales de Febrero (Figura 25), coincidiendo con el período crítico del cultivo, la alta ETP (Tabla 1) y las muy escasas precipitaciones, las que, debido a la longitud de su ciclo, fueron menores que para Maní y para DM 5.5i (Tabla 10).

Tabla 10: Nivel freático (cm), CE (ds/m) y precipitaciones (PP) (mm) en el cultivo de Soja DM 4210.

Tratamiento	T1	T2	T3	T4	T5
Nivel freático inicial (cm)	-40	-101	-129	-185	-294
Nivel freático final (cm)	-163	-218	-260	-300	-409
Nivel freático medio (cm)	-108	-159	-201	-241	-348
CE freática inicial (ds/m)	1,55	1,75	2,40	2,76	2,15
CE freática final (ds/m)	1,17	1,15	1,30	1,92	1,30
CE freática media (ds/m)	1,25	1,31	1,81	2,29	1,62
PP durante el ciclo (mm)	309	309	309	309	309

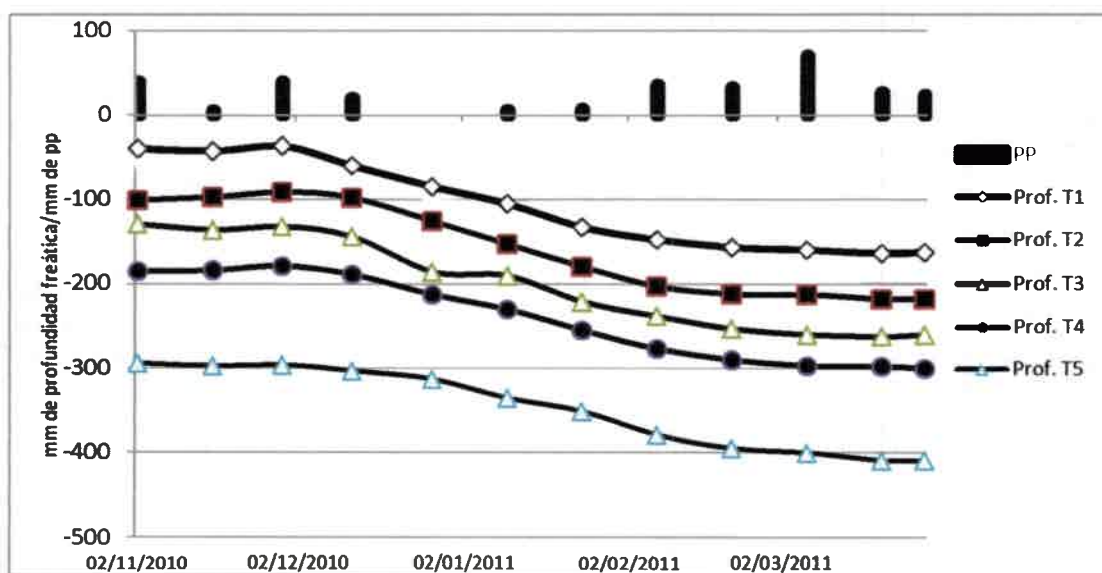


Figura 25: Relación entre el nivel freático (cm) y el las PP (mm) durante el ciclo del cultivo de Soja DM 4210.

3.1.3. Soja DM 5.5i

La variación entre NFI y NFF estuvo entre 100 y 130 cm para los distintos tratamientos, puede observarse aquí un comportamiento similar al ocurrido con DM 4210 (Tabla 11). Relacionado esto con el NFI, es posible hipotetizar que para los primeros 3 tratamientos, con napa más somera, las plantas tomarían agua de la freática con mayor facilidad para cubrir las demandas atmosféricas. Los tratamientos T4 y T5 tuvieron claras disminuciones del nivel freático aunque en este caso T5 tuvo una variación sensiblemente menor que T4.

Las variaciones de la conductividad eléctrica inicial (CEI) y final (CEF) del agua de la napa se comportaron de manera similar a los dos casos anteriores (Tabla 11).

El cultivo fue sembrado con muy buenas condiciones de humedad del suelo al igual que los anteriores y durante el ciclo de desarrollo sufrió también de la falta de

precipitaciones (Figura 26). Puede verse como, al igual que en los casos anteriores, a partir de mediados de Diciembre la napa empieza a bajar de manera abrupta hasta finales de Febrero, coincidiendo con el período crítico del cultivo, la alta ETP (Tabla 1) y las muy escasas precipitaciones (Figura 26).

Tabla 11: Nivel freático (cm), CE (ds/m) y precipitaciones (PP) (mm) en el cultivo de Soja DM 5.5i

Tratamiento	T1	T2	T3	T4	T5
Nivel freático inicial (cm)	-75	-84	-125	-205	-301
Nivel freático final (cm)	-184	-208	-257	-319	-403
Nivel freático medio (cm)	-128	-151	-201	-262	-346
CE freática inicial (ds/m)	1,9	1,8	2,6	2,78	2,52
CE freática final (ds/m)	1,18	1,14	1,52	2,1	1,7
CE freática media (ds/m)	1,46	1,29	2,05	2,29	1,88
PP durante el ciclo (mm)	350	350	350	350	350

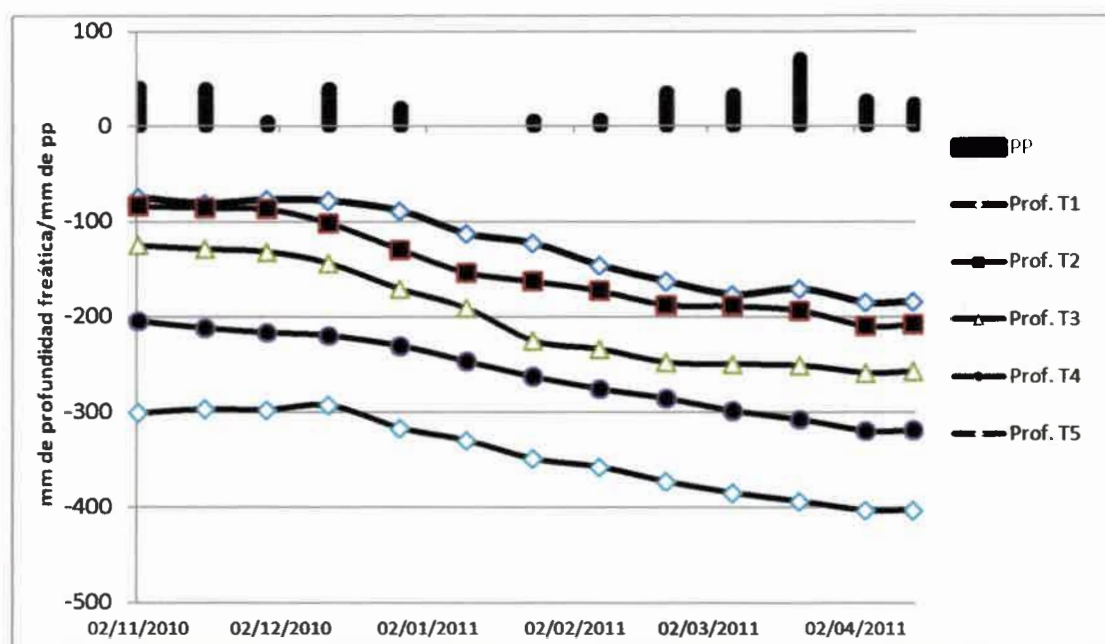


Figura 26: Relación entre el nivel freático (cm) y el las PP (mm) durante el ciclo del cultivo de Soja DM 5.5i.

Como conclusión para los distintos tratamientos y cultivos, podría decirse que, se observaron descensos de entre 100 y 130 cm entre las profundidades iniciales y finales de las napas. Existió una tendencia a que los menores descensos en la profundidad de la freática se den en los tratamientos con napa inicial a más de 200 cm (T4 y T5), y los mayores ocurran en los tratamientos con napa a menos de 200 cm (T1, T2, T3). Esta tendencia se marcó con algo más de fuerza en el cultivo de maní. En términos generales, es posible que las disminuciones en los tratamientos más

superficiales, se deban a que las raíces de los cultivos estudiados tienen mayor capacidad para tomar agua hasta los 200 cm de profundidad de suelo.

Los valores de conductividad de la freática, tienen tendencia a disminuir a medida que decrece el nivel freático, aunque esta disminución sea mínima y los valores de conductividad no afecten el normal desarrollo de las plantas.

Las precipitaciones ocurridas durante el período de cultivo fueron las menores desde 1961 a 2011, y los períodos críticos de los cultivos que se dan entre finales de diciembre, enero y febrero ocurrieron con muy escasos aportes de agua por parte de las lluvias.

Observando las profundidades iniciales y finales de los dos cultivares de Soja, no habría diferencias en la depresión de la napa efectuada por ninguna de ellas respecto de la otra, y tampoco la habría comparándola con el cultivo de Maní. Las variaciones de nivel freático estarían explicadas solo por el déficit hídrico del período estudiado como se muestra a continuación (ver punto 3.2) y no dependerían de la variedad de Soja utilizada o el cultivo implantado.

No se observaron diferencias claras que permitieran pensar que la variedad de Soja de ciclo más largo pudiera explorar el suelo a mayor profundidad y obtener agua de napas más profundas. Existió una diferencia de rendimiento entre DM 4210 y DM 5.5i a favor de esta última en T5, lo que se debería principalmente a que el largo de su ciclo le permitió recibir alguna precipitación más y la pudo capitalizar en rendimiento (Tabla 23 y 24).

En anexo (Tabla 26, 27 y 28) se encuentran la totalidad de los datos de los que se extraen las tablas resumen.

3.2. Relación entre el nivel freático y las variables meteorológicas - Modelos de descripción de nivel freático

A partir del método para estimar la oscilación de la freática descrito por Cisneros, (1994) y Cisneros *et al.*, (1997) se hicieron modelos similares para cada uno de los tratamientos de los distintos cultivos. Para esto se utilizaron los datos de ETP según Thornthwaite y Mather, (1957) ajustado para Del Campillo (Tassile *et al.*, 2001) y las precipitaciones medidas en los pluviómetros ubicados en los ensayos.

Para obtener los modelos se utilizaron los datos de oscilación del NF medido y se obtuvo el rango de variación para cada intervalo de muestreo. Por otra parte, para ese mismo intervalo se realizó un balance hídrico sencillo (BH), entre la relación PP - ETP. Con esos datos se ajustó una ecuación de regresión lineal que se utilizó para estimar el NF del período de estudio: $Y = aX + b$.

Los componentes de las ecuaciones que explican el modelo son iguales en todos ellos, X es el balance entre la PP-ETP e Y es la variación del nivel freático estimado, ambos para el mismo período de tiempo. La pendiente de la recta (**a**) representa la relación entre los mm de agua que llegan a la freática y ascenso del nivel freático, o lo que se conoce como *porosidad drenable* del suelo que es la diferencia entre contenido de agua a saturación y contenido de agua a capacidad de campo (Pizarro, 1985).

Maní Granoleico

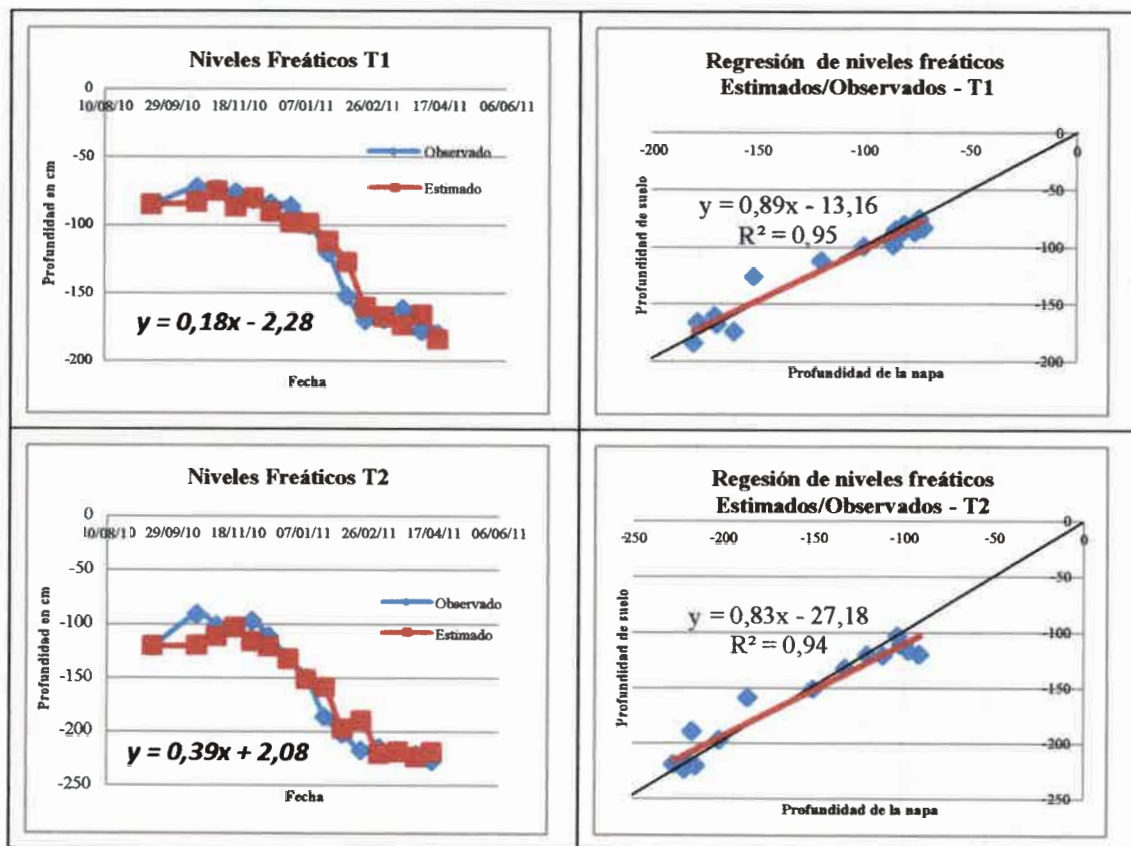
Los modelos de predicción de profundidad freática obtenidos para cada uno de los tratamientos se hicieron correr con los balances hídricos de los períodos (14 días) que mediaban entre las distintas mediciones de nivel freático y se compararon los resultados estimados con los niveles obtenidos en los freatómetros.

Como los resultados obtenidos para los distintos cultivos en cada uno de los tratamientos fueron similares, solo se muestran los resultados obtenidos para el cultivo de Maní (Figura 27) y los de Soja se muestran en anexo (Figura 49 y 50).

Este modelo fue desarrollado para predecir ambientes con freática superficial (Cisneros *et al.*, 1997), en los casos estudiados es posible observar el alto grado de ajuste entre los valores de profundidad observados y los esperados en los primeros 4 tratamientos (T1, T2, T3, T4) donde el modelo describe de manera casi perfecta la variación del NF. En el tratamiento con napa a mayor profundidad (T5), el modelo logra un grado de ajuste aceptable aunque mucho menor que en los casos anteriores.

Los resultados obtenidos por el modelo muestran el alto grado de correlación existente entre el balance hídrico y el NF en suelos arenosos con napa hasta los 300 cm de profundidad.

El modelo pudo explicar de igual manera el comportamiento de nivel freático independientemente del cultivo implantado.



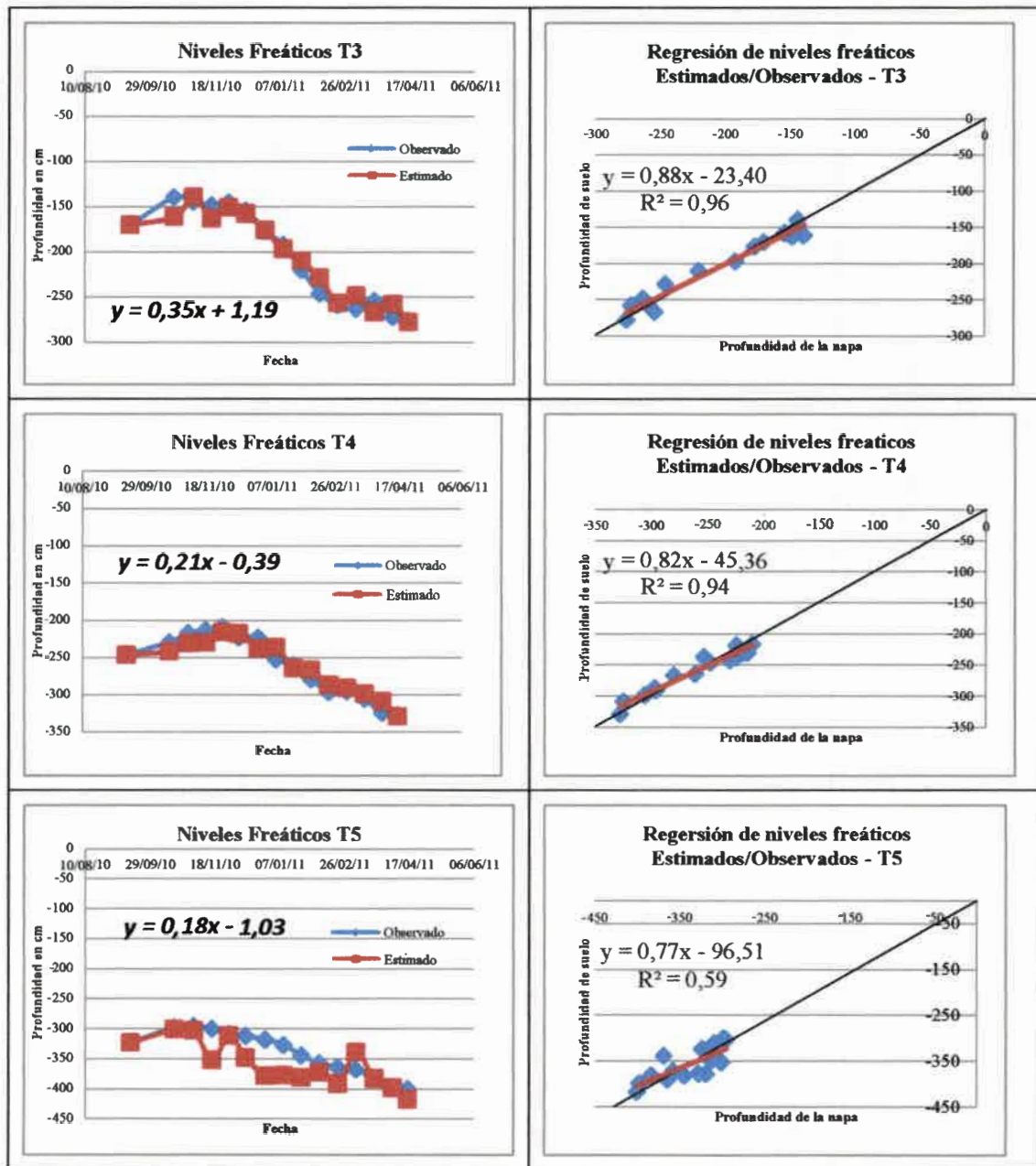


Figura 27: Niveles freáticos observados Vs estimados por el modelo y la regresión entre ellos para cada tratamiento del cultivo de Mani.

No obstante su utilidad práctica, este tipo de modelo tiene algunas limitaciones que son importantes de destacar:

- Es un modelo empírico que requiere calibración local.
- No toma en cuenta posibles aportes laterales (Flujo hipodérmico).
- Su simulación es más acertada cuando las napas se encuentran dentro del rango de 250 cm.
- Posibles fuentes de error en la estimación de evapotranspiración ya que a mayores profundidades de la napa, la ETP varía mucho de la ETR.
- No considera la acción del crecimiento de los cultivos sobre la ETR.

4- Respuesta de los cultivos a la profundidad de la napa

4.1. Cobertura del canopeo y fenología

4.1.1. Maní Granoleico

Los mayores porcentajes de cobertura se produjeron en T2 y T3, lo que podría deberse a que no sufrieron déficit ni excesos de agua (Tabla 12). En el T1 puede verse que, si bien el estadio fenológico no cambió respecto de los tratamientos antes mencionados, el porcentaje de cobertura fue relativamente menor. Es posible inferir que esto se debería a excesos de agua que no permitieron un desarrollo óptimo del cultivo. Para los casos T4 y T5 su fenología estuvo más atrasada que los tratamientos con freática más cercana y los porcentajes de cobertura son los menores, disminuyendo de manera gradual con la disminución de la profundidad de la napa. Esta disminución en el crecimiento podría atribuirse a deficiencias de agua por precipitaciones y escaso a nulo aporte por parte de la napa.

Tabla 12: Cobertura del suelo (%), estadio fenológico y profundidad de la freática (cm) para los 5 tratamientos de Maní Granoleico al 30/12/2010.

Maní - 30/12/2010			
Tratamiento	% de Cob.	Fenología	NF (a la fecha)
T1	57,4	R3	-86
T2	63	R3	-132
T3	64	R3	-177
T4	45,8	R2	-223
T5	40,6	R2	-318

Con el cultivo en estadios R5-R6 (Tabla 13), en los primeros 3 tratamientos no se evidenciaron diferencias en lo que respecta a fenología y porcentaje de cobertura, distinto de lo observado en R2-R3 (Tabla 12). En este caso el T1 igualó su desarrollo aéreo respecto a T2 y T3, esto pudo deberse a que disminuyó el nivel freático y le brindó un mejor ambiente para su crecimiento. Quizá las mayores diferencias de la tabla son los porcentajes de cobertura de T4 y T5, aunque mantuvieron un estado fenológico similar. Esta marcada diferencia en el porcentaje de cobertura podría deberse a que el T4 tuvo algunos aportes de la freática que no ocurrieron en T5 y le permitieron al cultivo crecer de mejor manera.

La cobertura foliar de la planta tuvo una estrecha relación con el crecimiento vegetativo, particularmente con el de hojas, y el IAF. Las diferencias en crecimiento vegetativo de la planta antes situaciones de marcado estrés como el que ocurrió progresivamente en los tratamientos con napa a mayor profundidad, concuerda con lo encontrado por Ferreira *et al.*, (1992) respecto que la baja disponibilidad de agua del suelo modifica el área foliar por planta.

Tabla 13: Cobertura del suelo (%), estadio fenológico y profundidad de la freática (cm) para los 5 tratamientos de Maní Granoleico al 10/02/2011.

Maní - 10/02/2011			
Tratamiento	% de Cob.	Fenología	NF (a la fecha)
T1	100	R6	-152
T2	100	R6	-202
T3	100	R6	-246
T4	83,2	R5	-279
T5	57,4	R5	-357

De la misma manera que ocurrió con el crecimiento aéreo, la fenología del Maní varió con la cantidad de agua disponible para la planta (Tablas 12 y 13). Comenzando desde R1, la duración de las etapas fenológicas de los distintos tratamientos variaron expresadas en días después de la siembra (dds) y el porcentaje de frutos maduros al momento de arrancado (Tabla 14). Puedo observarse que al momento de arrancado todos los tratamientos se encontraban entre R7 y R8 (Boote, 1982), aunque el porcentaje de frutos maduros entre los tratamientos era muy distinto. Relacionando el porcentaje de frutos maduros con el desarrollo fenológico del cultivo, podemos ver existen diferencia entre los distintos tratamientos y que aquellos que tuvieron mayor cantidad de agua disponible lograron los mayores porcentajes de madurez.

Tabla 14: Estadios fenológicos reproductivos de Maní Granoleico de los tratamiento expresados en días desde de la siembra (dds).

Trat.	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	Arrancado	Madurez
T1	45	59	71	89	99	113	127	174	48%
T2	45	59	71	89	99	113	127	174	33%
T3	45	59	71	89	99	113	127	174	23%
T4	45	59	80	95	106	120	134	174	19%
T5	45	66	85	99	113	127	144	174	6%

Para analizar los atrasos en la fenología del cultivo y en el porcentaje de frutos maduros de acuerdo a la profundidad de la freática podemos separar los tratamientos en dos grupos: con napa inicial a menos de 200 cm y a más de 200 cm:

En el primer grupo no se observaron diferencias hasta el momento de arrancado donde se detectó una variación en el porcentaje de frutos maduros, lo que podría deberse a una disminución de la disponibilidad hídrica que comenzó en los períodos reproductivos avanzados del cultivo (desde R4 hasta R7) (Cerioni, 2003; Sexton *et al.*, 1997) y que se dio dependiendo de la ubicación en la transecta de suelos.

En el segundo grupo se encuentran T4 y T5 entre los cuales se observaron diferencias en la duración de las etapas fenológicas tanto entre ellos como respecto del grupo anterior. En el caso de T4 tuvo un atraso de 9 días en su llegada a R3 y 7 días a

R7, y para T5 el atraso fue de 7 días a R2 y 17 días a R7. Las demoras en la fenología de este grupo son similares a las descritas por cultivos que sufrieron estrés hídrico en etapas vegetativas y reproductivas tempranas (principios de floración hasta R4)(Cerioni, 2003; Chapman *et al.*, 1993). En este caso se sumó además, un déficit hídrico durante las etapas reproductivas avanzadas el cual estaría influyendo en el porcentaje de frutos maduros.

Estos resultados corroboran el efecto que el estrés hídrico genera en la fenología de Maní, concordando con lo expuesto por Boote y Ketring, (1990) citados por Cerioni, (2003) quienes sostienen que la sequía atrasa las etapas fenológicas debido a que estas son dependientes de la condición de turgencia de la hojas.

El Maní posee hábito de crecimiento indeterminado con una marcada superposición de las etapas de crecimiento vegetativo y reproductivo. La sucesión de los eventos fenológicos es afectada por la temperatura, el contenido de agua del suelo y el genotipo (Boote y Ketring, 1990; Nageswara Rao *et al.*, 1988). La deficiencia de agua de suelo puede demorar el desarrollo del cultivo, aunque el efecto es mayor sobre el crecimiento, la acumulación de materia seca y la formación de frutos (Boote y Ketring, 1990; Sexton *et al.*, 1997). Los estados reproductivos: floración (R1), elongación de clavos (R2), comienzo de expansión de frutos (R3), primer fruto expandido (R4), comienzo del llenado de semilla (R5), son todos dependientes de la condición de turgencia de la planta y progresivamente inhibidos por el déficit de agua del suelo. Estos estados también pueden experimentar atrasos por la carencia de agua en la zona de fructificación y la insuficiente asimilación de calcio en el suelo (Boote y Ketring, 1990; Nageswara Rao *et al.*, 1985).

Como lo muestran los resultados de este trabajo, podemos decir que el cultivo de Maní tendría capacidad para restringir su desarrollo y por tanto alargar sus etapas fenológicas en periodos de sequía respecto de ambientes sin estrés hídrico. Estas respuestas, consideradas una estrategia del cultivo para eludir deficiencias hídricas temporales mediante atrasos fenológicos (interrupción de la floración y disminución de la tasa de formación de clavos) en determinados ambientes, puede implicar serios riesgos a la producción. En ambiente como los del sur de Córdoba, los atrasos fenológicos descriptos demoran la maduración y exponen el cultivo a posibles efectos de bajas temperaturas (heladas tempranas) en la etapa final del llenado de semillas, o inmediatamente después de la operación de arrancado (Cerioni, 2003).

4.1.2. Soja DM 4210

Cada cultivar de Soja tiene una franja latitudinal en la que por su longitud de ciclo se lo considera como de ciclo medio; al norte de la misma se comporta como ciclo corto y al sur de esta como ciclo largo. Esto determina que para cada región y según la latitud de la misma, existan cultivares adaptados con un rango de longitudes de ciclo, que funcionan como ciclo corto, medio y largo (Baigorri, 2009).

Las dos variedades de Soja utilizadas en los ensayos son de crecimiento indeterminado, y al igual que en el caso de Maní coexisten los periodos vegetativos y reproductivos. Los procesos de crecimiento y desarrollo de Soja, están bajo control genético y se encuentran modulados por factores ambientales, fundamentalmente la temperatura y el fotoperiodo, y menor medida otros factores como el agua (Sadras *et al.*,

2000). En ambientes con presencia de napa freática a profundidad de exploración de las raíces, los cultivares de Soja de grupo II al V, presentan patrones de desarrollo y crecimiento similares a los que presentan cultivos bajo riego (Martínez Alvarez et al., 2005).

Los mayores porcentajes de cobertura se produjeron en T2 y T3 lo que podría deberse a que no sufrieron ni déficit ni excesos de agua (Tabla 15). En T1 y T4 puede verse que el estadio fenológico no cambió respecto de los tratamientos antes mencionados aunque el porcentaje de cobertura es relativamente menor. Es posible inferir que esto se debería a excesos de agua en T1 y algún pequeño déficit en T4, los que no permitieron un mayor desarrollo del cultivo. En el caso de T5 su fenología está más adelantada que los tratamientos con freática más cercana y los porcentajes de cobertura son los menores, esta disminución en el crecimiento podría atribuirse a deficiencias de agua por precipitaciones y nulo aporte por parte de la napa.

Tabla 15: Cobertura del suelo (%), estadio fenológico y profundidad de la freática (cm) para los 5 tratamientos Soja DM 4210 al 30/12/2010.

DM 4210 - 30/12/2010			
Tratamiento	% de Cob.	Fenología	NF (a la fecha)
T1	14,52	R2	-85
T2	16,16	R2	-126
T3	16,56	R2	-186
T4	13,64	R2	-213
T5	10,04	R3	-313

En los primeros 3 tratamientos no hay variación en el índice de cobertura, en este caso el T1 emparejo su desarrollo aéreo respecto a T2 y T3, esto podría deberse a que disminuyó el nivel freático y le permitió un mejor ambiente para su crecimiento (Tabla 16). Quizá lo más interesante es la diferencia entre los porcentajes de cobertura de T4 y T5. Estas diferencias podrían darse debido a que el T4 tendría algún aporte de la freática que no ocurriría en T5 y le permitiría al cultivo crecer de mejor manera.

Al momento de medir el porcentaje de cobertura y el NF, todos los tratamientos se encontraban en R5 aunque con diferencias dentro de este estado fenológico, pudiéndose observar adelantos en los tratamientos con napa más profunda (véase Tabla 17).

Tabla 16: Cobertura del suelo (8%), estadio fenológico y profundidad de la freática (cm) para los 5 tratamientos de Soja DM 4210 al 10/02/2011.

DM 4210 - 10/02/2011			
Tratamiento	% de Cob.	Fenología	NF (a la fecha)
T1	100	R5	-148
T2	100	R5	-203
T3	100	R5	-238
T4	85,4	R5	-277
T5	62,4	R5	-379

A diferencia de lo ocurrido con el Maní, la Soja DM 4210 adelantó su ciclo en los ambientes con menos disponibilidad de agua (Tabla 17). Esto pudo verse en el T5 a partir del comienzo del período reproductivo con un adelanto fenológico de 7 días

respecto del resto de los tratamientos. Esta diferencia se mantuvo durante todo el periodo reproductivo del cultivo. A diferencia del Maní, en el T4 no se observaron diferencias fenológicas con relación a los tratamientos ubicados en los sectores más bajos. Esta escasa variación en días de maduración y el hecho de que solo pudo observarse en T5, permite pensar que la Soja tendría menor flexibilidad que el Maní para demorar su fenología ante periodos de sequía.

Tabla 17: Estadios fenológicos reproductivos de Soja DM 4210 de los tratamiento expresados en días desde de la siembra (dds).

Trat.	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
T1	44	58	69	83	97	111	139	146
T2	44	58	69	83	97	111	139	146
T3	44	58	69	83	97	111	139	146
T4	44	58	69	83	97	111	139	146
T5	37	51	58	76	90	104	128	138

4.1.3. Soja DM 5.5i

Durante el período vegetativo DM 5.5i no tuvo variaciones fenológicas en ninguna de las unidades de paisaje aunque su crecimiento si lo hizo. Puede observarse (Tabla 18) que los mayores índices de cobertura se lograron en los T1, T2 y T3. En esta variedad en particular puede verse que T1 tuvo el mayor índice de cobertura incluso con una freática muy superficial, diferente de lo que pasó con Maní y DM 4210. Los tratamientos con napa a mayor profundidad T4 y T5 tuvieron porcentajes de cobertura que fueron decayendo a medida que aumentaba la distancia a la freática.

Tabla 18: Cobertura del suelo (%), estadio fenológico y profundidad de la freática (cm) para los 5 tratamientos de Soja DM 5.5i al 30/12/2010.

DM 5.5i - 30/12/10			
Tratamiento	% de Cob	Fenología	NF (a la fecha)
T1	87,8	V7	-89
T2	77,4	V7	-130
T3	80,2	V7	-171
T4	63,6	V7	-231
T5	56,6	V7	-317

Una vez en estado reproductivo pudo observarse que ocurrían diferencias, no solo en el porcentaje de cobertura, sino también en el estado fenológico dependiendo de la ubicación en la transecta de suelos (Tabla 19). Los 3 tratamientos más cercanos a la napa se encontraban con cobertura total y en el mismo estado fenológico. El T4 estaba cercano a cubrir el surco aunque a diferencia de los 3 anteriores, había adelantado su fenología al igual que T5. Este último tenía el menor porcentaje de cobertura. Estas diferencias entre los tratamientos parecerían estar relacionadas a déficit de agua por falta de precipitaciones y al aporte de la freática relativo a la profundidad.

Tabla 19: Cobertura del suelo (%), estadio fenológico y profundidad de la freática (cm) para los 5 tratamientos de Soja DM 5.5i al 10/02/2011

DM 5.5i - 10/02/11			
Tratamiento	% de Cob	Fenología	NF (a la fecha)
T1	100	R2	-146
T2	100	R2	-173
T3	100	R2	-234
T4	92,8	R3	-276
T5	75,2	R3	-358

En el momento en el que se midió el porcentaje de cobertura del suelo y el NF, todos los tratamientos se encontraban dentro de R5, aunque con diferencias dentro de este estado fenológico, pudiéndose observar adelantos en los tratamientos con napa más profunda (Tabla 20). Los porcentajes de cobertura de la Tabla 20 cambiaron muy poco respecto de la medición anterior (Tabla 19), esto podría deberse a que en los tratamientos con napa más alejada los fuertes déficit de precipitaciones no fueron compensados por aportes de agua desde la freática y no le permitieron al cultivo crecer.

Tabla 20: Cobertura del suelo (%), estadio fenológico y profundidad de la freática (cm) para los 5 tratamientos de Soja DM 5.5i al 07/03/2011

DM 5.5i - 07/03/11			
Tratamiento	% de Cob	Fenología	NF (a la fecha)
T1	100	R5	-177
T2	100	R5	-189
T3	100	R5	-250
T4	96	R5	-299
T5	76,6	R5	-385

DM 5.5i comenzó a tener diferencias fenológicas en T4 y T5 a partir de R3 donde estos tratamientos adelantaron su fenología 6 días respecto del resto (Tabla 21). Esta disparidad de días se mantuvo en T4 hasta cosecha. En el caso de T5 la diferencia fue creciendo y llegó a R8 con 10 días de antelación respecto de los ambientes con napa más superficial y 7 días respecto de T4. En esta variedad, ocurrió que el T1 no había finalizado su ciclo cuando debió ser cosechada. Podemos ver en este caso que DM 5.5i tendría más flexibilidad en su comportamiento fenológico respecto de DM 4210 y que en años con escasas precipitaciones, en ambientes con napa muy somera y de buena calidad, su fenología sería más larga respecto de lugares sin influencia de napa.

Tabla 21: Estadios fenológicos reproductivos de Soja DM 5.5i de los tratamientos expresados en días desde de la siembra (dds).

Trat.	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
T1	72	83	100	111	125	139	153	* No llegó
T2	72	83	100	111	125	139	153	160
T3	72	83	100	111	125	139	153	160
T4	72	83	94	105	115	135	146	153
T5	72	83	94	100	111	132	141	150

* Fue cosechada antes de que finalizara su ciclo con gran % de humedad en los granos (por encima de 30 %, por lo que no era posible de determinar con los instrumentos convencionales utilizados para tal fin), granos verdes y la totalidad de las plantas revolcadas.

El cultivo de Soja tendría tendencia a acortar su ciclo fenológico ante deficiencias hídricas prolongadas. Por lo tanto en lotes destinados a Soja, con ambientes similares a T5, donde el rendimiento depende en gran medida de las lluvias, habría que buscar variedades de ciclo largo, que puedan mantener fenofases prolongadas, ya que de esta manera existirían mayores probabilidades de captar precipitaciones (de la Vega y de la Fuente, 2003).

4.2-Producción de granos

4.2.1. Maní

4.2.1.1. Relación entre el NF medio y el rendimiento en grano

La respuesta del rendimiento de Maní a la profundidad de la napa tiene tendencia lineal, con una respuesta media de 26,7 Kg/ha por cada cm de aumento en el nivel de agua libre de la napa. Para profundidades de napa dentro del rango de 120cm a 350cm el grado de correlación entre las dos variables es muy elevado (Figura 28).

Estos aumentos en el rendimiento podrían deberse a que en los ambiente con napa más cercana el cultivo consumiría gran cantidad del agua que necesita, gastaría menos energía para tomarla y podría por lo tanto utilizarla con mayor eficiencia que en ambientes con napa más alejada (ver punto 4.3.1). Este aporte de agua subterráneo genera rendimientos superiores los obtenidos con riego por goteo por Cerioni, (2003) 4736 Kg/ha, Uberto, (2008) 5776 Kg/ha y Lorenzo, (1993) 5215 Kg/ha y en riego con pivot central por Soave, (1990) 4597 Kg/ha.

A medida que se aleja la napa de la superficie el aporte de agua al cultivo es gradualmente menor, y este comienza a depender en mayor medida de la ocurrencia de precipitaciones.

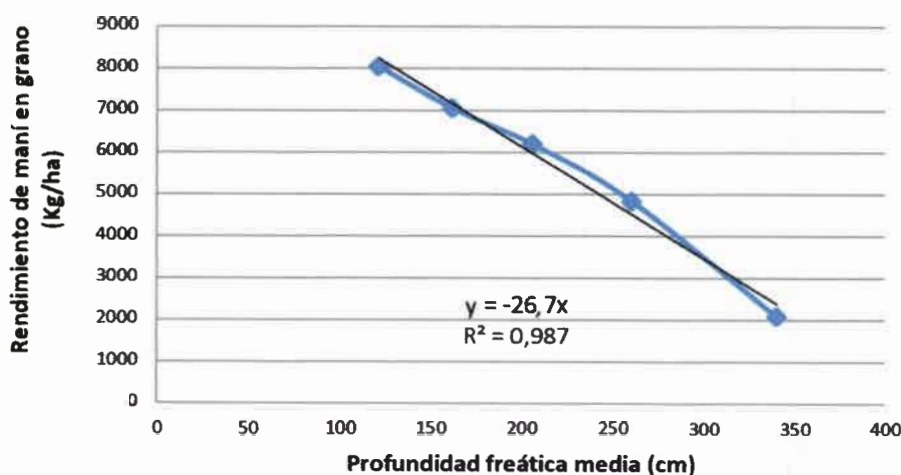


Figura 28: Modelo de respuesta de rendimiento de Maní (kg/ha) en grano a la profundidad freática (cm).

Los resultados que se observan de la relación entre el rendimiento en granos y la profundidad freática (Figura 28 y 29) para los tres tratamientos con napa más somera, son explicados debido que el cultivo de Maní puede extraer entre 250 y 300 mm en el rango de profundidad que va entre 100 y 200 cm, llevando el cultivo hasta su rendimiento potencial debido a la alta disponibilidad combinada con la alta EUA. En el rango de entre 200 y 300 cm comienza a caer el agua que las raíces pueden extraer de la napa, consumiendo unos 80 mm de agua de la misma con los cuales se obtiene muy buenos rendimientos, debido a la disponibilidad hídrica y a que mantiene la EUA. A partir de los 300 cm de profundidad el cultivo no puede tomar agua de la freática y aunque explora el suelo y extrae toda el agua que le es posible, no logra buenos rendimientos. Esto se debe principalmente a la brusca caída de la EUA que genera el gasto energético de buscar agua a mayor profundidad o extraer agua que está absorbida a mayor presión en el suelo (Ver punto 4.3.1).

Puede observarse en la Figura 29, que las diferencias entre tratamientos van ocurriendo de manera progresiva y que entre los tratamientos contiguos no se observaron diferencias estadísticamente significativas, salvo entre T4 y T5.

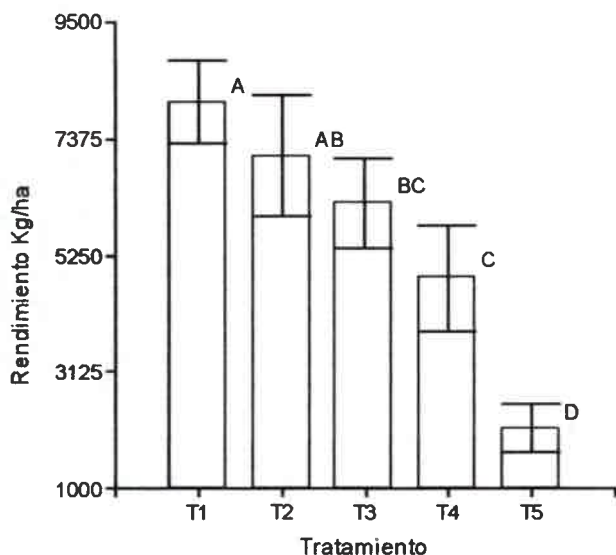


Figura 29: Rendimiento en grano de Maní Granoleico (Kg/ha) para los 5 tratamientos.

4.2.1.2. Relación entre el NF medio y la madurez de los frutos

La respuesta de la madurez de los frutos a la profundidad de la napa freática tiene una tendencia lineal con un crecimiento medio de 1,8% por cada cm de aumento en el rango de NF que va desde 100 a 350 cm, existiendo una alta correlación entre las variables. Se observa que esta respuesta, es lineal entre los 350 y 250 cm y tiende a aplanarse entre los 200 y 250 cm, para luego elevarse con una mayor pendiente hacia las menores profundidades (Figura 30).

Las distintas disponibilidades hídricas del cultivo de acuerdo a su ubicación en la transecta de suelos podrían generar alteraciones en la fenología y disminuir de esta manera el ritmo de los procesos de calvado y de formación de frutos generando distintos grados de maduración (Cerioni, 2003; Chapman *et al.*, 1993; Sexton *et al.*, 1997).

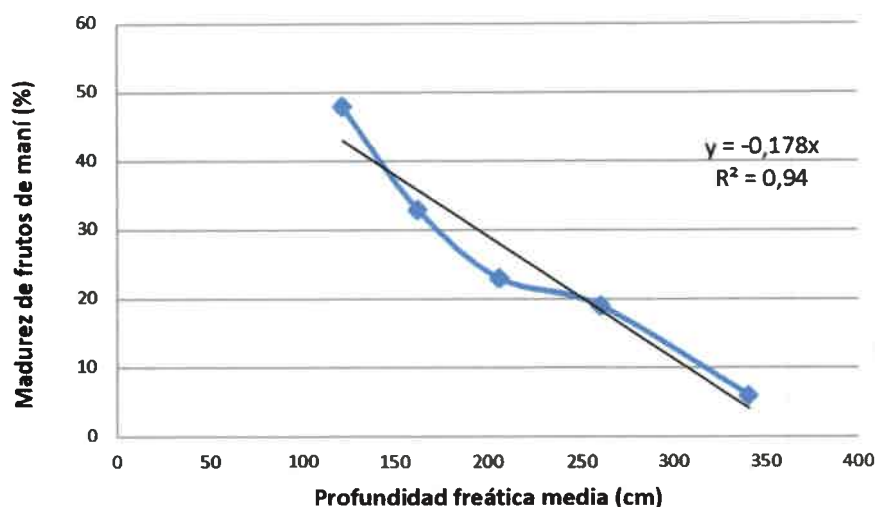


Figura 30: Modelo de respuesta de la madurez de frutos (%) a la profundidad freática (cm).

Para el caso de la madurez de los frutos se tomaron muestras en el campo al momento de decidir la labor de arrancado. Estas muestras no se diferenciaron, por lo tanto no se pudo hacer el ANAVA correspondiente y solo se cuenta con el valor medio de cada uno de los tratamientos.

La madurez de los frutos es afectada por el estrés hídrico, principalmente por la falta de agua en la zona de clavado (0-5cm). Una mala condición hídrica genera alteraciones en el ritmo del proceso de clavado en inicio de formación de frutos, que pueden llegar a detenerse hasta que se mejore la condición de humedad (Cerioni, 2003; Ono *et al.*, 1974; Sexton *et al.*, 1997; Skelton y Shear, 1971).

4.2.1.3. Relación entre el NF medio y la relación grano/caja

La respuesta de la relación grano/caja a la profundidad de la napa tendría tendencia a aumentar linealmente 7% por cada 100 cm de aumento del nivel freático desde los 350 hasta los 200 cm de profundidad, de aquí en adelante se observa un Plateau, hasta los sitios con napa a 100 cm de profundidad donde las diferencias son mínimas (Figura 31).

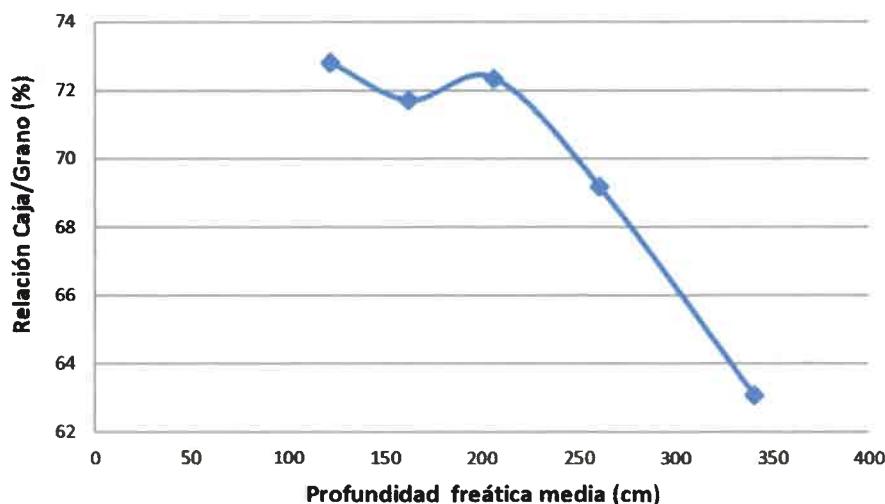


Figura 31: Modelo de respuesta entre la relación grano/caja (%) y la profundidad freática (cm).

Es probable que la falta de diferencias significativas entre T1, T2, T3 y T4 se deba a que, la influencia de la napa freática le permitió lograr buenas condiciones de clavado y de desarrollo de los frutos, inclusive a los tratamientos con napa a 200 cm de profundidad.

La relación grano/caja fue afectada en mayor medida en el T5, debido a las condiciones de sequía que se le generaron en el suelo al comienzo de R1 y que se extendieron hasta finales del ciclo reproductivo, lo que generó alteraciones en el desarrollo y no le permitió una buena traslocación de asimilados a los frutos en formación. Resultados similares fueron reportados por Ferreira *et al.*, (1992) para estudios realizados en Brasil y por Cerioni, (2003) en estudios locales.

En la Figura 32, puede observarse que no hay diferencias significativas entre los primeros 4 tratamientos. Para esta variable existen diferencias estadísticamente significativas solo para T5, aunque puede observarse una tendencia en el aumento de la relación grano/caja a medida que la napa está más superficial.

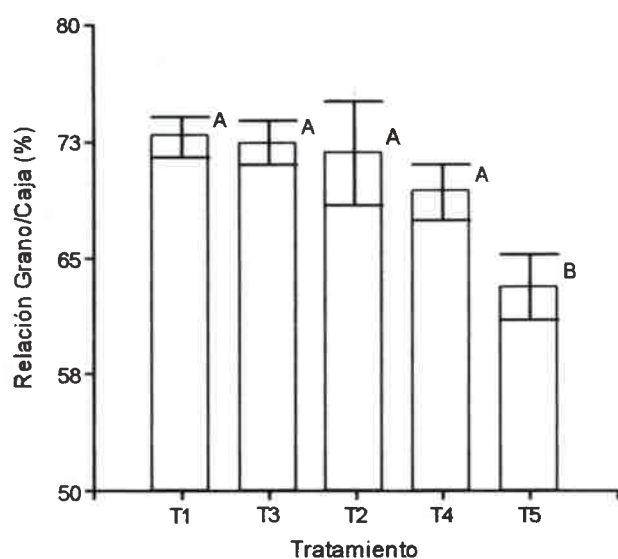


Figura 32: Relación grano/caja (%) de Maní Granoleico para los 5 tratamientos.

4.2.1.4. Relación entre el NF medio y el porcentaje de granos confitería

De manera muy similar a lo ocurrido con la relación grano/caja, la respuesta del porcentaje de granos confitería a la profundidad de la napa aumentaría linealmente 0,17% por cada cm de aumento del nivel freático desde los 350 cm hasta los 200 cm de distancia a la napa (Figura 33). A partir de esta profundidad se observa un Plateau, entre este último y los sitios con napa a 100 cm de profundidad.

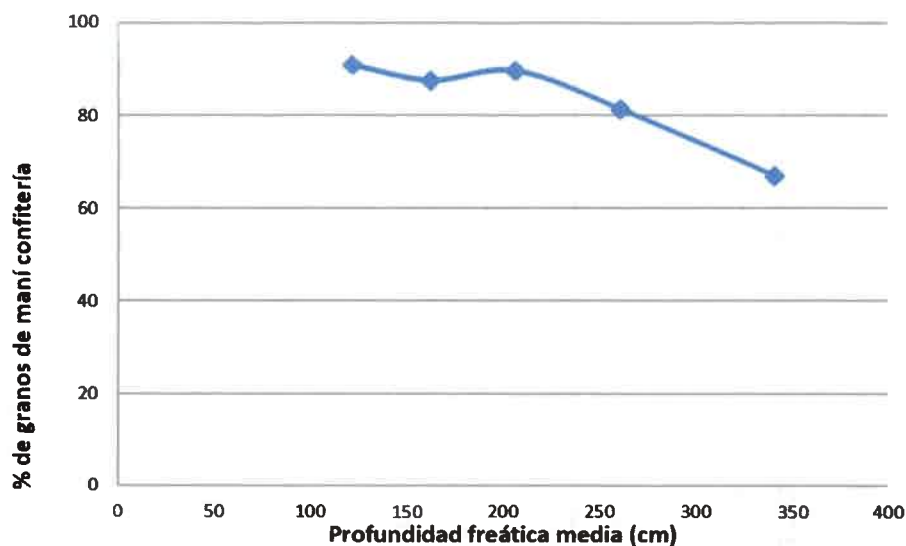


Figura 33: Modelo de respuesta del porcentaje de granos de Maní confitería y la profundidad freática (cm).

En los tratamientos con napa más superficial el cultivo tuvo un desarrollo muy similar y casi sin diferencias en el porcentaje de granos confitería, lo que podría deberse a que en estos lugares de la transecta de suelos, la planta tuvo la cantidad de agua suficiente para llevar adelante su crecimiento y desarrollo de manera normal y con diferencias mínimas entre ellos.

En los tratamientos con freática más alejada (T4 y T5), la disminución del % de frutos maduros puede ser explicada en gran medida debido al atraso que generó la sequía a inicios del estadio reproductivo del cultivo. En estas condiciones se produce poca cantidad frutos en etapas tempranas del cultivo y los que se forman luego, una vez restablecida la condición hídrica, tienen condiciones de temperatura y radiación de menor calidad para desarrollarse (Cerioni, 2003). Los tratamientos antes mencionados, en mayor o menor medida de acuerdo a su ubicación en la transecta de suelos, sufrieron estrés hídrico durante casi todo su período reproductivo por lo que la calidad (granulometría) de los granos logrados fue menor.

En la Figura 34 se muestra que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los primeros 3 tratamientos (T1, T2, T3). Se observa además, que las diferencias estadísticamente significativas se dan entre los tratamiento con napa a menos de 200 cm y aquellos con napa a más de 200 cm (T4 y T5), los que también tienen diferencias significativas entre sí.

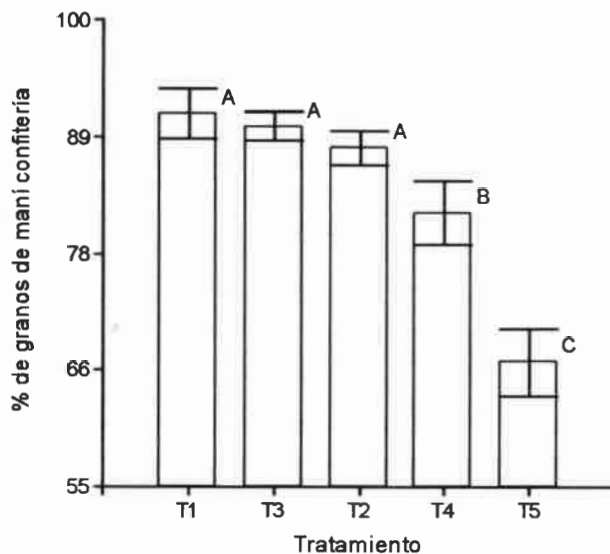


Figura 34: Porcentaje de granos de Maní confitería para los 5 tratamientos.

4.2.2. Soja

4.2.2.1. Relación entre el NF medio y el rendimiento en grano de DM 4210

La respuesta del rendimiento de Soja DM 4210 a la profundidad de la napa tendría una tendencia lineal, con una respuesta media de 17,3 Kg/ha por cada cm de aumento del nivel de agua libre de la napa en el rango que va desde 100 a 300 cm de profundidad de NF. Se observa además, un muy elevado grado de correlación entre estas dos variables (Figura 35).

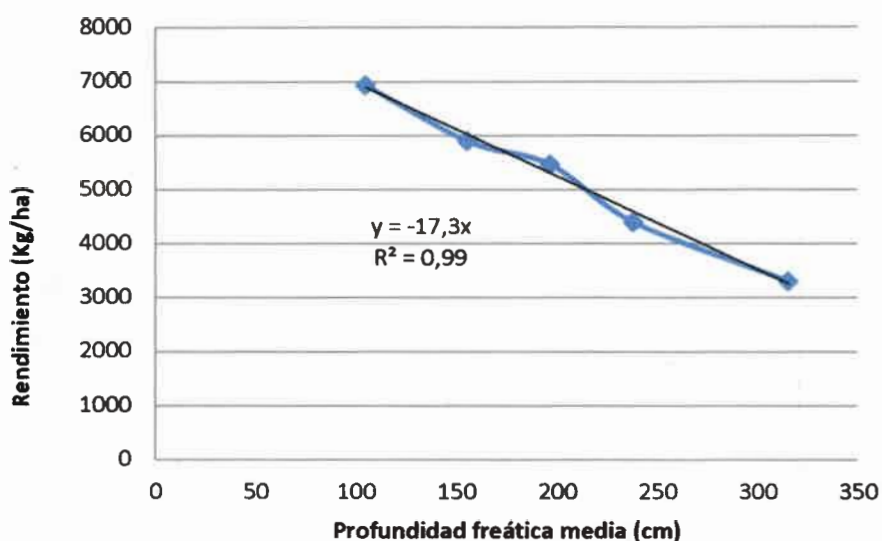


Figura 35: Modelo de respuesta del rendimiento (Kg/ha) de Soja DM 4210 en grano a la profundidad freática (cm).

De acuerdo con los resultados obtenidos por ANAVA, las diferencias entre los rendimientos de las parcelas con distintas profundidades medias de freática, tienen significancia estadística.

Puede observarse en la Figura 36, que coincidiendo con lo ocurrido en el caso del rendimiento de Maní, las diferencias van sucediendo de manera progresivas y los tratamientos adyacentes no tienen diferencias significativas entre sí.

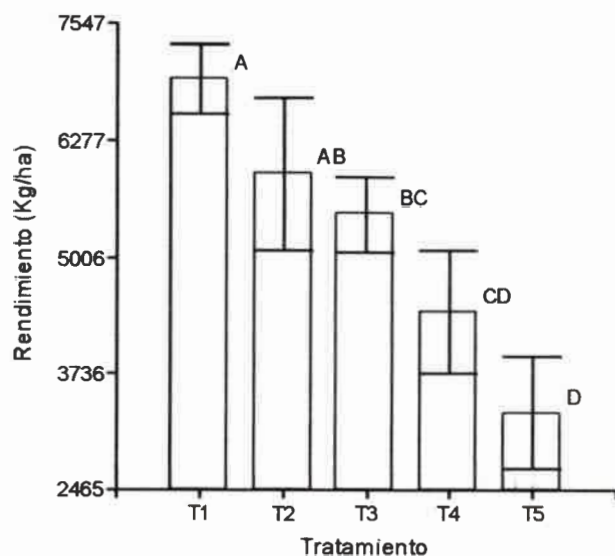


Figura 36: Rendimiento en granos (Kg/ha) de Soja DM 4210 para los 5 tratamientos.

Los resultados muestran que la disponibilidad de agua de la napa para el cultivo fue fundamental para la definición del rendimiento de granos (Figura 35 y 36). Los tres tratamientos con napa más somera (T1, T2, T3) muestran que la Soja DM 4210 puede extraer entre 250 y 450 mm de agua en el rango de profundidad que va entre 100 y 200 cm llevando el cultivo hasta rendimientos cercanos a los potenciales para estas latitudes (Cholaky *et al.*, 1986). En el rango de entre 200 y 300 cm comienza a caer el rendimiento, junto con el agua que las raíces pueden extraer de la napa, que ronda los 170 mm de agua. A partir de los 300 cm de profundidad el cultivo no puede tomar agua de la freática, aunque explora el suelo y extrae toda el agua que le es posible (Ver punto 4.3.2).

4.2.2.2. Relación entre el NF medio y el peso de mil semillas de DM 4210

El modelo muestra una tendencia a que el peso de mil semillas aumente junto con el aumento en el nivel freático medio de la napa. Si se traza una recta entre estos valores se observar un crecimiento de 0,81 gramos en el peso de las semillas, por cada cm de incremento del nivel freático (Figura 37).

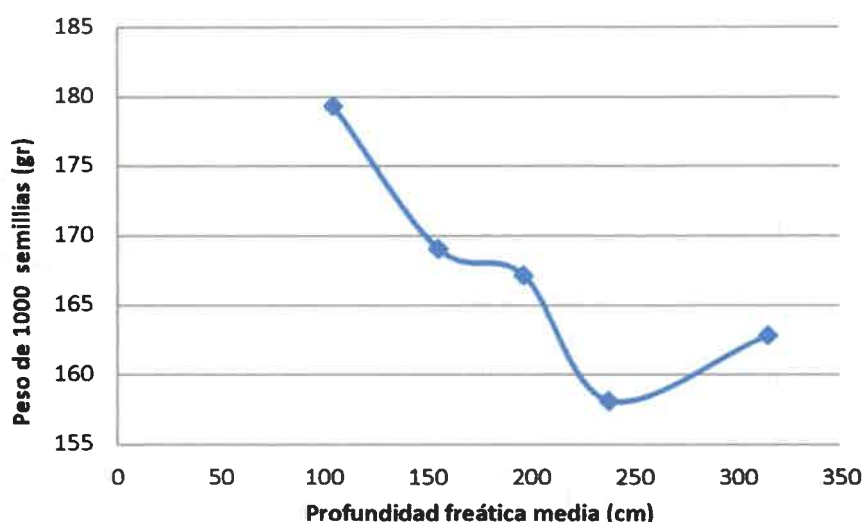


Figura 37: Modelo de respuesta del peso de mil semillas (gr) de DM 4210 a la profundidad freática (cm).

En Soja, tanto la cantidad de flores diferenciadas como el número de semillas por planta son proporcionales a la disponibilidad de recursos por planta durante un amplio período reproductivo (Valentinuz *et al.*, 1996). El peso de los granos es creciente a medida que aumenta el nivel freático (Figuras 37). La disminución del peso de mil semillas en el T4 respecto del T5, puede ser explicada debido a que T4 tuvo una buena cantidad de agua para fijar el número de granos y al momento de llenarlos eran demasiados para una limitada disponibilidad de asimilados, disminuyendo el peso de los mismos (Andrade *et al.*, 2000a; Andrade y Ferreiro, 1996; Egli, 1999). Es muy probable que esto se deba a que la planta tomó agua de la napa hasta el momento de fijación del número de granos y al momento de llenado la napa se encontraba demasiado profunda para tener acceso al agua que necesitaba. En el T5, en cambio, las condiciones para fijar

el número de granos no fueron optimas, sin acceso al agua de la freática y con escasa condiciones hídricas del suelo, reduciendo la cantidad de los mismos, y al momento de llenarlos, si bien las condiciones fueron igual de malas que para T4, al tener menos cantidad de destinos puedo enviar sus asimilados a un menor número de granos generando un mayor peso (Kantolic *et al.*, 2003).

En la Figura 38, puede observarse que existen diferencias estadísticamente significativas entre T1, donde la freática fue más superficial y T3, T4, T5 donde la napa se encontró marcadamente más profunda.

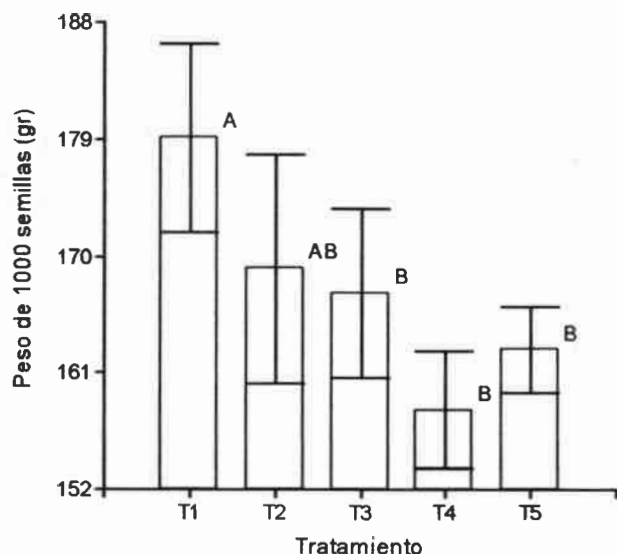


Figura 38: Peso de mil semillas de Soja (gr) DM 4210 para los 5 tratamientos.

4.2.2.3. Relación entre el NF medio y el rendimiento en grano de DM 5.5i.

La respuesta de rendimiento de DM 5.5i a la profundidad media de la freática podría dividirse en dos: la primera es la que se da en el rango entre 100 y 150 cm donde ocurre un crecimiento exponencial del rendimiento y el cultivo logra rendimientos cercanos a los potenciales para estas latitudes (Cholaky *et al.*, 1986), esto no puede ser extrapolado a profundidades menores a 100 cm. La segunda es la que se da entre 150 y 350 cm de NF, donde es posible observar incrementos del rendimiento de 8,6 kg por cada cm de aumento del NF.

El resultado del comportamiento de DM 5.5i a la profundidad de la napa freática puede ser expresado como un modelo lineal con una respuesta media de 14,2 kg de grano por cada cm de aumento del NF con un grado de correlación aceptable (Figura 39).

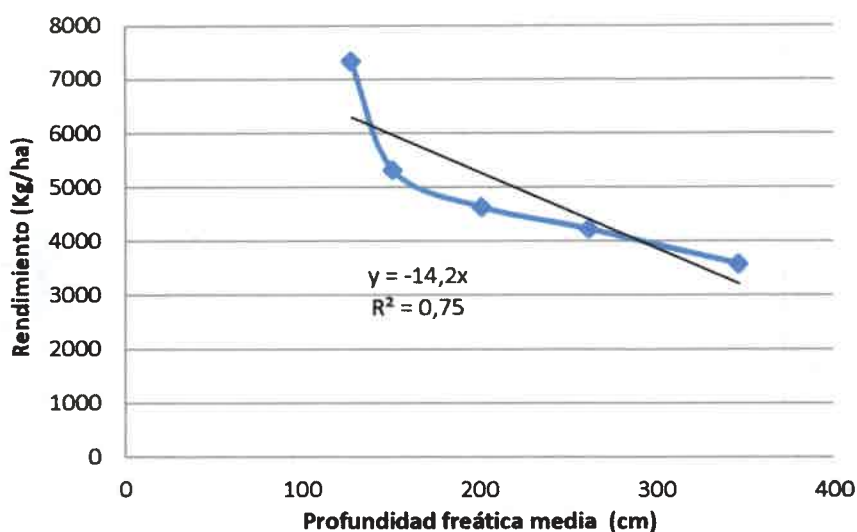


Figura 39: Modelo de respuesta de rendimiento en grano (Kg/ha) de Soja DM 5.5i a la profundidad freática (cm).

Al igual que para los casos anteriores la profundidad de la freática fue crucial para definir el rendimiento del cultivo (Figuras 39 y 40). En el tratamiento con napa más superficial (T1) la Soja consumió 425 mm de agua, llevando el cultivo a rendimientos cercanos a su potencial (Cholaky *et al.*, 1986). En el T2 el rendimiento baja de manera considerable en relación al T1, esto puede deberse no solo a un menor aporte de la freática (270 mm), sino también a una disminución de la EUA. En los tratamientos sucesivos (T3, T4 y T5) puede verse como bajan los rendimientos asociados a un menor aporte de la freática (Ver punto 4.3.2).

En la Figura 40 puede observarse que existen diferencias estadísticamente significativas entre el tratamiento con napa más cercana (T1) y los demás tratamientos. Para el resto de los tratamientos solo hay diferencias significativas entre los más extremos (T2 y T5).

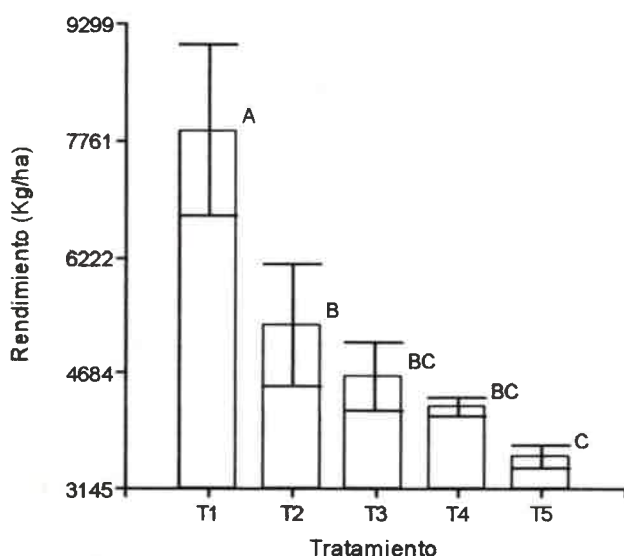


Figura 40: Rendimiento en granos (Kg/ha) de Soja DM 5.5i para los 5 tratamientos.

4.2.2.4. Relación entre el NF medio y el peso de mil semillas de DM 5.5i

El modelo muestra una tendencia a que el peso de mil semillas aumente junto con la suba del nivel freático medio de la napa. Si se trazara una recta entre estos valores se observaría un crecimiento de 0,73 gramos en el peso de las semillas, por cada cm de incremento del nivel freático.

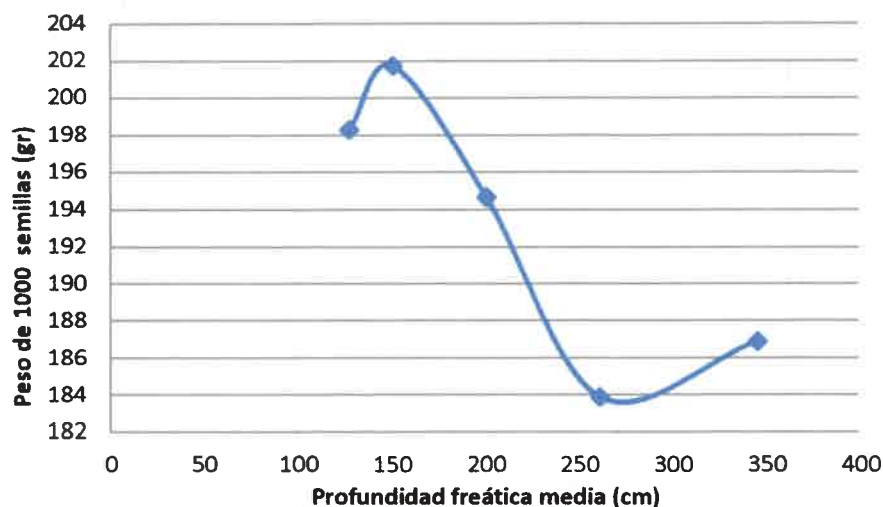


Figura 41: Modelo de respuesta del peso de mil semillas (gr) de DM 5.5i a la profundidad freática (cm).

Se puede observar (Figura 40 y 41) que el peso de los granos de DM 5.5i es creciente a medida que aumenta el nivel freático y, que entre T4 y T5 ocurre algo similar a lo ocurrido en la Soja DM 4210, lo cual se daría por razones similares. Para esta variedad se puede observar la particularidad de que se ocurre una disminución del peso de mil semillas entre T1 y T2, lo que puede ser explicado debido a que T1 extendió su fenología más que el resto de los tratamientos y al momento de recolección de las muestras los granos no habían terminado de madurar lo que debió afectar el peso de los mismos,

En la Figura 42, puede observarse que solo existen diferencias estadísticamente significativas entre T2 y los últimos 2 tratamientos de la transecta de suelos (T4 y T5) donde la napa se encontraba a mayor profundidad.

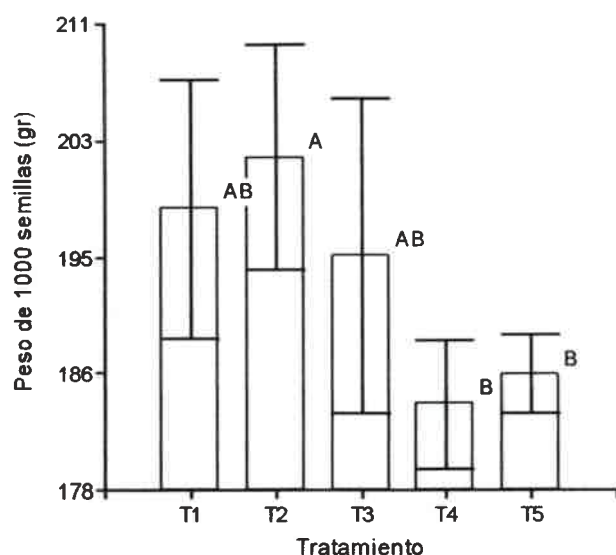


Figura 42: Peso de mil semillas de Soja (gr) DM 5.5i para los 5 tratamientos.

Alcances y limitaciones de los modelos

Los altos rendimientos requieren la combinación de un ambiente que provea de los recursos necesarios y de la genética de cultivo apropiada que le permita tomar ventaja de esos recursos. Dentro de los recursos que la planta necesita para lograr altos rendimientos están: la radiación, el agua, los nutrientes y una estación de crecimiento lo suficientemente larga. Cuando estos no son limitantes, la planta crece de manera lineal durante todo su ciclo interceptando una mayor cantidad de radiación (Purcell, 2006).

En el esfuerzo por entender mejor las relaciones entre los cultivos y la profundidad de la napa, en la región del sur de Córdoba, se han generado modelos que tratan de explicar la manera en que se comportan algunas variables (principalmente rendimiento) respecto de la profundidad de la napa.

Utilizando mapas geoposicionados de napas y de rendimiento para dos años con regímenes de precipitación contrastantes, Noretto *et al.*, (2009) obtuvieron modelos de respuesta a la profundidad freática para tres cultivos, trigo, maíz y Soja. Los modelos obtenidos son similares entre sí, formando campanas de Gauss con una zona central óptima, donde se obtienen los mayores rendimientos, independientemente del régimen pluviométrico.

Con métodos similares Bollati y Bollati, (2010) obtuvieron modelos que no distan de los descriptos por Noretto *et al.*, (2009).

Estos modelos, debido a que utilizan mapas de profundidad freática y de rendimiento, cuentan con una gran cantidad de datos de los que se desprende una tendencia marcada, aunque es importante decir que se observa además una considerable dispersión de los datos respecto de su punto medio.

Utilizando una metodología similar al de este trabajo, Sainz, (2009) obtuvo un modelo de respuesta del rendimiento de girasol a la profundidad de la napa freática. Este modelo a diferencia de los presentados por Bollati y Bollati, (2010) y Noretto *et al.*, (2009), tiene una tendencia lineal donde el rendimiento crece a medida que aumenta

el nivel freático. Debido a las condiciones climáticas del año, este autor no pudo hallar la profundidad freática mínima a la que el rendimiento comienza a declinar por exceso de agua. El estudio realizado sobre girasol presenta tendencias similares a las que se muestran aquí para el rendimiento de Soja y Maní.

Los modelos que se desarrollaron en este trabajo para las distintas variables estudiadas, solo tienen validez para el rango de profundidades de napa considerado. Es de destacar que debido a la escasa ocurrencia de precipitaciones, los niveles freáticos bajaron progresivamente y se mantuvieron de esta manera durante la mayor parte del ciclo. Esto hizo que no fuera posible medir la profundidad crítica a partir de la cual los cultivos comenzarían a sufrir por excesos de agua haciendo declinar las variables estudiadas.

A excepción de la madurez de los frutos de Maní, para todos los casos estudiados en los dos cultivos, se comprobaron los supuestos de Normalidad y Heterogeneidad de la Varianza mediante Shapiro Wilks (modificado) y test de Levene respectivamente, el supuesto de independencia no pudo realizarse porque faltaron datos precisos sobre la secuencia entre el tiempo y el espacio en que se recolectaron los datos. De todas maneras por la magnitud los valores de p de los dos supuestos analizados es posible decir que no hay alejamientos importantes de la normalidad y no hay un patrón de heterogeneidad de la varianza relevante. Por lo tanto es factible afirmar que las inferencias de los ANAVA son válidas.

4.3. Eficiencia de uso de agua y aportes de agua de la freática

4.3.1. Maní

Los resultados muestran que la EUA y el rendimiento del cultivo, varían dependiendo de la disponibilidad hídrica que genera la napa en los estratos más superficiales y disminuye marcadamente a medida que baja el NF y con este la disponibilidad de agua (Tabla 22).

Analizando las distintas profundidades estudiadas por separado, se observa una disminución en la EUA a medida que la napa se encuentra más profunda (Tabla 22), esto puede ser explicada en parte por la mayor extracción de agua desde los estratos más profundos del perfil de suelo, lo que indicaría un mayor gasto energético por parte de la planta y que se vería reflejado en las diferencias de rendimiento (Uberto, 2008). Es probable que en los tratamientos con freática más profunda, el agua consumida por las plantas haya sido utilizada para mantener la biomasa generada hasta R2 y la producción de los granos originados en las primeras etapas de fructificación. Esto debió resentir significativamente la producción total de granos, ya que una vez que se restablecieron las condiciones hídricas el Maní repartió proporcionalmente más fotoasimilados a hojas que a granos y frutos, tal como describe Cerioni, (2003).

Los valores de EUA obtenidos en el ensayo para Maní con napa más somera (T1) (Tabla 22) son similares que cita la bibliografía en general para condiciones de riego sin restricciones y cuando vamos a la situación donde la napa no tuvo influencia (T5), la EUA es 2,5 veces menor. Estos resultados son muy similares a los obtenidos por Uberto, (2008) para la variedad Tegua (parental de Granoleico). Boote, (1982) y Collino *et al.*, (2000) con otras variedades también encontraron marcadas diferencias en la EUA de Maní para situaciones de secano y riego.

Los valores de consumo que se desprenden de los análisis realizados para los 5 tratamientos podrían asemejarse a los valores de ETR para rendimientos potenciales del cultivo (Boote y Ketring, 1990; Dardanelli, 1982; Pedellini y Cassini, 1998; Uberto, 2008). A pesar de esto, es posible observar como los primeros cuatro tratamientos tienen rendimiento acordes a los mm evapotranspirados y no así el T5 donde el rendimiento fue mucho menor. Esto puede ser explicado por la EUA de este último, relacionado con un mayor gasto energético para extraer el agua de estratos de suelo más profundos (Uberto, 2008).

El consumo de agua de la freática de Maní Granoleico fue de entre 300 y 80 mm dependiendo de la posición topográfica y la profundidad de suelo que sea considerada. Esto representa en el valor máximo un 37% del total de agua consumida por el cultivo y en el valor mínimo un 13% de la misma.

Tabla 22: Consumo de agua de la freática (mm), Eficiencia en el uso del agua (Kg de grano/ha.mm) para diferentes profundidades de raíces en cultivo de Maní y Rendimiento (Kg/ha).

Maní						
Profundidad	Variable estimada	Posición topográfica				
		T1 Bajo	T2 M. Loma	T3 M. Loma	T4 M. Loma	T5 Loma
160 cm	Consumo del NF (mm)	296	268	244	78	0
	Contribución de la napa (%)	37	35	33	14	0
	EUA (Kg grano/ha.mm)	10,1	9,2	8,14	8,4	4,2
	Consumo (mm) Suelo + Napa	792	764	740	574	496
180 cm	Consumo del NF (mm)	278	267	243	81	0
	Contribución de la napa (%)	34	33	31	13	0
	EUA (Kg grano/ha.mm)	9,93	8,83	7,77	7,88	3,93
	Consumo (mm) Suelo + Napa	810	800	775	614	533
200 cm	Consumo del NF (mm)	240	266	241	85	0
	Contribución de la napa (%)	30	32	30	13	0
	EUA (Kg grano/ha.mm)	9,93	8,44	7,43	7,39	3,67
	Consumo (mm) Suelo + Napa	810	836	811	655	570
	Rendimiento en Kg/ha	8047	7058	6205	4840	2094

El Maní tiene raíces que superan 100 cm de profundidad, sin embargo estudios previos sugieren que es más afectado por el agua del suelo de los estratos superiores del perfil (Benett *et al.*, 1984). Para Maní runner de 154 días de ciclo y suelos Haplustoles énticos franco arenosos se estimó que la máxima profundidad de raíces es de 150 cm (Dardanelli *et al.*, 1997) coincidiendo con lo citado por Wright y Nageswara Rao, (1994). Uberto, (2008) especifica que para suelos Haplustoles las raíces de Maní runner llegan hasta los 100 cm de profundidad en R5 y que alcanzan los 200 cm en R7, aunque la profundidad y la velocidad de crecimiento son relativas a la humedad edáfica. Este autor da indicios de que la profundidad del cultivo al final del ciclo puede superar los 200 cm. Cisneros *et al.*, (2004b) consideran que una profundidad enraizamiento de 120 cm explica la mayor parte del consumo de agua de este cultivo, en coincidencia con Matthews *et al.*, (1988) quienes encontraron que para suelos arcillosos la capacidad de extracción de agua y la profundidad de raíces llegaba escasamente los 120 cm, citado por Dardanelli *et al.*, (1997).

El cultivo de Maní es típico del centro-sur de la provincia de Córdoba, por lo tanto los datos de los que se dispone sobre EUA a nivel país son en su mayoría regionales. Uberto, (2008) obtuvo con Maní variedad Tegua (parental de Granoleico),

en la zona de Río Cuarto, 11,1 kg/ha.mm, 4,4 kg/ha.mm y 3,4 kg/ha.mm para situaciones de riego, secano y estrés inducido. Se han hallado además en Córdoba (Arg) para Florman INTA y Manfredi 393, bajo riego, valores de EUA de 11,3 kg/ha.mm y 12,4 kg/mm y bajo condiciones de estrés valores de 2,2 kg/ha.mm y 7,5 kg/ha.mm respectivamente (Collino *et al.*, 2000). Esta última marcada diferencia de EUA ante condiciones de sequía es atribuida a las diferentes capacidades de extracción de agua de las variedades. Esta variabilidad genética de Maní ha sido reportada por diferentes autores (Chapman *et al.*, 1993; Matthews *et al.*, 1988; Wright *et al.*, 1991) citados por Collino *et al.*, (2000).

Bajo condiciones del sudoeste de los Estados Unidos y con consumos de entre 500 y 600 mm bien distribuidos, Boote y Ketring, (1990) obtuvieron rendimientos de entre 45 a 50 qq/ha. En Catamarca (Argentina) consumos de 700 mm coincidieron con rendimientos de 46 qq/ha (Dardanelli, 1982), mientras que para la provincia de Córdoba, Pedellini y Cassini, (1998) con consumos de 705 mm reportó rendimientos de 57,8 qq/ha. y en Río Cuarto (Córdoba) Uberto, (2008) con 522 mm consiguió 57,7 qq/ha.

4.3.2. Soja

En cultivo de Soja el rendimiento varía con la disponibilidad hídrica que generan las distintas profundidades de la napa, aunque la EUA se mantiene estable, con muy pequeñas variaciones entre los tratamientos (Tabla 23 y 24).

Analizando por separado las distintas profundidades y comparando las EUA de las dos variedades de Soja estudiadas, se puede observar, que esta propiedad tendría tendencia a ser más estable en la Soja de ciclo corto (DM 4210) que en la de ciclo largo (DM 5.5i). Para los tratamientos T2, T3, T4 y T5, la Soja de ciclo corto mostró una EUA superior en aproximadamente 1 kg grano/ha.mm respecto de su par de ciclo largo. Dentro de los resultados, el único caso donde DM 5.5i tuvo valores similares y hasta ligeramente más elevados de EUA, es en T1 donde la napa estaba más cercana. En este tratamiento se podría haber especulado que la variedad de ciclo más corto iba a tener una mejor EUA, e incluso un mayor rendimiento, lo que tampoco ocurrió. En el otro extremo de la transecta de suelos, en el T5, la Soja DM 5.5i tuvo una menor EUA que DM 4210, aunque con un mayor rendimiento. Esto podría deberse a que por el largo de su período DM 5.5i puede captar más cantidad de agua de las lluvias y expresarla en kg de grano (de la Vega y de la Fuente, 2003; Kantolic y Satorre, 2004).

Los valores de consumo obtenidos en los tratamientos de las dos variedades (Tabla 23 y 24), son relativamente más altos que los obtenidos por Della Magiora *et al.*, (2000); Quaglietta Charandá y Mori, (1994) y Scott *et al.*, (1987) que están en el orden de 450 a 550 mm de agua durante el período del cultivo. Los consumos citados por los autores antes nombrados se obtuvieron para Sojas de ciclo más corto y son similares a los obtenidos en T4 y T5 donde la Soja no tuvo toda el agua que podría haber consumido. En los tres tratamiento con napa más somera, el consumo fue muy elevado debido a la disponibilidad de agua que generaba la freática, lo que le permitió al cultivo evapotranspirar la mayor parte de lo que requería la atmosfera alcanzando rendimientos cercanos a los potenciales (Morla y Giayetto, 2012).

Los aportes estimados de la napa a DM 4210 y DM 5.5i fueron variables y estarían entre 450 y 170 mm, y 425 y 210 mm respectivamente, dependiendo de la posición topográfica y la profundidad de suelo que sea considerada. Esto representa en

general un aporte de la napa de, entre 50% y 25% del agua total consumida por el cultivo.

Tabla 23: Consumo de agua de la freática (mm), Eficiencia en el uso del agua (Kg de grano/ha.mm) para diferentes profundidades de raíces en cultivo de Soja DM 4210 y Rendimiento (Kg/ha).

Soja DM 4210						
Profundidad	Variable estimada	Posición topográfica				
		T1 Bajo	T2 M. Loma	T3 M. Loma	T4 M. Loma	T5 Loma
160 cm	Consumo del NF (mm)	454	289	245	171	0
	Contribución de la napa (%)	54	43	39	31	0
	EUA (Kg grano/ha.mm)	8,32	8,83	8,75	8,0	8,75
	Consumo (mm) Suelo + Napa	834	669	625	551	380
180 cm	Consumo del NF (mm)	411	288	248	173	0
	Contribución de la napa (%)	49	41	37	29	0
	EUA (Kg grano/ha.mm)	8,32	8,31	8,16	7,4	7,83
	Consumo (mm) Suelo + Napa	834	711	670	596	423
200 cm	Consumo del NF (mm)	369	287	251	176	0
	Contribución de la napa (%)	44	38	25	37	0
	EUA (Kg grano/ha.mm)	8,32	7,85	7,64	6,88	7,12
	Consumo (mm) Suelo + Napa	834	752	716	641	465
	Rendimiento en Kg/ha	6943	5906	5469	4407	3310

Tabla 24: Consumo de agua de la freática (mm), Eficiencia en el uso del agua (Kg de grano/ha.mm) para diferentes profundidades de raíces en cultivo de Soja DM 5.5i y Rendimiento (Kg/ha).

Soja DM 5.5i						
Profundidad	Variable estimada	Posición topográfica				
		T1 Bajo	T2 M. Loma	T3 M. Loma	T4 M. Loma	T5 Loma
160 cm	Consumo del NF (mm)	425	277	151	94	0
	Contribución de la napa (%)	49	38	25	17	0
	EUA (Kg grano/ha.mm)	8,43	7,35	7,76	7,82	8,08
	Consumo (mm) Suelo + Napa	871	724	597	540	446
180 cm	Consumo del NF (mm)	383	278	155	84	0
	Contribución de la napa (%)	44	36	24	15	0
	EUA (Kg grano/ha.mm)	8,43	6,94	7,2	7,39	7,33
	Consumo (mm) Suelo + Napa	871	766	643	572	488
200 cm	Consumo del NF (mm)	341	278	160	74	0
	Contribución de la napa (%)	39	34	23	12	0
	EUA (Kg grano/ha.mm)	8,43	6,58	6,72	7,00	6,75
	Consumo (mm) Suelo + Napa	871	808	689	604	530
220 cm	Consumo del NF (mm)	299	279	164	64	0
	Contribución de la napa (%)	34	33	22	10	0
	EUA (Kg grano/ha.mm)	8,43	6,25	6,30	6,65	6,26
	Consumo (mm) Suelo + Napa	871	850	735	636	572
	Rendimiento en Kg/ha	7339	5317	4634	4227	3578

Dardanelli *et al.*, (1997) en suelos Haplustoles enticos franco arenosos y para Sojas grupo III (85 días de ciclo), V (112 días de ciclo) y VII (128 días de ciclo), estimaron profundidades de raíces de 130 cm, 190 cm y 220 cm respectivamente, atribuyendo estas diferencias al largo de sus periodos. Andriani, (2000) encontró en suelos Hapludoles del sur de Santa Fe para Sojas del grupo IV y V sembradas la primer quincena de noviembre una profundidad máxima promedio de 210 cm, alcanzada entre los 110 y 120 días de la siembra, cuando la Soja se encuentra en R 5,5. Este mismo autor halló para Sojas de segunda, sembradas la segunda quincena de Diciembre con variedades del grupo IV, profundidades máximas de raíces promedio de 190 cm, aunque la tasa de crecimiento en este caso fue más elevada logrando esta profundidad en solo 90 días.

Para el caso de Soja se han encontrado EUA entre 5-6 kg/ha.mm (Clawson *et al.*, 1987; Hattendorf *et al.*, 1988; Scott *et al.*, 1987), 11 kg/ha.mm (Quaglietta Charandá y Mori, 1994) y 9,1 kg/ha.mm en Balcarce (Arg) todos citados por Della Magiora *et al.*, (2000). Andrade y Sadras, (2000) citan que en el cultivo de Soja la eficiencia de conversión puede verse reducida en condiciones de estrés hídrico y que la estabilidad en su índice de cosecha es media comparada con girasol y maíz.

Sobre aporte de la napa a la evaporación de otros cultivos, Dardanelli *et al.*, (2003) citan, para maíz un 33% y para trigo un 50% del agua evapotranspirada, y para alfalfa entre 45% y 14% dependiendo de lugar y las características del año. Por otra parte Saks *et al.*, (2012) encontraron aportes de agua por parte de la napa de 16 a 67% del total de agua consumida por maíz en el este de La Pampa y el Oeste de Buenos Aires, valores que se ubican dentro del rango entre 18% y 70% reportados por Babajimopoulos *et al.*, (2007) y Sepaskhah *et al.*, (2003) respectivamente, ambos citados por Saks *et al.*, (2012).

La salinidad del suelo también afecta la disponibilidad de agua para los cultivos ya que la presencia de sales en exceso disminuye el potencial hídrico de la solución del suelo, determinando que una parte del agua que podría estar disponible para la planta quede retenida a potenciales tan altos que la raíz no la puede absorber. En consecuencia, en suelos salinos el valor del límite inferior en términos de humedad volumétrica aumenta, incrementando el agua residual no disponible para el cultivo subsiguiente (Dardanelli *et al.*, 2003). La salinidad del suelo y la freática no superaron en ningún caso 2,2 dS/m, valor que se considera no limitante para la máxima expresión del rendimiento de ninguna de las especies estudiadas (FAO, 2011).

VII. Conclusiones

Los resultados obtenidos en los distintos ensayos permiten concluir que para napas de conductividad eléctrica entre 1 y 2 ds/m, la profundidad de la misma tiene influencia significativa en el rendimiento. La respuesta de los cultivos a esta variable sería principalmente lineal y creciente a medida que aumenta el nivel freático para el rango que va desde 100 a 350 cm.

Para los distintos ensayos planteados y dentro de los rangos de profundidad considerados, no pudieron hallarse, ni el valor mínimo de profundidad de napa a partir del cual el rendimiento comienza a caer debido a excesos hídricos, ni el valor máximo a partir del cual el rendimiento deja de caer por el déficit de agua y entra en una meseta.

De acuerdo a la abrupta caída en los rendimientos es posible inferir que los cultivos tomarían agua y podrían utilizarla con cierta eficiencia hasta una franja de profundidad de agua libre entre 200 y 250 cm.

La magnitud de la respuesta en rendimiento de las dos variedades de Soja a la profundidad de la napa fue variable. La Soja de ciclo corto (DM 4210) mostró una respuesta lineal muy estable, en el rango entre 100 y 350 cm de NF. La Soja de ciclo más largo (DM 5.5i) mostró una respuesta lineal en el rango entre 150 a 350 cm de NF y un crecimiento exponencial en el rango entre 100 a 150 cm de NF.

Para napas con bajo contenido salino (1 y 2 ds/m), la CE no tendría mayores variaciones durante el transcurso de período del cultivo, aunque en los casos estudiados su tendencia fue a disminuir junto con el nivel freático. De todas maneras no pudo demostrarse que la CE tenga una variabilidad de magnitud significativa para napas de bajo contenido salino como la estudiada.

La profundidad freática dependería principalmente del balance hídrico y no tendría relación con el cultivo, el grupo de madurez, el período fenológico o la unidad de paisaje.

No se encontraron diferencias significativas en la depresión de la napa efectuada por ninguno de los cultivos. Por lo tanto, se hipotetiza que la variación de la profundidad freática no depende, ni de la variedad de Soja utilizada, ni tampoco del cultivo implantado, sino de la ETP y de las precipitaciones.

La capacidad para extraer agua del perfil de suelo fue variable entre Maní y Soja, dependiendo de la disponibilidad de la misma. En ambientes con napa hasta 150 cm de profundidad, al final del ciclo del cultivo, ninguna de las especies estudiadas extrajo cantidades de agua significativamente diferentes. A medida que la napa se alejó y la condición hídrica comenzó a ser más restrictiva, el Maní marcó una mayor capacidad para extraer agua del suelo. Estas diferencias se darían de manera progresiva a favor de este último y sin variaciones significativas entre las variedades de Soja estudiadas.

En los ambientes con la napa más profunda con mayores restricciones hídricas, el cultivo de Maní tendría la capacidad de extraer agua hasta niveles muy próximos al PMP, dejando el perfil de suelo seco hasta 190 cm de profundidad.

No se pudo validar la hipótesis de que la variedad de Soja de ciclo más largo pueda explorar mayor volumen de suelo y obtener mayor cantidad de agua de napas profundas.

La profundidad de la napa freática tendría influencia sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas de Maní y Soja. Comparando los cultivos se puede observar la plasticidad fenológica del Maní, quien tiene la capacidad de atrasar sus etapas esperando mejores condiciones ambientales, la Soja por el contrario, e independientemente de su grupo de maduración tiende a adelantar sus ciclos ante condiciones de estrés.

La profundidad de la napa influye significativamente sobre la calidad comercial del Maní, afectando su relación grano/caja y el porcentaje de granos confitería. Estas propiedades se mantendrían estables entre 100 y 200 cm de profundidad de agua libre, y de ahí en adelante comenzarían a disminuir progresivamente.

El peso de mil semillas de Soja varió significativamente con la profundidad freática hasta los 200 cm independientemente de la variedad.

VIII. Agenda de investigación futura

Este trabajo genera un aporte a las distintas investigaciones que se han venido llevando adelante en esta área para intentar comprender la relación entre los cultivos y la napa. A continuación se describen posibles líneas de investigación a seguir:

- Generar nuevas curvas de respuesta y modelos empíricos para estos y otros cultivos, que permitan entender las relaciones entre las napas y las distintas variables que definan la producción y la calidad de la misma.
- Estudiar el comportamiento de cultivos de grano y forraje con freáticas de distintas concentraciones salinas.
- Estudiar posibles aportes de nutrientes a los cultivos por parte de las napas, tratando de mejorar el aprovechamiento potencial de este recurso.
- Estudiar la implementación de distintas tecnologías de manejo sitio específico en ambientes con napa freática somera, tratando de mejorar el aprovechamiento del recurso hídrico subyacente y disminuir los riesgos de salinización y anegamiento del perfil.
- Evaluar la capacidad de los modelo de cultivos, para simular los aportes subterráneos de agua en Maní y Soja, para diferentes profundidades de nivel freático (NF), en condiciones de suelos arenoso-francos.
- Evaluar el efecto combinado de la variación del nivel freático y de otras propiedades del suelo asociadas a la posición en el relieve, como variaciones texturales, de contenidos de nutrientes y materia orgánica entre otras.

IX. Limitaciones del estudio

- Las condiciones climáticas del período en el que se desarrolló la experiencia fueron muy favorables para el consumo de agua de la napa debido a las escasas precipitaciones. La falta de repeticiones de la experiencia no permitió evaluar el comportamiento de los cultivos en condiciones atmosféricas diferentes.
- Existieron variaciones en algunas características de los suelos entre tratamientos dentro de la transecta y entre los mismos tratamientos para diferentes cultivos. Si bien esto, puede haber tenido cierta influencia sobre el comportamiento de los cultivos y su rendimiento, la experiencia se realizó sobre suelos con características lo mas similares posibles para una investigación de campo.
- Si bien existieron variaciones de materia orgánica en los perfiles de la transecta de suelos, debidas probablemente al factor relieve de su génesis, se considera que su influencia en el comportamiento del cultivo fue sustancialmente menor que el de las condiciones hídricas sobre el comportamiento del cultivo. En este sentido Bauer y Black (1992) consideran que las variaciones de materia orgánica en relación a la capacidad de agua útil volumétrica para texturas similares a las de este ensayo son poco significativas.
- En términos de la disponibilidad de nutrientes se considera que las variaciones en el tenor de fosforo no resultaron limitantes debido a que los valores hallados están siempre por encima de lo que se considera niveles críticos (párrafo 2 página 31) y que debido a la capacidad de estas especies de fija Nitrógeno atmosférico, este elemento no sería una limitante. No obstante, en trabajos de mayor detalle sobre estas variables, se requerirían experiencias que hipoteticen sobre los posibles impactos de la fertilidad en el rendimiento bajo similares condiciones hídricas.
- No se midieron detalladamente todos los componentes del rendimiento en relación la profundidad de la napa, con lo que se podría haber obtenido valorable información adicional sobre el comportamiento de los cultivos.



X. Bibliografía

- Agüero, D. A. (2006). Mercado internacional y nacional de Maní. En "El cultivo de Maní en Córdoba". E. M. Fernandez y O. Giayetto, eds., pp. 259-280. FAV - UNRC, Rio Cuarto.
- Andrade, F. H., Aguirrezábal, L. A. N., y Rizzalli, R. H. (2000a). Crecimiento y rendimiento comparados. En "Bases para el manejo del maíz, el girasol y la Soja". F. H. Andrade y V. O. Sadras, eds., pp. 61-91, Balcarce.
- Andrade, F. H., Echeverría, H. E., Gonzáles, N. S., y Uhart, S. A. (2000b). Requerimientos de nutrientes minerales. En "Bases para el manejo del maíz, el girasol y la Soja". F. H. Andrade y V. O. Sadras, eds., pp. 207-228, Balcarce.
- Andrade, F. H., y Ferreiro, M. (1996). Reproductive growth of maize, sunflower a soybean at different source level during grain filling. *Field Crops Research*. 48:155-165.
- Andrade, F. H., y Sadras, V. O. (2000). Efectos de la sequía sobre el crecimiento y rendimiento de los cultivos. En "Bases para el manejo del maíz, el girasol y la Soja. EEA INTA Balcarce-Fac. de Ciencias Agrarias UNMP.". F. H. Andrade y V. O. Sadras, eds., pp. 182-200.
- Andréassian, V. (2004). Waters and forests: from historical controversy to scientific debate. *Journal of Hydrology*. 291:1-27.
- Andriani, J. M., ed. (2000). "Crecimiento de las raíces en los principales cultivos extensivos en suelos hapludoles de la provincia de Santa Fé.", INTA EEA Oliveros, Santa Fé, Argentina Publicación N° 13:35-39.
- Angeli, A. R. (2006). Efectos de la vegetación arbórea sobre la salinidad y el nivel freático en tierras del sur cordobés. Tesis de grado. FAV-UNRC, Rio Cuarto - Córdoba.
- Ayars, J. E., Christen, E. W., Soppe, R. W., y Meyer, W. S. (2006). The resource potential of in-situ shallow ground water use in irrigated agriculture: a review. *Irrigation Science*. 24:147-160.
- Babajimopoulos, C., Panoras, A., Georgoussis, H., Arampatzi, G., Hatzigiannakis, E., y Papamichail, D. (2007). Contribution to irrigation from shallow water table under field conditions. *Agricultural Water Management*. 92:205-210.
- Baigorri, H. (2009). Importancia de la longitud del ciclo, la juvenilidad y el hábito de crecimiento en el manejo de cultivares de Soja. En: www.planetaSoja.com (Consultado en Julio 2010)
- Baigorri, H., y Martini, E. (2009). Caracterización de ambientes con influencia de napa freática. En "Prospectiva Tecnológica", pp. 87-92. Aapresid, Revista técnica especial.
- Balzarini, M. G., Di Rienzo, J. A., Tablada, M., Gonzalez, L., Bruno, C., Córdoba, M., Robledo, C. W., y Casanoves, F. (2011). Diseño de experimentos a un criterio de clasificación. En "Introducción a la bioestadística. Aplicaciones de Infostat en

- Agronomía". M. G. Balzarini, J. A. Di Rienzo y M. Tablada, eds., pp. 291-328, Córdoba - Argentina.
- Bauer, A., y Black, A. L. (1992). Organic Carbon effects on Available Water Capacity of Three Soil Textural Groups. *Soil Science Society of America* 56:248-254.
- Benett, J. M., Boote, K. J., y Hammond, L. C. (1984). Relationships among water potentials components, relative water content, and stomatal resistance of field grown peanuts leaves. *Peanut Science* . 11:31-35. .
- Bernardo, I., Bonadeo, E., Moreno, I., Bongiovanni, M., y Javier, M. (2003). El suelo como medio físico-químico para las plantas - Reacción del suelo. *Sistema Suelo Planta - Material de Apoyo Didáctico - FAV - UNRC*. 88-95.
- Bernardo, M. A., Dieguez, E. T., Cortes, A. L., Ojanguren, C. L. T., Jones, H. G., y Chairez, F. A. (2000a). Path analysis of cowpea early seedling growth under saline conditions. *Experimental Botany*. 67:77-84.
- Bernardo, M. A., Dieguez, E. T., Jones, H. G., Chairez, F. A., Ojanguren, C. L. T., y Cortes, A. L. (2000b). Screening and classification of cowpea genotypes for salt tolerance during germination. *Experimental Botany*. 67:71-84.
- Bloemen, G. W. (1980). Calculation of steady state capillary rise from the groundwater table in multi-layered soil profiles. *Tech. Bull. 121 ICW Wageningen*. 701-719.
- Bollati, A. S. (2007). Napa (caracterización de ambientes y estrategias de manejo). *Presentación ppt. Seminario del oeste Villa Mercedes. San Luis*.
- Bollati, J. F., y Bollati, A. S. (2010). Es tiempo de pinchar el campo. *En "Chacra-Nº960- Julio 2010"*.
- Bonadeo, E., y Moreno, I. (2006). Nutrición mineral. *En "El cultivo de Maní en Córdoba"*. E. M. Fernandez y O. Giayetto, eds., pp. 113-120. UNRC, Rio Cuarto.
- Boote, K. J. (1982). Growth stage of peanut. *Peanut Science*. 9:35-40.
- Boote, K. J., y Ketring, D. L. (1990). Irrigation of agricultural crops *En "Agronomy Monograph 30"*. B. A. Stewart y O. R. Nielsen, eds., pp. 675-717.
- Borg, H., y Grimes (1986). Depth development of roots with time: An empirical description. *Trans. of teh ASAE*. 29:194-196.
- Bosh, J. M., y Hewlett, J. D. (1982). A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *Journal of Hydrology*. 55:3-23.
- Boyer, J. S. (1982). Plant productivity and environment. *Science*. 218:443-448.
- Calviño, P. A., Andrade, F. H., y Sadras, V. O. (2003). Maize yield as affected by water availability, soil depth, and crop management. *Agronomy Journal*. 95:275-281.
- Cantero Gutiérrez, A. (1997). Conceptos básicos de uso de la tierras. Revizado por: Cisneros, J. y C. Cholaky. *Material de apoyo didáctico para el curso de Uso y manejo de suelos año 2003*. FAV-UNRC. 6pp.

- Cerioni, G. A. (2003). Deficit hídrico en la etapa reproductiva del Maní (*Arachis hypogaea* L.) su influencia sobre el crecimiento, desarrollo, rendimiento y calidad. Tesis de Posgrado., UNRC-FAV, Río Cuarto - Cba.
- Cisneros, J. M. (1994). Caracterización del hidrohalomorfismo en ambientes representativos del centro-sur de Córdoba. Tesis de Posgrado:158. FAUBA, Bs. As.
- Cisneros, J. M., Cantero G, A., y Cantero G, J. J. (1997). Relación entre fluctuación de nivel freático, su salinidad y el balance hídrico, en suelos salinos-sódicos del centro de Argentina. *Revista UNRC*. 17:23-35.
- Cisneros, J. M., Cantero, J. J., y Cantero G, A. (1999). Vegetation, soil hydrophysical properties, and grazing relationships in saline-sodic soils of Argentina. *Canadian Journal of Soil Science*. 79:399-409.
- Cisneros, J. M., De Prada, J. D., Degioanni, A., Cantero Gutiérrez, A., Gil, H., Reynero, M., Shah, F., y Bravo Ureta, B. (2004a). Erosión hídrica y cambio de uso de los suelos en Córdoba. Evaluación mediante el modelo rusle *En Actas del XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Paraná:286.
- Cisneros, J. M., Degioanni, A., Cantero G, A., Gil, H., De Prada, J., Reynero, M., y Martini, E. (2004b). Criterio de selección de lotes para Maní en ambientes con napa freática superficial. *En actas de XIX Jornada Nacional de Maní - Gral. Cabrera - Córdoba*. 16-17.
- Cisneros, J. M., Giayetto, O., Cholaky, C., Cerioni, G., Cantero Gutiérrez, A., y Uberto, M. E. (2006). Suelos, Rotaciones y Labranzas. *En "El cultivo de Maní en Córdoba"*. E. M. Fernandez y O. Giayetto, eds., pp. 127-141. FAV - UNRC, Río Cuarto.
- Clawson, L., Specht, J. E., Blad, B. L., y Garay, A. F. (1987). Water use efficiency in soybean pubescence density isolines a calculation procedure for estimating daily values. *Agronomy Journal*. 78:483-487.
- Collino, D. J., Dardanelli, J., Sereno, R., y Racca, R. W. (2000). Physiological response of argentine peanut varieties to water stress. Water uptake and matter use efficiency. *Field Crops Research* 68:131-142.
- Connor, D. J., y Sadras, V. O. (1992). Physiology of yield expresion in sunflower to strategies of irrigaton. I. Gorwth, yield and the efficiency of water use. *Field Crops Reserach*. 10:15-36.
- Cramer, G. R., Schmidt, C. L., y Bidart, C. (2001). Analysis of cell wall hardening and cell wall enzymes of salt-stressed maize (*Zea mays*) leaves. *Australian Journal of Plant Physiology*. 28:101-109.
- Chapman, S. C., Ludlow, M. M., Blamey, F. P. C., y Fischer, K. S. (1993). Effect of drought during early reproductive development on growth of varieties of groundnut (*Arachis hypogaea* L.). I. Utilization of radiation and water during drought. *Field Crops Research*. 32:193-210.
- Cholaky, L., Cantero, A., Giayetto, O., Bonadeo, E., y Neuman, E. C. (1986). Fertilización nitrogenada y modelos de siembra en Soja de hábito determinado: efectos sobre la ontogénesis, nodulación, concentración de nitrógeno,

- acumulación y distribución de la materia seca, morfología, componentes del rendimiento, rendimiento biológico y económico, índices de cosecha y balance relativo de nitrógeno. *Revista UNRC* 6: 133 – 166.
- Cholaký Sobari, L. (2006). Prólogo. En "El cultivo de Maní en Córdoba". E. M. Fernández y O. Giayetto, eds., pp. 21-22. FAV - UNRC, Río Cuarto.
- da Veiga, A. (2004). La Soja y la expansión de la frontera agrícola argentina. En: www.inta.gov.ar/suelos/info/documentos/informes/Exp_Front.pdf. (Consultado en Julio de 2008).
- Dardanelli, J. (1982). Efecto de diferentes frecuencias de riego en el rendimiento y calidad del Maní tipo virginia (*arachys hypogaea* L.) en el valle central de Catamarca. En *actas del X Simposio Nacional y VII Latinoamericano de Oleaginosas*. Bs. As.
- Dardanelli, J., y Collino, D. (2002). Water table contribution to alfalfa water use in defferent environment of the Argentine Pampas. *Agriscientia*. 19:11-18.
- Dardanelli, J., Collino, D., Otegui, M. E., y Sadras, V. O. (2003). Bases funcionales para el manejo del agua en los sistemas de producción de los cultivos de granos. En "Producción de Granos. Bases funcionales para su manejo". E. H. Satorre, R. L. Benech Arnold, G. A. Slafer, E. B. de la Fuente, D. J. Miralles, M. E. Otegui y R. Savin, eds., pp. 373-440. FAUBA, Buenos Aires.
- Dardanelli, J. L., Bachmeier, O. A., Sereno, R., y Gil, R. C. (1997). Potential soil water extraction parameters for several crops in a silty loam soil. *Field Crops Research*. 54:29-38.
- de la Vega, A. J., y de la Fuente, E. (2003). Elección de Genotipos. En "Producción de granos: Bases Funcionales para su Manejo". E. Satorre, R. Benech Arnold, G. Slafer, E. de la Fuente, D. Miralles, M. Otegui y R. Savin, eds., pp. 319-345.
- De Leenheer, L., y De Boodt, M. (1965). Soil physics - International Training Center for Post-Graduate Soil Scinetists. pp. 126-135, Gante, Bélgica.
- De Leenheer, L. (1967). Considerations critiques sur la valeur des resultats de la determination de la porosité totale et de la distribución des pore du sol. *Pedologie*. 17:2.
- Della Magiora, A. I., Gardiol, J. M., y Irigoyen, A. I. (2000). Requerimiento Hídricos. En "Bases para el manejo del maíz, el girasol y la Soja. EEA INTA Balcarce-Fac. de Ciencias Agrarias UNMP". F. H. Andrade y V. O. Sadras, eds., pp. 168-169.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M., y Robledo, C. W. (2011). InfoStat versión 2011. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. En: <http://www.infostat.com.ar>. (Consultado en Mayo de 2011)
- Don_Mario (2010). Catalogo de semillas 2010. En: www.donmario.com. (Consultado en Julio de 2010).
- Doorembos, J., y Pruitt, W. O. (1997). Crop water requirements. *Irrigation and Drainage - FAO*. Paper 24, Roma.

- Egli, D. B. (1999). Variation in leaf starch and sink limitations during seed filling in soybean. *Agronomy Journal*. 72:560-564.
- Elmi, A. A., Madramootoo, C., Egeh, V., Liu, A., y Hamel, C. (2002). Environmental and agronomic implications of water table and nitrogen fertilization management. *Environmental Quality*. 31:1858-1867.
- Etechevehere, P. (1976). Normas de reconocimiento de suelos. *INTA Castelar*.
- FAO (2011). En www.fao.org/docrep/003/T0234E/T0234E03.htm (Consultado en Diciembre de 2011).
- Ferreira, L. G. R., dos Santos, I. F., Távora, F. J. F., y Vieira da Silva, J. (1992). Déficit hídrico em cultivares de amendoim (*Arachis hypogaea* L.). Respostas fisiológicas e produção. *Oléagineux*. 47:523-530.
- Fher, W. R., y Caviness, C. E. (1977). Stages of soybean development. Special Report 80. Iowa State University, Ames. Iowa.
- Gorgas, J. A., y Tassile, J. L., eds. (2006). "Recursos Naturales de la provincia de Córdoba. Los suelos. Nivel de reconocimiento (1:500.000). Agencia Córdoba DACYT – SEM e INTA". pp. 1-567.
- Hall, A. J., Rebella, C. M., Ghersa, C., y Culot, J. (1992). Field crop systems of the Pampas. En "Ecosystems of the World. Field Crop Ecosystems". C. J. Pearson, ed., pp. 431-450.
- Hamblin, A., y Tennat, T. (1987). Root length density and water uptake in cereals and grain legumes: how well they correlated? *Australian Journal Agricultural Research*. 38:513-527.
- Hattendorf, M. J., Redelfs, M. S., Amos, B., Stone, L. R., y Gwin, R. E. (1988). Comparative water use characteristics of six row crops. *Agronomy Journal*. 80:80-85.
- Hutmacher, R. B., Ayars, J. E., Vail, S. S., D., B. A., Dettinger, D., y Schoneman, R. A. (1996). Uptake of shallow ground water by cotton: growth stage, ground water salinity effects in column lysimeters. *Agricultural Water Management*. 31:205-223.
- IPCC. (2007). Working Group 1 Report. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Summary for Policy Makers*. Genova 18pp.
- Jackson, R. B., Schenk, H. J., Jobbágy, E. G., Canadell, J., Colello, G. D., Dickinson, R. E., Dunne, T., Field, C. B., Friedlingstein, P., Heimann, M., Hibbard, K., Kicklighter, D. W., Kleidon, A., Neilson, R. P., Parton, W. J., Sala, O. E., y Sykes, M. T. (2000). Belowground consequences of vegetation change and their treatment in models. *Ecological Applications*. 10:470-483.
- Jensen, M. E., Burman, R. D., y G., A. R. (1990). Evapotranspiration and irrigation water requirements. *Manual de la American Society of Civil Engineers*. 70.
- Jobbágy, E., Noretto, M., y Mercuro, J. (2010). Interacción entre napas freáticas y cultivos: La agricultura de precisión como fuente de información y herramienta de manejo. 9º curso de agricultura de precisión. www.agriculturadeprecision.org. En actas:183-186.

- Jobbágy, E., Nosoetto, M., y Santoni, C. (2008). El desafío ecohidrológico de las transiciones entre sistemas leñosos y herbáceos en la llanura Chaco-Pampeana. *Ecología Austral – Sección Especial "Problemas Ambientales"*. 18:305-322.
- Jobbágy, E. G., y Jackson, R. B. (2004). Groundwater use and salinization with grassland afforestation. *Global Change Biology*. 10:1299-1312.
- Jobbágy, E. G., y Jackson, R. B. (2007). Groundwater and soil chemical changes under phreatophyte tree plantations. *Geophysical Research*. 112, G02013, doi: 10.1029/2006JG000246.
- Kantolic, A. G., Giménez, P. I., y de la Fuente, E. B. (2003). Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y calidad en la Soja. En "Producción de Granos. Bases funcionales para su manejo". E. H. Satorre, R. L. Benech Arnold, G. E. Slafer, E. B. de la Fuente, D. J. Miralles, M. E. Otegui y R. Savin, eds., pp. 165-200. Buenos Aires, FAUBA.
- Kantolic, A. G., y Satorre, E. H. (2004). Elementos centrales de la ecofisiología del cultivo de Soja. En "Manual Práctico para la Producción de Soja". M. Díaz-Zorita y G. A. Duarte, eds., pp. 19-37, Buenos Aires.
- Katerji, N., Van Hoom, J. W., Hamdy, A., y Mastrorilli, M. (2003). Salinity effect on crop development and yield, analysis of salt tolerance according to several classification methods. *Agricultural Water Management* 62:37-66.
- Klute, A., y Dirksen, C. (1986). Hydraulic Conductivity and Diffusivity: Laboratory Methods. En: Klute, A. Ed. Methods of soil analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods. *Agronomy Monograph*. 9 (2nd Edition).
- Kramer, P. J. (1983). Root Growth and Functions. En "Water Relations of Plants". pp. 120-145. Academic Press., Londres - U.K.
- Lopez Furcade, R. (2007). Evaluación de la degradación de los suelos de la Pampa Medanosa frente a los cambios de uso actuales. Tesis de grado. FAV - UNRC, Rio Cuarto.
- Lorenzo, N. (1993). Producción de Maní CV. Florman bajo riego. En *actas VIII jornada nacional de Maní - General Cabrera - Córdoba*. 10
- Martín Sánchez, M., Calvo Pérez, M., García Collantes, M. A., García García, E., Morcillo Ortega, J. G., Reyero Cortiña, C., y Vidal Fuentes, M. P. (2012). El Ciclo del Agua. En: <http://www.ucm.es/info/diciex/proyectos/agua/index.html> (consultado en Octubre de 2012).
- Martínez Alvarez, D., Bologna, S., Bongiovanni, M., Amitrano, V., y Escudero, S. (2005). Desarrollo y crecimiento de cultivares de Soja en función de la fecha de siembra, en un ambiente con influencia de napa freática. En "Ecofisiología y Climatología", Vol. 9, pp. 37-41.
- Matthews, R. B., Harris, D., Nageswara Rao, R. C., Williams, J. H., y Wadia, K. D. R. (1988). The physiological basis for yield differences between four genotypes of groundnut (*Arachis hypogaea*) in response to drought. 1. Dry matter production and water use. *Experimental Agricultural Journal*. 24:191-202.

- Mejia, M. N., Madramootoo, C. A., y Broughton, R. S. (2000). Influence of water table management on corn and soybean yields. *Agricultural Water Management*. 46:73-89.
- Morard, P., y Silvestre, J. (1996). Plant injury due to oxygen deficiency in the root environment of soilless culture: a review *Plant Soil* 184:243-254.
- Moresi, A. (2010). Comunicación personal. chatin@criaderoelcarmen.com.ar.
- Morla, F. D., y Giayetto, O. (2012). Calibración y validación del modelo AquaCrop de FAO en cultivos representativos del centro sur de Córdoba. *En actas: XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo - XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*.
- Mueller, L., Behrendt, V., Schalitz, G., y Schindler, U. (2005). Above ground biomass and water use efficiency of crops at shallow water tables in a temperate climate. *Agricultural Water Management*. 75:117-136.
- Nageswara Rao, R. C., Singh, S., Sivakumar, M. V. K., Srivastava, K. L., y Williams, J. H. (1985). Effect of water deficit at different growth phases of peanut. I. Yield responses. *Agronomy Journal*. 77:782-786.
- Nageswara Rao, R. C., Williams, J. H., Sivakumar, M. V. K., y Wadia, K. D. R. (1988). Effect of water deficit at different growth phases of peanut. II. Responses to drought during preflowering phase. *Agronomy Journal*. 80:431-438.
- Nosetto, M. D. (2009). Napas y agricultura en la región pampena: oportunidades, riesgos y claves para su manejo *Presentación ppt*. En : <http://www.slide share.net/Ridzo/presentacion-napas-nosetto-jat-villegas>. (Consultado en Julio de 2010).
- Nosetto, M. D., Jobbagy, E. G., Jackson, R. B., y Sznaider, G. A. (2009). Reciprocal influence of crops and shallow ground water in sandy landscapes of the Inland Pampas. *Field Crops Research*. 113:138-148.
- Ono, Y., Nakayama, K., y Kubota, M. (1974). The effects of soil temperature and soil moisture in podding zone on pod developments of peanuts. *Crop Science Society of Japan Proceedings*. 43: 247-251.
- Passioura, J. B. (1996). Drought and drought tolerance. *Plant Growth Regulation*. 20:79-83.
- Pedellini, R., y Cassini, C. (1998). "Manual del Maní," 3/Ed., EEA INTA Manfredi. 97pp.
- Pezzini, M., Cisneros, J. M., y Moreno, I. S. (2010). Encalado en los suelos del área manicera: Efectos sobre el pH y la saturación con calcio. En actas: *XXV Jornada Nacional del Maní*.
- Pizarro, F. (1985). "Drenaje agrícola y recuperación de suelo salinos," 2/Ed. Agrícola Española. España. 524pp.
- Pratharpar, S. A., y Qureshi, R. H. (1998). Modelling the effects of deficit irrigation on soil salinity, depth to water table and transpiration in semi-arid zones with monsoonal rains. *Water Resources Development*. 15:141-159.

- Purcell, L. C. (2006). Redefining de requirements for light and water soybean for irrigated and high yielding enviromenta. *En actas: XIV Congreso Aapresid*.
- Quaglietta Charandá, F., y Mori, M. (1994). Analisis di crescita de eficiencia dell'uso dell'aqua di una varietá di Soja (Glicine max L. Merr.) Sottoposta a regimi irrigui diversi *Edagricole. XXVIII N° 2*.
- Richards, J. D., ed. (1973). "Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos.", pp. 1-172, Mexico.
- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de Leon, J., y Hill, M., eds. (2004). "Propiedades físicas del suelo", pp. 1-68, Montevideo - Uruguay.
- Sadras, V. O., Ferreiro, M., Gutheim, F., y Kantolic, A. G. (2000). Desarrollo fenológico y su respuesta a temperatura y fotoperíodo. *En "Bases para el manejo del maíz, el girasol y la Soja. EEA INTA Balcarce-Fac. de Ciencias Agrarias UNMP."*. F. H. Andrade y V. O. Sadras, eds., pp. 29-33.
- SAGPyA-CNA (2002). Dirección de Coordinación de Delegaciones - Estimaciones Agrícolas. En: www.minagri.gov.ar. (Consultado en Mayo de 2010).
- SAGPyA (2006). Normas de Calidad para la Comercialización de Maní. *Res. 814/00 y Res. N° 12/99*.
- Sainz, F. (2009). Productividad del Girasol (*Helianthus annus L.*) bajo diferentes profundidades de napa freática en la región de Del Campillo. Tesis de grado. FAV-UNRC. Rio Cuarto - Córdoba.
- Saks, M. G., Quiroga, A., Fernandez, R., y Zalba, P. (2012). Contribución de las napas al rendimiento de maíz en Molisoles de la planicie medanosa. Contribución de las napas al rendimiento de maíz en Molisoles de la planicie medanosa. *En actas: XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo - XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*.
- Santoni, C. S., Jobbágy, E. G., Marchesini, V., y Contreras, S. (2008). Diferentes usos del suelo: Consecuencias sobre el balance hídrico y drenaje profundo en zonas semiáridas. *En Actas: XXI Congreso de la Ciencia de Suelo - Potrero de los Funes - San Luis*.
- Saqib, M., Akhtar, J., y Qureshi, R. H. (2004). Pot study on wheat growth in saline and waterlogged compacted soil. I. Grain yield and yield components. *Soil & Tillage Research. 77:169-177*.
- Scott, H. D., Ferguson, J. A., y Wood, L. S. (1987). Water use, yield and dry matter accumulation by determinate soybean in a humed region. *Agronomy Journal. 79:870-875*.
- Schvarzer, J., y Tavošnanska, A. (2007). "El complejo sojero argentino. Evolución y perspectivas." UBA-FCE-CESPA, Buenos Aires - Argentina.
- Sepaskhah, A. R., Kanooni, A., y Ghasemi, M. M. (2003). Estimating water table contributions to corn and sorghum water use. *Agricultural Water Management. 58:67-79*.

- Sexton, P. J., Bennett, J. M., y Boote, K. J. (1997). The effect of dry pegging zone soil formation on pod formation of Florunner peanut. *Peanut Science*. 24:19-24.
- Sierra, E. M. (2011). Perspectivas agroclimáticas para la campaña 2010-2011. *Proclima Nacional*. En: <http://www.infortambo.com.ar/admin/upload/arch/proclima-nacional-11-02-07.doc>. (Consultado en Julio 2011).
- Sinclair, T. R., Salado-Navarro, L. R., Salas, G., y Purcell, L. C. (2007). Soybean yields and soil water status in Argentina: Simulation analysis. *Agricultural Systems*. 94:471-477.
- Skelton, B. J., y Shear, G. M. (1971). Calcium translocation in peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Agronomy Journal*. 63:409-412.
- Smith, J. L., y Doran, J. W. (1996). Measurement and use of pH and electrical conductivity for soil quality analysis. En "Methods for assessing soil quality. Soil Science Society of America". J. W. Doran y A. J. Jones, eds., Vol. Spec. Publ. 49., pp. 169-185. SSSA, WI. Madison. Soil Survey Staff. 1993.
- Soave, J. (1990). Resultados obtenidos en un lote de Maní regado por aspersión mediante el sistema de pivote central en el centro-sur de la pcia de Córdoba. *V Jornada Nacional de Maní - Gral Cabrera - Córdoba*. 29-30.
- Soave, J. (2006). Generalidades y particularidades de los Maníes alto oleico. En: www.criaderoelcarmen.com.ar. (Consultado en Julio de 2010).
- Tassile, J. L., Astúm, J. B., y Gorgas, J. A. (2001). Carta de suelos de la República Argentina - Depto. Gral. Roca - Escala 1:100.000. *INTA*.
- Thornthwaite, C. W., y Mather, R. V. (1957). Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and water balance. *Drexel institute for technology publications in climatology*.
- Tittonel, P. (2004). El carbono orgánico en los suelos de la región central de Argentina. Tesis de Posgrado. FAV-UNRC. 239pp, Rio Cuarto.
- Uberto, M. U. (2008). Adaptación de un modelo de simulación para el cultivo de Maní en las condiciones edafoclimáticas de Rio Cuarto. Tesis de Posgrado. FAV-UNRC. 99pp, Rio Cuarto.
- UNESCO (2012). En: <http://webworld.unesco.org/water/ihp/db/glossary/glu/ES/GF0169ES.HTM>. (Consultado en Octubre de 2012).
- UPSIIA (2008). Caracterización del Sector Agropecuario - Dpto. Gral. Roca. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentos de Córdoba.
- USDA-NRCS (2007). SPAW Model - Soil Water Characteristics. exe (6.02.75). En: <http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detailfull/national/water/manage/drainage>.
- Valentinuz, O. R., Uhart, S. A., Andrade, F. H., y R., V. C. (1996). Numero de granos en maíz, girasol y Soja y radiación interceptada por planata. *VII Congreso*

Argentino de Meteorología y VII Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología. Buenos Aires. Argentina. 39-40.

- Varallyay, G. (1981). Extreme moisture regime as the main limiting factor of the fertility of salt affected soils. *Agrokemia es Talajtan*. 30:73-96.
- Videla Mensegue, H. R. (2006). Producción de Soja en suelo con capa freática somera en el Depto. Roque Saénz Peña (Córdoba). Tesis de Grado. FAV-UNRC, Rio Cuarto - Córdoba.
- Viglizzo, E. F., Pordomingo, A. J., Castro, M. G., y Lertora, F. A. (2002). "La sustentabilidad ambiental del agro pampeano," Ediciones INTA. Buenos Aires. 84 pp. ISSN:987-521-052-8.
- Viglizzo, E. F., Jobbágy, E. G., Carreño, L., Frank, F. C., Aragón, R., De Oro, L., y Salvador, V. (2009). The dynamics of cultivation and floods in arable lands of Central Argentina. *Hydrology and Earth System Sciences*. 13:491-502.
- West, D. W., Hoffman, G. J., y Fisher, M. J. (1986). Photosynthesis, leaf conductance and water relations of cowpea under saline conditions. *Irrigation Science*. 183-193.
- Wright, G. C., Hubick, K. T., y Farquhar, G. D. (1991). Physiological analysis of peanut varieties response to timing and duration of drought stress. *Australian Journal of Agricultural Research*. 42:452-470.
- Wright, G. C., y Nageswara Rao, R. C. (1994). Groundnut Water Relations. En "The Groundnut Crop, a Scientific basic for improvement". J. Smartt, ed., pp. 281-335, Londres - U.K.
- Yeo, A. R., Caporn, S. J. M., y Flowers, T. J. (1985). The effect of salinity upon photosynthesis in rice (*Oryza sativa* L.). Gas exchange by individual leaves in relation to their salt content. *Experimental Botany*. 36:1240-1248.
- Zhang, L., Dawes, R. W., y Walker, G. R. (2001). Response of mean annual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale. *Water Resource Resarch*. 37:701-708.

Anexos

A-1- Caracterización de suelos

T1 (napa a menos de 100 cm de profundidad)

Haplacuoil tentativo

Horizontes:

A: 0-28 cm.

AC: 28-70 cm.

C: +70 cm.

Reacción débil y en muñequilla a los carbonatos a los 70 cm.



Figura 43: T1 - Haplacuoil tentativo

T4 (con napa entre 200-300 cm de profundidad)

Haplustol éntico tentativo

Horizontes:

A: 0-23 cm.

AC₁: 23-47 cm.

AC₂: 47-75 cm.

Ck: + 147 cm.

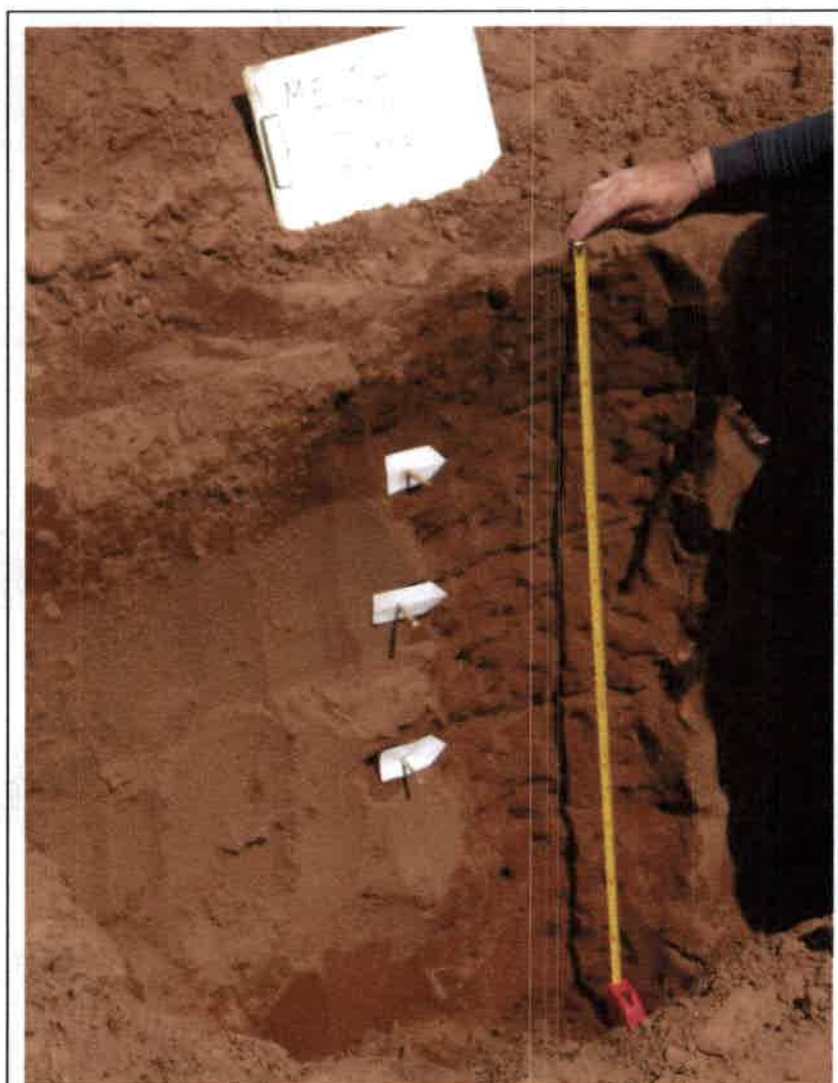


Figura 44: T4 – Haplustol éntico tentativo

T5 (con napa a más de 300 cm de profundidad)

Haplustol éntico tentativo

Horizontes:

A: 0-26 cm.

AC₁: 26-53 cm.

AC₂: 53-130 cm.

Ck: + 130 cm.



Figura 45: T5 – Haplustol éntico tentativo

A-2- Caracterización de la conductividad eléctrica de extracto saturado de suelo

Tabla 25: Conductividad eléctrica del extracto saturado para los tres cultivos.

Trat.	Prof. en cm	Conductividad del perfil de cada cultivo y tratamiento					
		Maní Granoleico		DM 4210		DM 5.5i	
		Cond. en ds/m		Cond. en ds/m		Cond. en ds/m	
		Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
T1	0-20	0,18	1,92	0,30	1,50	0,39	0,60
T1	20-40	0,24	1,41	0,63	0,84	0,12	0,45
T1	40-80	0,63	0,84	0,81	0,36	0,63	0,33
T1	80-120		0,69		0,30		0,30
T1	120-160		0,90		0,33		0,36
T1	160-180		0,90		0,00		0,00
T2	0-20	0,36	0,24	0,09	0,45	0,33	1,29
T2	20-40	0,12	0,18	0,09	0,36	0,12	0,81
T2	40-80	0,06	0,21	2,40	0,33	2,40	0,51
T2	80-120	0,60	0,99	1,50	0,30	1,50	0,36
T2	120-160	0,42	0,93	0,33	0,42	0,33	0,60
T2	160-220		1,08		0,42		0,33
T3	0-20	0,24	0,24	0,12	0,45	0,30	1,26
T3	20-40	0,18	0,24	0,15	0,36	0,18	0,57
T3	40-80	0,18	0,21	0,09	0,36	0,09	0,45
T3	80-120	0,60	0,33	0,18	0,33	0,18	0,36
T3	120-160	0,42	0,45	0,60	0,21	0,60	0,39
T3	160-220		0,69	0,42	0,39	0,42	0,36
T3	220-260		0,72		0,39		0,36
T4	0-20	0,24	0,36	0,24	0,42	0,36	1,02
T4	20-40	0,18	0,33	0,30	0,30	0,15	1,14
T4	40-80	0,18	0,24	0,18	0,33	0,18	1,11
T4	80-120	0,06	0,36	0,06	0,24	0,06	0,66
T4	120-160	0,15	0,33	0,15	0,27	0,15	0,72
T4	160-220	0,27	0,45	0,27	0,36	0,27	0,66
T4	220-260		0,48		0,33		0,69
T4	260-300		0,48		0,39		0,39
T5	0-20	0,15	0,36	0,36	0,21	0,18	1,47
T5	20-40	0,21	0,33	0,15	0,21	0,09	1,89
T5	40-80	0,09	0,33	0,09	0,69	0,09	1,32
T5	80-120	0,09	0,24	0,09	0,75	0,09	0,81
T5	120-160	0,06	0,30	0,06	1,02	0,06	0,81
T5	160-220	0,06	0,33	0,06	0,81	0,06	0,78
T5	220-260	0,06	0,36	0,06	0,87	0,06	0,75
T5	260-300	0,06	0,27	0,06	0,90	0,06	0,87
T5	300-340		0,24		0,69		0,81
T5	340-400		0,27		0,42		0,66

A-3- Soja DM 4210- Gráficos de conductividad eléctrica de extracto saturado de suelo

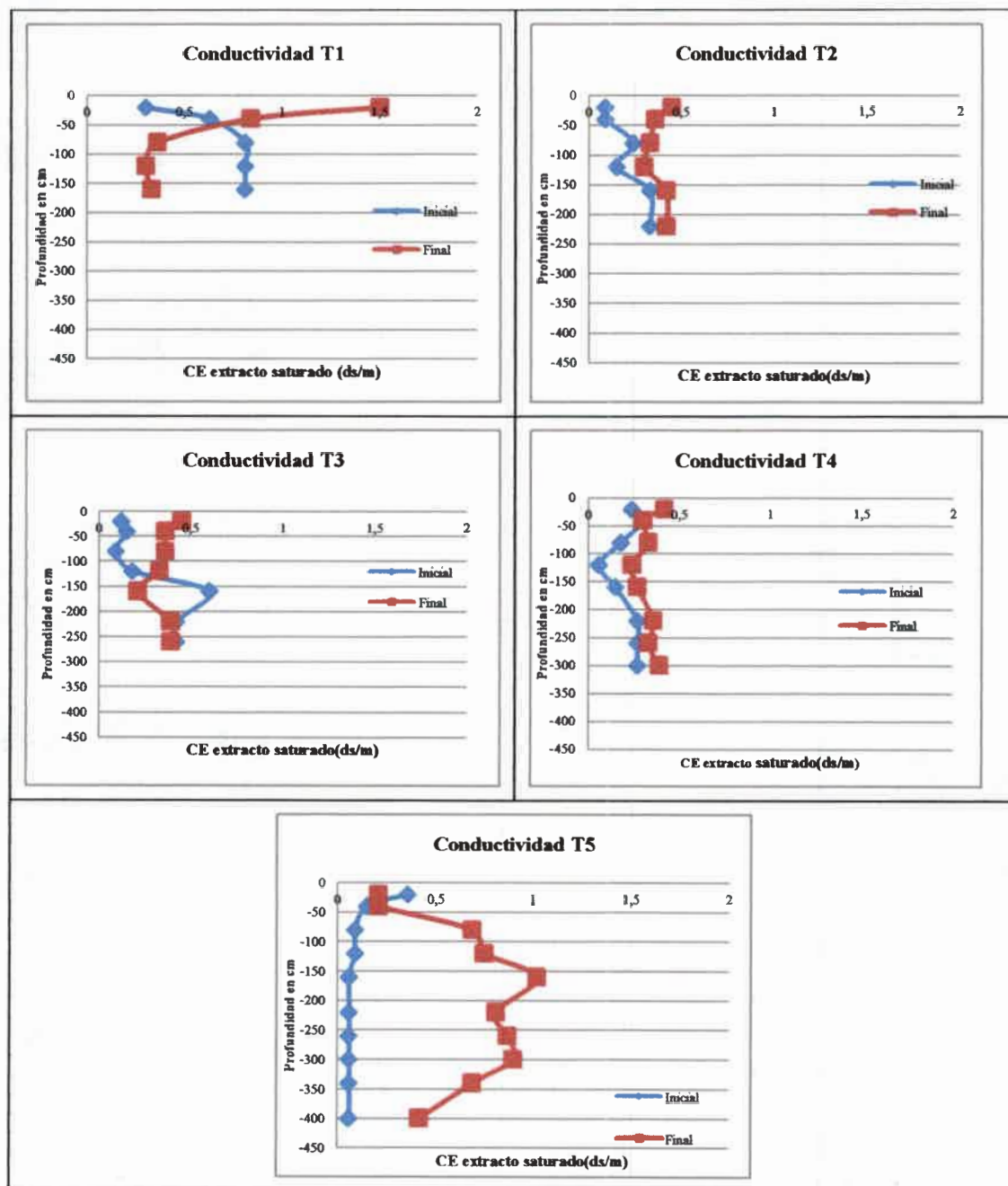


Figura 46: Conductividad inicial y final para cada uno de los tratamientos de cultivo de Soja DM 4210.

A-4- Soja DM 5.5i - Gráficos de conductividad eléctrica de extracto saturado de suelo

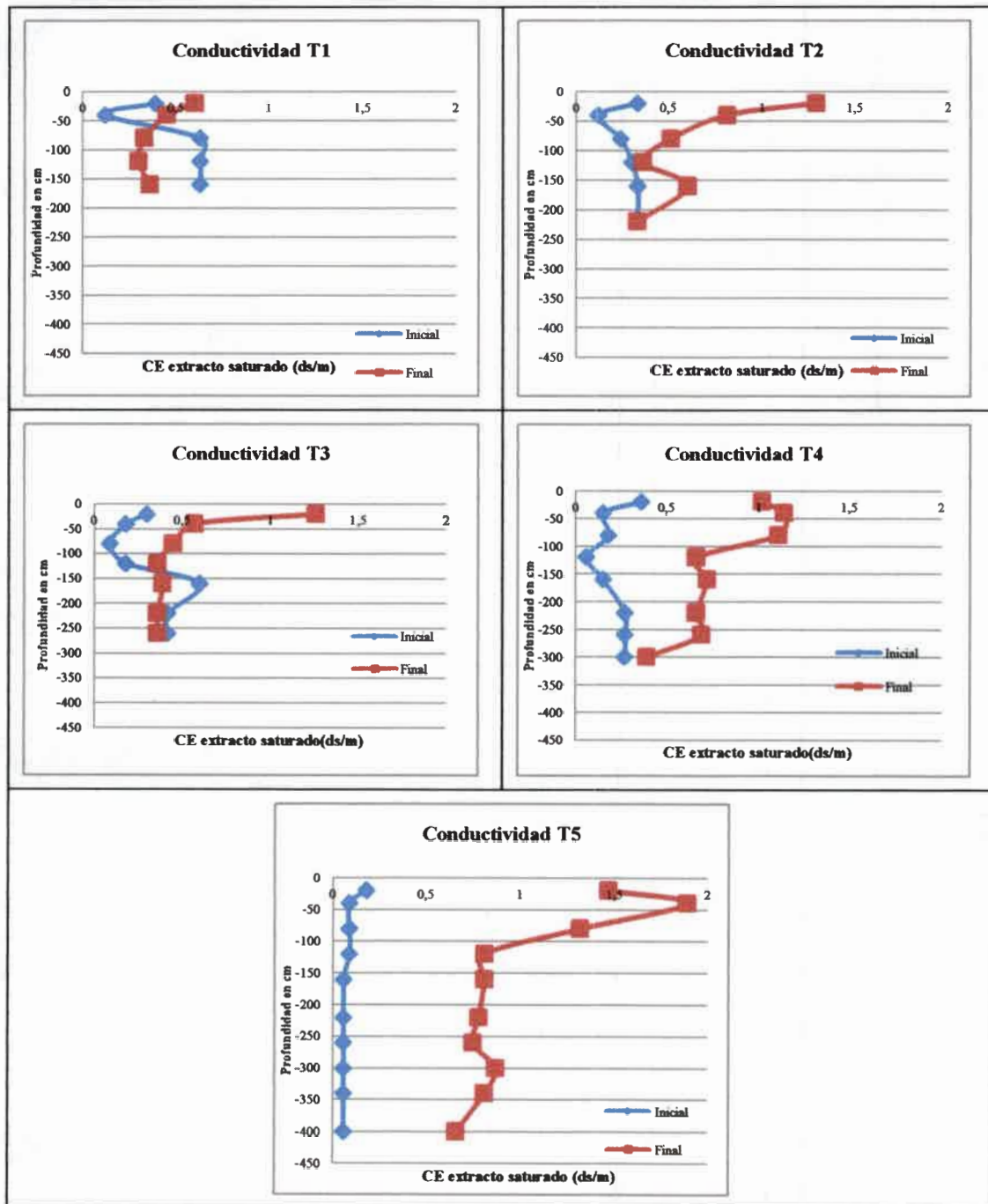


Figura 47: Conductividad inicial y final para cada uno de los tratamientos de cultivo de Soja DM 5.5i.

A-5- Niveles freáticos, CE y Precipitación (PP) en el cultivo de Maní

Tabla 26: Niveles freáticos, CE y Precipitación (PP) en el cultivo de Maní.

Fecha	T1		T2		T3		T4		T5		PP Mm	PP acum. Mm
	Prof. cm	Cond. ds/m	Prof. cm	Cond. ds/m	Prof. cm	Cond. ds/m	Prof. cm	Cond. ds/m	Prof. cm	Cond. ds/m		
18/10/10	-72	2,52	-91	2,35	-139	2,23	-229	2,60	-298	2,58	41	
02/11/10	-74	2,23	-101	2,30	-144	2,26	-217	2,30	-295	2,50	5	46
16/11/10	-76	2,34	-103	2,38	-148	2,20	-213	2,28	-300	2,05	40	86
29/11/10	-81	2,32	-97	2,37	-145	2,19	-209	2,24	-309	1,95	40	126
12/12/10	-84	2,56	-111	2,50	-154	2,21	-223	2,12	-312	2,02	20	146
27/12/10	-86	2,35	-132	2,50	-177	2,14	-223	2,15	-318	1,86	0	146
10/01/11	-100	2,36	-150	2,31	-192	2,03	-252	2,00	-327	1,85	6	152
24/01/11	-120	2,33	-186	2,30	-220	2,06	-260	1,98	-344	1,86	7	159
07/02/11	-152	2,25	-202	2,21	-246	2,03	-279	2,07	-357	1,87	36	195
21/02/11	-170	1,80	-217	1,88	-259	2,06	-296	2,06	-364	1,80	33	228
07/03/11	-169	1,12	-215	1,17	-263	1,93	-295	1,96	-368	1,70	71	299
21/03/11	-161	1,27	-218	1,15	-254	1,93	-305	1,85	-383	1,78	27	326
04/04/11	-178	1,23	-221	1,03	-272	1,98	-324	1,93	-397	1,70	24	350
16/04/11	-180	1,10	-227	1,06	-276	2,00	-327	1,97	-400	1,61	0	350

A-6- Niveles freáticos, CE y PP en el cultivo de Soja DM 4210

Tabla 27: Niveles freáticos, CE y PP en el cultivo de Soja DM 4210.

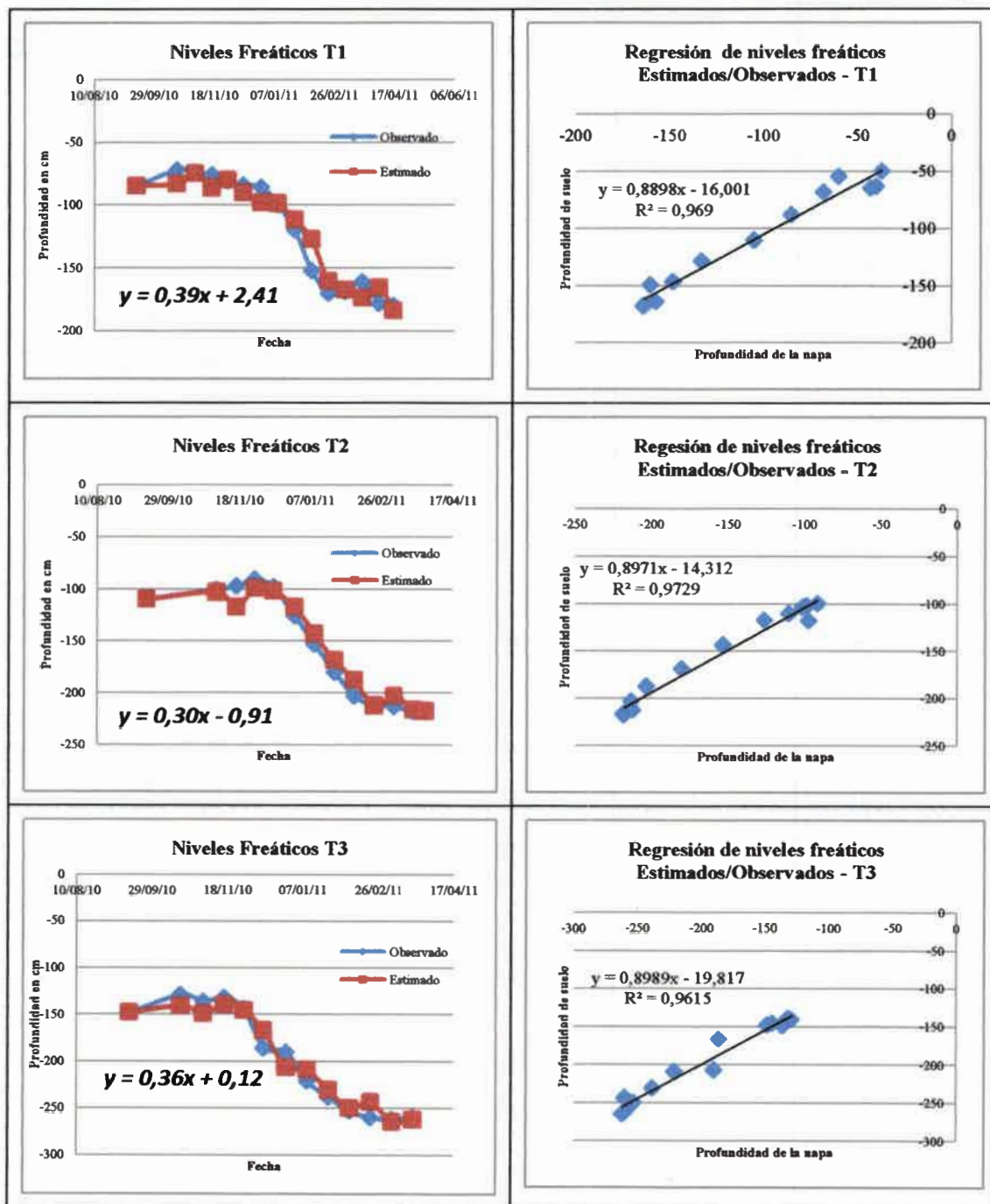
Fecha	T1		T2		T3		T4		T5		PP Mm	PP acum. Mm
	Prof. Cm	Cond. ds/m	Prof. cm	Cond. ds/m	Prof. cm	Cond. ds/m	Prof. cm	Cond. ds/m	Prof. cm	Cond. ds/m		
02/11/2010	-40	1,55	-101	1,75	-129	2,40	-185	2,76	-294	2,15	40	
16/11/2010	-43	1,37	-97	1,68	-136	2,15	-184	2,53	-297	1,95	5	45
29/11/2010	-37	1,31	-91	1,44	-132	2,03	-179	2,42	-296	1,87	40	85
12/12/2010	-60	1,38	-98	1,46	-144	2,16	-189	2,68	-303	1,90	20	105
27/12/2010	-85	1,23	-126	1,29	-186	1,91	-213	2,40	-313	1,62	0	105
10/01/2011	-105	1,19	-153	1,20	-190	1,76	-230	2,30	-335	1,48	6	111
24/01/2011	-133	1,14	-180	1,15	-221	1,78	-255	2,34	-351	1,62	7	118
07/02/2011	-148	1,15	-203	1,11	-238	1,79	-277	2,32	-379	1,52	36	154
21/02/2011	-157	1,18	-212	1,15	-253	1,76	-290	1,93	-395	1,49	33	187
07/03/2011	-160	1,14	-213	1,10	-260	1,30	-297	1,86	-400	1,26	71	258
21/03/2011	-164	1,23	-218	1,18	-262	1,33	-298	1,98	-409	1,31	27	285
29/03/2011	-163	1,17	-218	1,15	-260	1,30	-300	1,92	-409	1,30	24	309

A-7- Niveles freáticos, CE y PP en el cultivo de Soja DM 5.5i

Tabla 28: Niveles freáticos, CE y PP en el cultivo de Soja DM 5.5i

Fecha	T1		T2		T3		T4		T5		PP Mm	PP acum Mm
	Prof. Cm	Cond. ds/m	Prof. cm	Cond. ds/m	Prof. cm	Cond. ds/m	Prof. cm	Cond. ds/m	Prof. cm	Cond. ds/m		
02/11/2010	-75	1,9	-84	1,8	-125	2,6	-205	2,78	-301	2,52	40	
16/11/2010	-81	1,95	-86	1,73	-129	2,56	-212	2,68	-297	2,36	5	45
29/11/2010	-77	1,72	-87	1,52	-132	2,46	-217	2,49	-298	2,28	40	86
12/12/2010	-78	1,79	-102	1,49	-144	2,31	-220	2,44	-293	2,33	40	126
27/12/2010	-89	1,59	-130	1,35	-171	2,14	-231	2,41	-317	2,02	20	146
10/01/2011	-113	1,52	-154	1,32	-191	2,29	-247	2,26	-330	2,06	0	146
24/01/2011	-123	1,48	-163	1,23	-225	2,2	-263	2,3	-349	2	6	152
07/02/2011	-146	1,11	-173	1,1	-234	2,17	-276	2,14	-358	1,84	7	159
21/02/2011	-163	1,18	-188	1,2	-248	1,8	-286	2,25	-373	1,98	36	195
07/03/2011	-177	1,1	-189	0,9	-250	1,43	-299	1,94	-385	1,77	33	228
21/03/2011	-171	1,3	-194	1,04	-251	1,54	-308	2,1	-394	1,88	71	299
04/04/2011	-185	1,19	-210	0,99	-259	1,62	-320	1,88	-403	1,69	27	326
14/04/2011	-184	1,18	-208	1,14	-257	1,52	-319	2,1	-403	1,7	24	350

A-8- Niveles freáticos observados Vs estimados por el modelo y la regresión entre ellos para cada tratamiento del cultivo de Soja DM 4210



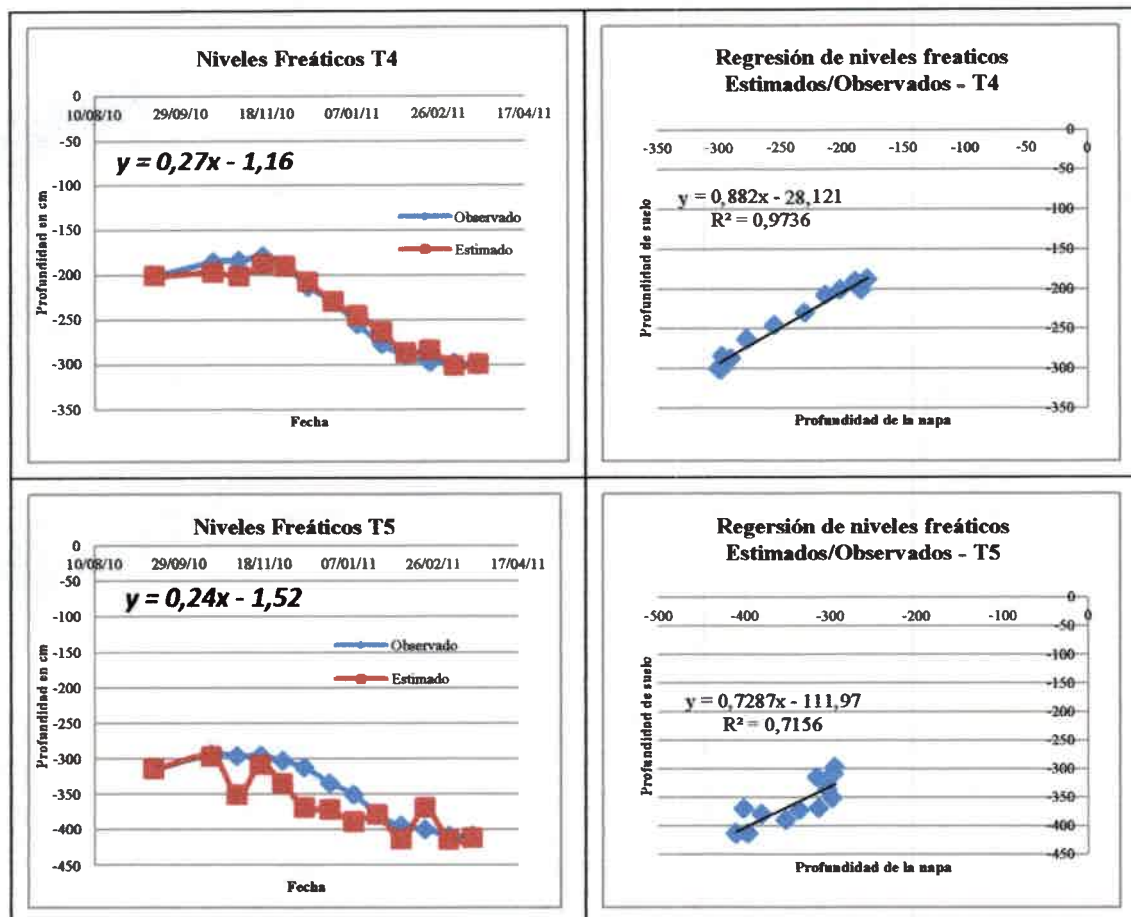
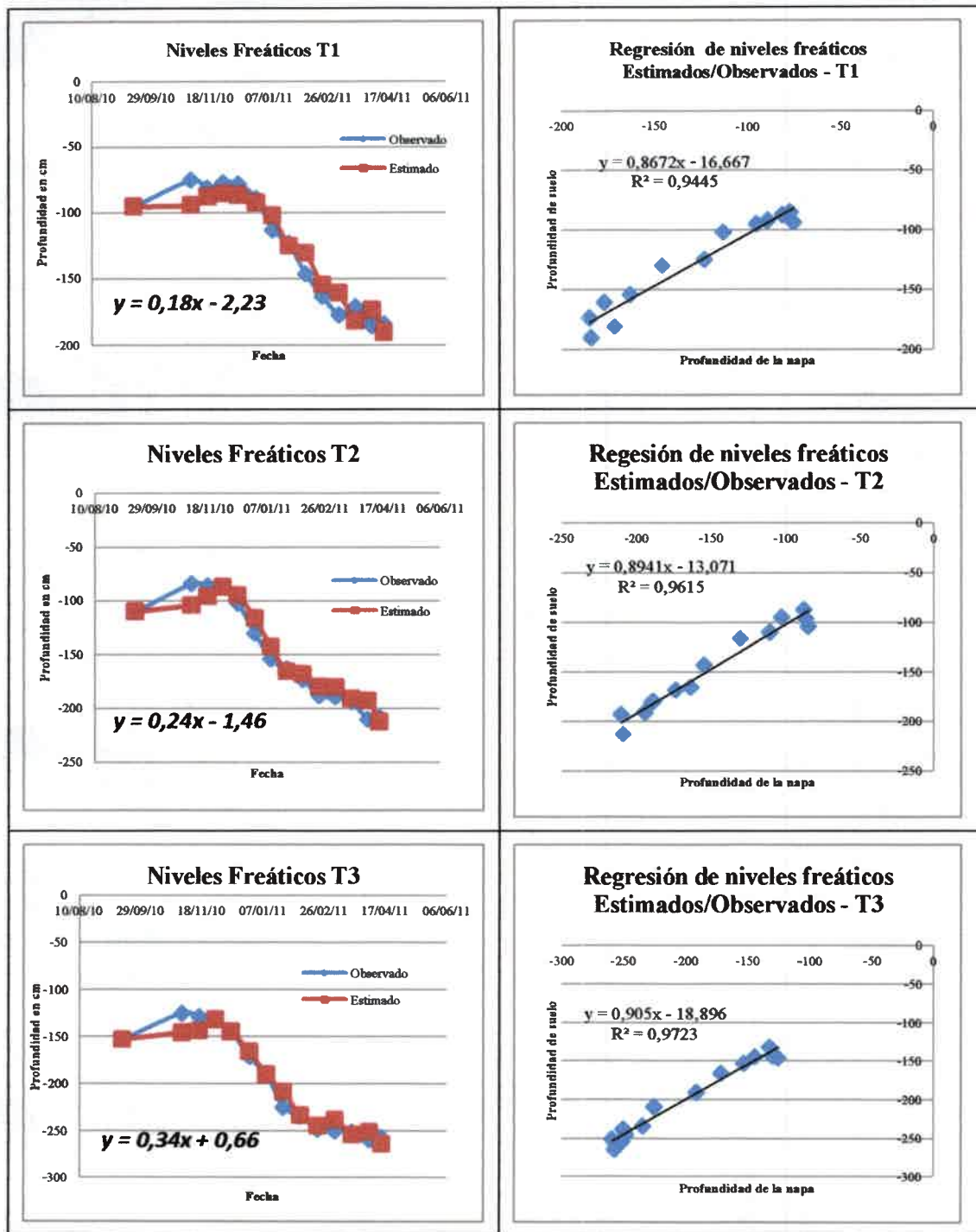


Figura 48: Niveles freáticos observados Vs estimados por el modelo y la regresión entre ellos para cada tratamiento del cultivo de Soja DM 4210

A-9- Niveles freáticos observados Vs estimados por el modelo y la regresión entre ellos para cada tratamiento del cultivo de Soja DM 5.5i



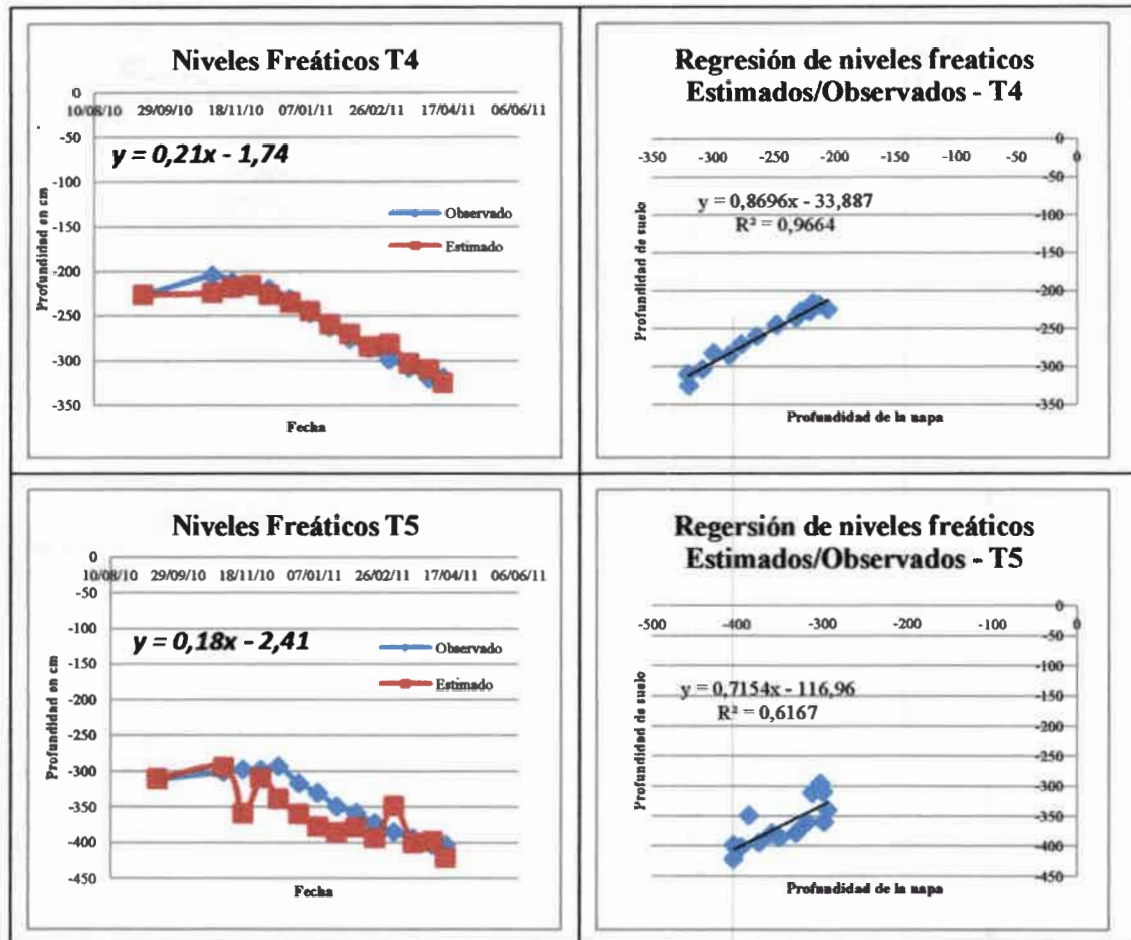


Figura 49; Niveles freáticos observados Vs estimados por el modelo y la regresión entre ellos para cada tratamiento del cultivo de Soja DM 5.5i.