



**Trabajo Final para alcanzar el grado de Ingeniero
Agrónomo**

**Variación espacial de los contenidos hídricos del suelo
en función del relieve.**

Tesista: Eugenia María Fernanda MONTOYA

Director: Eike NOELLEMAYER

2016

RESUMEN:

El objetivo del presente trabajo es aportar la información de base para caracterizar la distribución de la humedad en los perfiles de suelos en microcuencas que corresponden a un paisaje típico de la zona norte de la planicie medanosa. Para tal fin se llevó a cabo un muestreo en un lote sembrado con maíz, cercano a Intendente Alvear (La Pampa), en el cual se pudo diferenciar distintas microcuencas con variadas altimetrías en cada una. Se muestrearon 26 puntos en tres fechas distintas (28/12/2013 cercano a la siembra de maíz, 30/01/2014 durante floración y 06/07/2014 post cosecha). En todos los puntos se midió la humedad del suelo en intervalos de profundidad de 20 cm y hasta una profundidad total de 1,40 m. En 18 puntos se realizaron además ensayos de infiltración con un infiltrómetro de anillo simple. En las microcuencas se encontraban puntos con diferentes altimetrías que demostraron la variabilidad hídrica en lo que respecta a “bajo” y “lomas”. Respecto a las fechas de muestreo, la variación de humedad se vio afectada por el ciclo del cultivo, presentado mayores requerimientos en floración, por ende menor contenido de humedad en el perfil para esta fecha (30/01/2014), que se vio más acentuado en los puntos de mayor altimetría. En tanto que la fecha de muestreo siguiente que corresponde a la post-cosecha del cultivo, se produjo una recarga en el perfil que mostró pocas diferencias en la humedad disminuyendo la amplitud entre los bajos y las lomas. La relación humedad-altimetría indicó que los mayores contenidos de humedad se encontraron en los estratos inferiores, siendo mayores en bajas altimetrías. En tanto que los estratos superiores presentaron menor contenido hídrico influenciado por otros factores como el cultivo y la evaporación. En lo referente a infiltración, los datos utilizados no permitieron establecer una relación entre la altimetría de un punto de una microcuenca y sus características del sistema poroso que determinan la infiltración.

Palabras clave: Microcuencas, Humedad del suelo, Altimetría

Contenido

INTRODUCCIÓN.....	4
Objetivo:.....	5
Hipótesis:.....	5
MATERIALES Y MÉTODOS.....	6
Descripción de la zona de estudio.....	6
Lluvias durante el período del ensayo.....	7
Descripción del lote.....	7
Descripción del muestreo.....	8
Descripción de los puntos muestreados.....	9
Determinaciones analíticas.....	11
Descripción de los métodos de análisis estadísticos.....	11
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	12
Perfiles hídricos de los suelos en las tres fechas de muestreo.....	12
Infiltración acumulada y tasa de infiltración en algunos puntos de muestreo.....	19
Comparación de los contenidos de humedad entre las fechas y profundidades.....	20
Relación entre los contenidos de humedad y la altimetría para cada fecha.....	22
CONCLUSIONES.....	30
REFERENCIAS.....	30
ANEXO 1: COMPARACIÓN ENTRE FECHAS DE MUESTREO DE LOS PERFILES HÍDRICOS POR MICROCUENCA.....	33
ANEXO II: TABLA DE INFILTRACION.....	41

INTRODUCCIÓN

La región semiárida pampeana a pesar de contar con poca variabilidad altitudinal se caracteriza por una amplia diferencia de ambientes que no solo están determinados por su posición en el relieve sino también por la interacción entre distintas fuentes de variabilidad que originan diferentes efectos a escala de lote, como es el caso de la heterogeneidad en la distribución de la humedad en los distintos ambientes dentro de un mismo potrero. En esta región se diferencian las unidades geomorfológicas de planicie con tosca y planicie medanosa, dentro de las cuales diferencias en el micro y meso relieve determinan en gran medida las características de los suelos (INTA et al., 1980). La heterogeneidad de los ambientes conlleva a la variabilidad en las características edáficas y en la productividad de biomasa de sus ecosistemas naturales en general (Solon et al., 2007) y de los cultivos de cosecha específicamente en la región mencionada (Álvarez et al., 2012; Bagnato et al., 2014). Las propiedades edáficas que más varían con el relieve son la textura, y asociado a ella la capacidad de retención de agua (Pachepsky et al., 2006), cualidades que afectan de manera directa la productividad de los cultivos, más aún en regiones con limitantes hídricas. Por este motivo, surge la necesidad de identificar los diferentes ambientes en los paisajes de la región semiárida con cualidades semejantes, determinadas principalmente por la topografía y las características edáficas y hacer un uso diferencial de los mismos con una adecuada utilización de insumos y actuando sobre el uso de la tecnología aplicada para adaptarse a las variables edáficas del paisaje (Gregoret et al., 2006). De esta manera se logrará una utilización más eficiente de los recursos y por consecuencia, un manejo más rentable (Urricariet et al., 2011). Dentro de las distintas zonas de manejo, en general los bajos representan las zonas de alto rendimiento por poseer una mayor retención de agua y de nutrientes (Kumhálová et al., 2011), debido al aporte de materiales por erosión y por escurrimiento. De esta manera, las zonas bajas tienden a tener texturas más finas que las lomas. Estas diferencias texturales afectan la disponibilidad de agua, independientemente del aporte de agua que depende más del relieve (Crow et al., 2008). Sin embargo, no se ha estudiado las características texturales en un paisaje típico de la región semiárida pampeana y la evolución de los contenidos hídricos en los suelos a lo largo de una red de drenaje en las pendientes, a pesar de que esta información resultaría de suma importancia para la definición y delineación de zonas de manejo homogéneo para el manejo sitio-específico (Roudier et al., 2008). La eficiencia de uso de agua de los cultivos en regiones semiáridas es la clave para el diseño de sistemas de producción sustentables (Noellemeyer et al., 2013), y la estrecha relación entre la textura del suelo y la eficiencia de uso de agua (Katerji and Mastrorilli, 2009) predestina a este parámetro como primordial para la definición de zonas de manejo (Gregory et al., 2000).

Objetivo:

El presente trabajo tiene como objetivo aportar la información de base para caracterizar la distribución de la humedad en los perfiles de suelos en microcuencas que corresponden a un paisaje típico de la zona norte de la planicie medanosa.

Hipótesis:

En la planicie medanosa pampeana, la disponibilidad hídrica para los cultivos depende de la altimetría del perfil del suelo, con mayores contenidos hídricos en los perfiles ubicados en las posiciones bajas de las microcuencas. Las diferencias de humedad entre las posiciones topográficas se acentuarían en épocas de escasa lluvia o de alto consumo del cultivo, mientras que en épocas de recarga las diferencias de humedad entre perfiles de suelos son menores.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción de la zona de estudio

La presente tesis se desarrolla en la región subhúmeda (al Noreste de la Provincia de La Pampa) en el Establecimiento “Loma Arisca”, en cercanías de la localidad de Intendente Alvear. El mismo pertenece a la subregión de las planicies medanosas. Los suelos son Haplustoles énticos o típicos según su ubicación en la topografía, con suelos más evolucionados en las partes bajas del relieve.

En lo que hace al relieve en sí, se trata de ondulaciones arenosas que tienen sentido N-S y de médanos aislados. Entre estas ondulaciones se intercalan planicies arenosas. Se pueden encontrar frecuentes áreas deprimidas con lagunas temporarias. No se observan afloramientos rocosos. En función de las diferencias de relieve que se presentan en esta área se pueden distinguir sectores, de los cuales el lugar en donde se ubica el establecimiento mencionado más arriba corresponde al sector norte, que se extiende desde el límite norte de la provincia de La Pampa hasta la línea de General Pico-Trebolares. El relieve de este sector es de plano a suavemente ondulado, con médanos bien definidos.

Climáticamente, se puede decir que los inviernos son más “benignos” comparativamente a otras zonas de la provincia, con una temperatura media anual que ronda en 16°C. Las fechas de primera y última helada, se dan aproximadamente a principios del mes de mayo y finalizan a mediados del mes de septiembre, respectivamente. En lo que refiere a la época estival y continuando con la comparación climática respecto de otras regiones adyacentes al lugar, ésta se caracteriza por temperaturas más elevadas, lo que genera una mayor evapotranspiración. Esto conlleva a valores más elevados de deficiencia de agua anual. En cuanto a la época de precipitaciones, las mismas se dan mayoritariamente durante el periodo de primavera-verano, alcanzando niveles de entre 600 y 700 mm anuales. Respecto a los vientos, estos predominan del sector NNE y SSO, dándose los de mayor intensidad en el periodo que va desde septiembre hasta diciembre.

Esta zona tiene una aptitud de tipo mixto agrícola-ganadera, permitiendo el cultivo de forrajeras anuales y de pasturas perennes con base de alfalfa y además los cultivos de cosecha principales como trigo, girasol, maíz, soja y sorgo.

Lluvias durante el período del ensayo

A partir de los datos de lluvias de Gral. Pico (Figura 1), entre el segundo y tercer muestreo, los milímetros caídos fueron de 667 mm, Esto indica que hubo buenas precipitaciones en dichos

meses que coincidieron con el final del ciclo del cultivo, permitiendo la recarga de los perfiles de suelo.

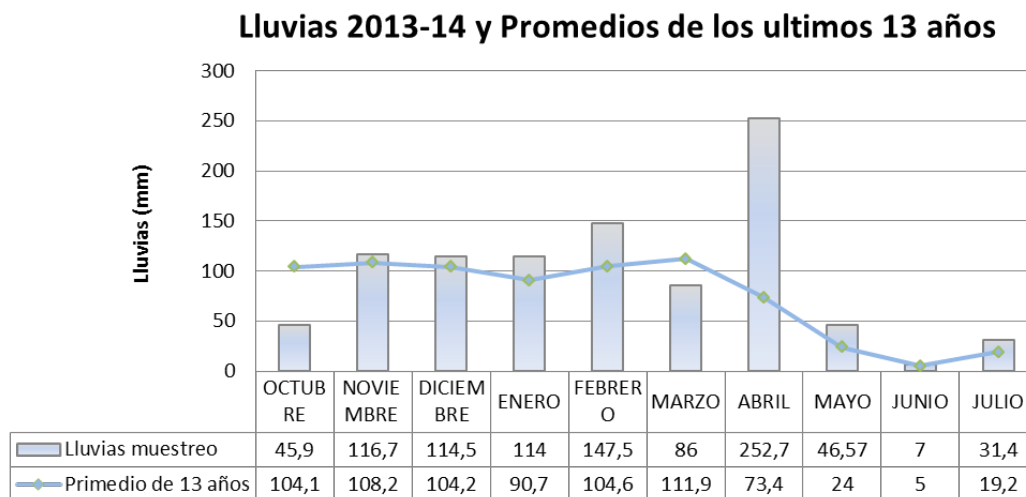


Figura 1: Lluvias correspondientes al periodo que abarcó el muestreo y los promedios históricos de los últimos 13 años.

En función de los valores históricos presentes en el gráfico (Figura 1) se observó que los meses que mayores precipitaciones presentaron fueron los de primavera-verano, con valores elevados en cada mes. En tanto que desde abril hasta el mes de julio las lluvias disminuyeron marcadamente, coincidiendo con la escasez hídrica del otoño- invierno. Respecto a las lluvias presentes en el periodo de muestreo durante los meses de noviembre a febrero las lluvias no difirieron de manera marcada con los promedios de los últimos 13 años. Lo mismo se observó para los meses de mayo, junio y julio. En tanto, existieron diferencias, en octubre de 2013 que presentó pocas lluvias respecto al promedio y en el mes de abril (2014) que en contraposición las lluvias fueron muy elevadas respecto al promedio del mismo mes.

Descripción del lote

El lote en el cual se realizaron los muestreos (Figura 2), se ubica al NE La Pampa (35° 24' 11" S y 63° 40' 38" O). Este presenta una superficie ondulada de 125 ha y la clase textural es arenosa. El mismo se ha manejado con una rotación de cultivos de verano (girasol, maíz, sorgo y soja) en siembra directa durante al menos 10 años, y en las últimas dos campañas se han utilizado densidades variables de siembra con una máquina sembradora de precisión, según prescripciones elaboradas sobre la base de la altimetría, con densidades menores en posiciones de loma y más altas en media loma y bajo. La fertilización y la aplicación de herbicidas no se

realizaron con dosis variables, sino uniformes en todo el potrero. En la campaña 2013/14 el potrero estuvo sembrado con un cultivo de maíz.

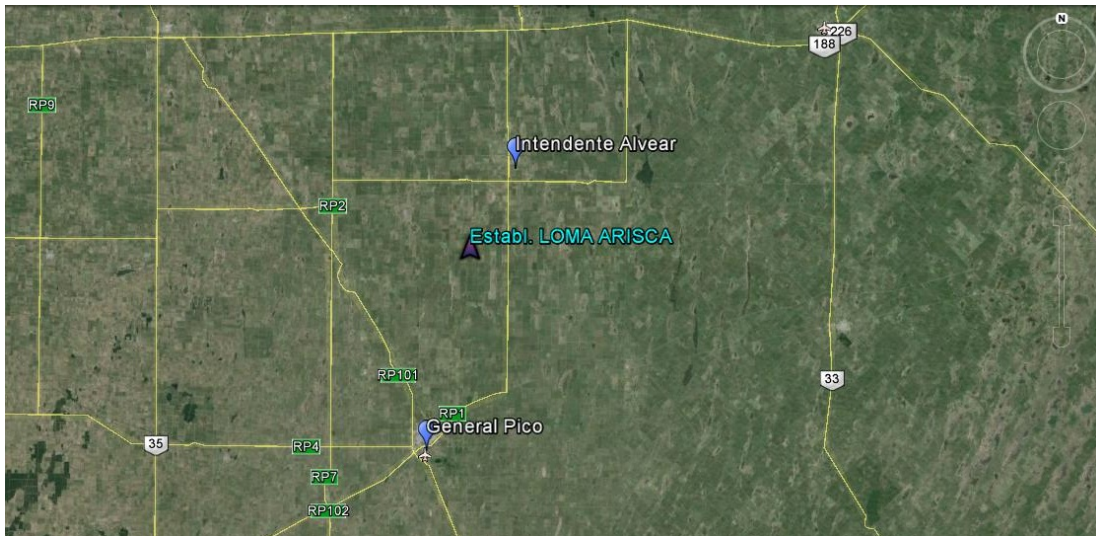


Figura 2: Ubicación del sitio experimental, Establecimiento “Loma Arisca”, L.P. Latitud Sur: 35° 24’ 11”, Longitud Oeste: 63° 40’ 38.

Descripción del muestreo

Se estableció una grilla de puntos de muestreo de acuerdo a un modelo de elevación digital y por medio de un cálculo de modelación se determinaron las líneas de drenaje. Sobre estas se seleccionaron los puntos de muestreo (28 en total), por medio de GPS, estipulados de acuerdo a las variaciones del relieve dentro del lote en estudio (Figura 3). Se realizaron muestreos de cada punto en tres fechas a lo largo del ciclo del cultivo de maíz. El primer muestreo coincidió con la primera etapa del cultivo (V3-4; 28-12-2013), el segundo muestreo fue durante floración (30-01-2014) y el último muestreo a aproximadamente 2 meses después de la cosecha del maíz (06-07-2014).

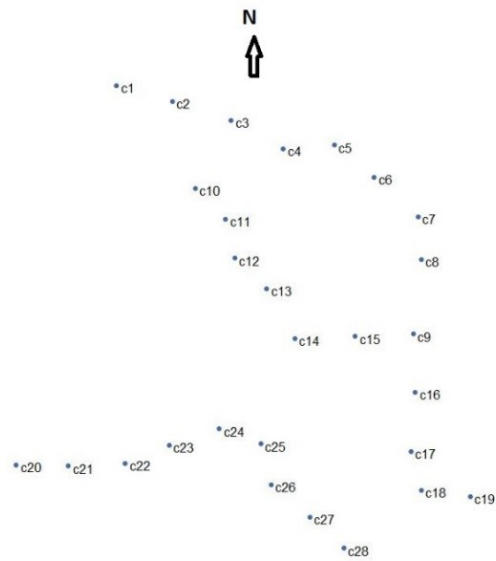


Figura 3: Mapa de puntos de muestreo

Descripción de los puntos muestreados

Los puntos de muestreo se representaron por microcuencas (Tabla 1), de acuerdo a lo obtenido por el modelo hidrológico, tarea que fue realizada por el Ing. Mauricio Farrell, quién aportó los datos de las microcuencas. De los 28 puntos de muestreo estipulados, en este trabajo se muestrearon 26, presentándose en 5 microcuencas. No fueron medidos los dos puntos de la cuarta microcuenca que correspondieron a un médano.

Tabla 1: Tabla con los puntos de las microcuencas con sus respectivas alturas

	Punto	Altura	
1° microcuenc a	c1	134,1	
	c2	133,9	
	c3	133,5	
	c4	132,2	
	c5	132,9	
	c6	132,4	
	c7	132,2	
	c8	131,9	
	c9	131,4	
2° microcuenc a	c10	133,1	
	c11	132,9	
	c12	132,6	
	c13	132,5	
	c14	132,4	
	c15	132,0	
3° microcuenc a	c16	131,8	
	c17	131,7	
	c18	131,1	
	c19	130,7	
4° microcuenc a	c20	137,0	Médano
	c21	134,9	Médano
5° microcuenc a	c22	134,0	
	c23	133,5	
	c24	132,9	
6° microcuenc a	c25	132,4	
	c26	132,2	
	c27	131,5	
	c28	131,2	

Determinaciones analíticas.

En cada punto de muestreo se realizaron las siguientes determinaciones: a) contenido hídrico del suelo a partir de la recolección de muestras tomadas del perfil con barreno, de 0 a 1,40 metros de profundidad cada 20 cm. Se realizaron 3 muestreos a lo largo del ciclo de un cultivo de maíz en el momento posterior a la siembra (28 de diciembre de 2013), alrededor de floración (30 de enero de 2014) y después de la cosecha (6 de julio de 2014).

b) Ensayo de infiltración mediante el uso de infiltrómetros de anillo simple. Dicho infiltrómetro cuenta con un cilindro de 20 cm de diámetro y una botella de Mariot que permite obtener las lecturas. La capacidad de la misma fue de 53 mm y la carga inicial del infiltrómetro era de 10 mm. En cada punto de muestreo se realizaron 2 mediciones de infiltración. Se colocó el anillo en el suelo, teniendo cuidado de no disturbar el mismo. La parte superior del anillo se tapó para evitar la evaporación, dejando solo un orificio que permitió colocar la botella o tubo de Mariot, y luego se agregó agua para lograr una carga constante que permitió las lecturas. Las lecturas se realizaron a intervalos inicialmente al 1', 3', 5' y cada 5' hasta llegar a los 30' y finalmente se leyó cada 10' hasta concluir en los 60 minutos. Con los datos recolectados se determinó infiltración, infiltración acumulada, infiltración promedio y promedio acumulada.

Descripción de los métodos de análisis estadísticos

Se realizó en primer lugar un estudio descriptivo de los contenidos de humedad en el espacio, en función de la altimetría para cada punto y de acuerdo a la agrupación de los mismos en microcuencas. Los datos se analizaron mediante el ajuste de modelos lineales mixtos. Éstos, además de permitir incluir efectos aleatorios, permite el análisis de datos que presentan correlaciones (en el espacio, profundidad, temporal, etc.) y/o heterocedasticidad. Estas características determinan que sean la opción más flexible para el análisis de los datos (Schabenberger and Pierce, 2002). La comparación entre los modelos se realizó a través del criterio de Akaike (AIC), eligiendo como mejor el que presentó menor AIC (Little et al, 2006). La implementación de los modelos mixtos se realizó a través del programa estadístico InfoStat (Di Rienzo et al., 2015).

El estudio de los contenidos medios de humedad en las distintas fechas se realizó a través del ajuste de un modelo para cada profundidad. En dichos modelos se consideró como efecto fijo las distintas fechas y se modeló la heterocedasticidad a través de una función (identidad) que permitió estimar una varianza distinta para cada fecha. Siempre la tercera fecha de muestreo fue la que presentó mayor variabilidad, seguida por la segunda. No se modeló la presencia de correlación espacial entre los puntos ya que la inclusión de la misma no mejoró los modelos. Luego se realizaron pruebas de diferencias de medias usando la prueba LSD de Fisher.

El estudio de los contenidos medios de humedad en función de la profundidad para cada fecha, se realizó a través del ajuste de modelos en los que consideró como efecto fijo la profundidad. En este caso no fue necesario modelar la heterocedasticidad pero sí la presencia de correlación entre los errores, ya que las determinaciones realizadas en cada punto en las distintas profundidades no fueron independientes. Para la modelación de la correlación en profundidad se usó un modelo autoregresivo de orden 1 (AR(1)), en dicho modelo la correlación decae a medida que las mediciones son obtenidas a mayor distancia. Luego las comparaciones de medias se realizaron usando la misma prueba que la descripta anteriormente.

Para estudiar la asociación entre los contenidos de humedad y la altimetría, se realizó un análisis para cada profundidad en los que se estudió si la asociación fue la misma en las distintas fechas. Este análisis se realizó a través de la comparación del coeficiente que describe la tasa de cambio (pendiente) en las distintas fechas. Para realizar este análisis se ajustaron modelos en los que se incluyeron como factores fijos a las fechas y la altimetría. Esta última al ser una variable continua, actuó como covariable. Los coeficientes distintos de cero indican presencia de asociación y además permiten concluir si los mismos difieren entre las fechas. En todas las profundidades fue necesario modelar la heterocedasticidad, en general la mayor variabilidad se observó en la primer y última fecha de muestreo.

Luego para comparar los coeficientes obtenidos para cada fecha en todas las profundidades se graficaron los mismos junto con sus intervalos de confianza del 95%. Cuando dichos intervalos no se solapan se puede concluir que estadísticamente los coeficientes difieren.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Perfiles hídricos de los suelos en las tres fechas de muestreo.

Los perfiles hídricos de los suelos en las tres fechas de muestreo y desglosados por microcuencas se presentan en el Anexo I.

La primera fecha de muestreo (Figura 4) correspondió al momento inmediatamente posterior a la siembra del cultivo de maíz (28/12/2013). En la primer microcuenca se observó que, con excepción del punto 9, todos los puntos presentaron mayor humedad en los estratos superficiales (0-20 y 20-40 cm), disminuyendo a medida que la profundidad aumentó. Se observó una tendencia de diferenciación en los perfiles hídricos de los puntos altos de la microcuenca que tuvieron contenidos hídricos homogéneos en todo el perfil de suelo. Los puntos intermedios de la cuenca, en tanto, tuvieron mayor humedad en superficie y estuvieron

más secos en profundidad con respecto a los puntos más bajos que mostraron humedad en superficie, un intervalo intermedio más seco y mayor humedad en profundidad.

En la segunda microcuenca (C10 a C14), entre los primeros 20-40 cm se presentaron la mayor cantidad de agua del perfil, variando en cada punto a medida que aumentó la profundidad. Las variaciones más marcadas se presentaron en C14. Como resumen se pudo concluir que esta microcuenca mostró un comportamiento diferente a la anterior en el sentido de que no se observaron aumentos de humedad en profundidad.

En la tercer microcuenca (C17 a C19), hubo mayores valores de humedad en profundidad, destacándose que entre estas coordenadas se encontró el de menor altura de todo el muestreo C19. Se observó una leve disminución del contenido hídrico entre los 20 y 60 cm, para luego presentarse una recarga en el perfil a medida que se aumentó en profundidad. Además los valores de humedad fueron elevados en todo el perfil comparado con los demás puntos antes descritos.

Los puntos de la cuarta microcuenca (C22-C23-C24) presentaron alturas que se encontraron en el mismo orden (entre 132 y 134 m.) que los de la segunda microcuenca y se observó una tendencia similar en lo que respecta a contenido hídrico. En los primeros centímetros se presentó mayor humedad en el perfil, disminuyendo en los estratos medios hasta mantenerse en los mismos valores en profundidad.

La quinta microcuenca abarca los puntos C25 a C28, de los cuales solo se muestreó el C25. Este presentó buena humedad en superficie, luego se produjo un descenso del contenido hídrico entre los 20 y los 60 cm. A partir de esta profundidad hasta los 140 cm, se observó el aumento progresivo de humedad.

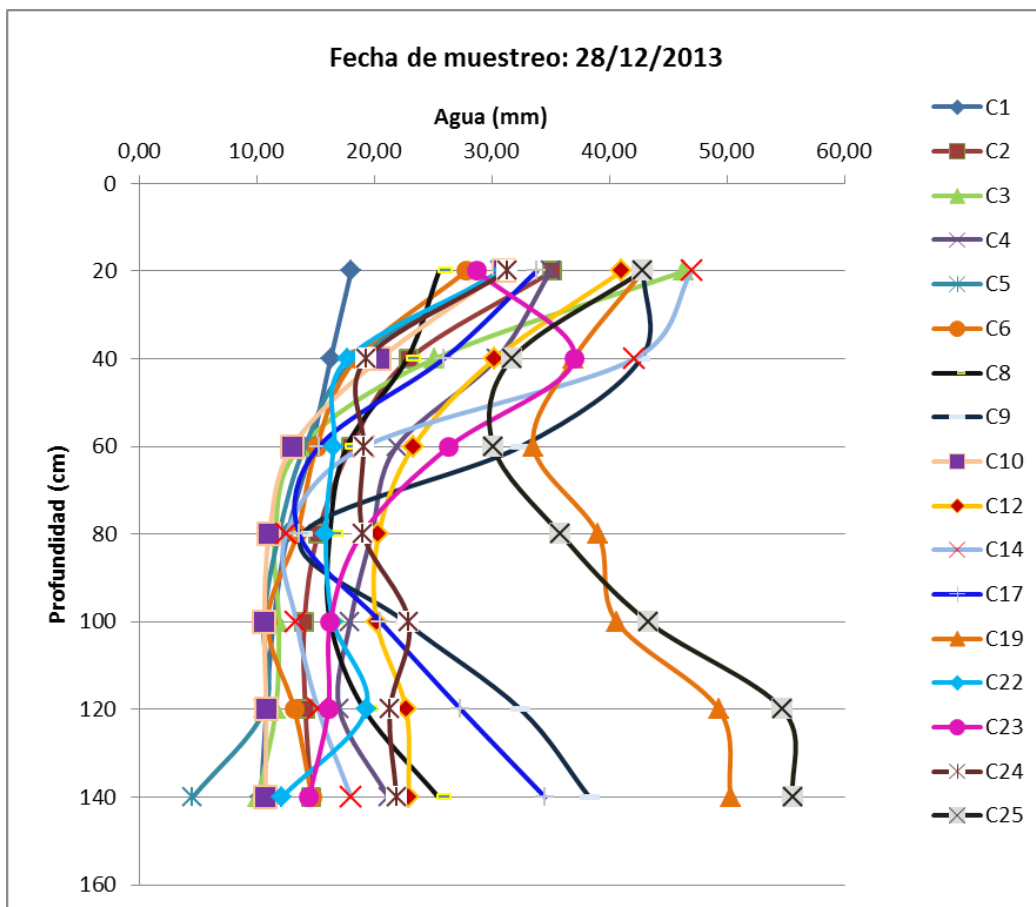


Figura 4: Perfiles hídricos de todos los puntos correspondiente a la primera fecha de muestreo.

En la segunda fecha de muestreo (30/01/2014) que coincidió con el período de floración, los contenidos hídricos totales en todos los puntos fueron considerablemente menores que en la primera fecha, debido a la exploración y extracción de agua por la raíces del cultivo. En este periodo el consumo diario de agua por parte del maíz es de 7 mm/día (Evans et al., 1996).

En todos los puntos de la primer microcuenca (C1a C9) la tendencia en el perfil hídrico fue similar (Error: no se encontró el origen de la referencia), con poca variación en todo el perfil. De la segunda microcuenca (que abarca los puntos C10 a C15) solo C12 y C14 fueron muestreados. En dichos puntos hubo poca humedad y esta fue homogénea en el perfil. Los valores más elevados se encontraron en los primeros 20 cm. En la tercer microcuenca (C16 a C19), todos los puntos mostraron perfiles hídricos más variables que en las microcuencas anteriores. En general se observó que en los primeros 40-80 cm la humedad fue homogénea, con los valores más altos para esta fecha. A una profundidad intermedia los contenidos hídricos disminuyeron y luego se observaron valores mayores en los últimos 40 cm. Esta microcuenca es

donde se presentaron los mayores valores de agua en el perfil, coincidiendo que en la misma se encontraron los puntos de menores alturas. Esto estaría indicando el motivo por el cual el contenido hídrico sería levemente mayor al resto de los puntos. En los siguientes 3 puntos (C22, C23, C24) de la cuarta microcuenca, se presentaron bajos valores de humedad en el perfil, con tendencia a valores altos entre los 20-40 y 40-60 cm de profundidad. En C22 y C23 el contenido hídrico fue similar a la primer microcuenca. En la quinta microcuenca (C25 a C28), en los puntos 25 y 27, se observó que la humedad en el perfil fue constante, sin variación en profundidad. En tanto que C28 en los primeros 80 cm no varió y a partir de este estrato comenzó a aumentar hasta 140 cm.

En los puntos más altos de las cuencas, el contenido de humedad fue bajo y homogéneo en los estratos superiores y disminuyó en profundidad. Esto indicaría que el cultivo en esta fase de floración estuvo extrayendo el agua de todo el perfil. En cambio, en los puntos bajos de las cuencas descritas, la humedad en los estratos superiores fue menor, debido a la evaporación y a la extracción del cultivo, en tanto que en profundidad los contenidos hídricos fueron mayores. Considerando que es probable que la profundidad de raíces fuera similar en todos los puntos, estos mayores contenidos hídricos a profundidad estarían indicando aportes por flujo subterráneo desde los puntos más altos de las cuencas. Por lo contrario, si se presume que la exploración de las raíces no fue similar en todos los puntos, esto mismo indicaría que en los puntos más bajos altimétricamente las raíces estarían explorando un menor espesor del suelo.

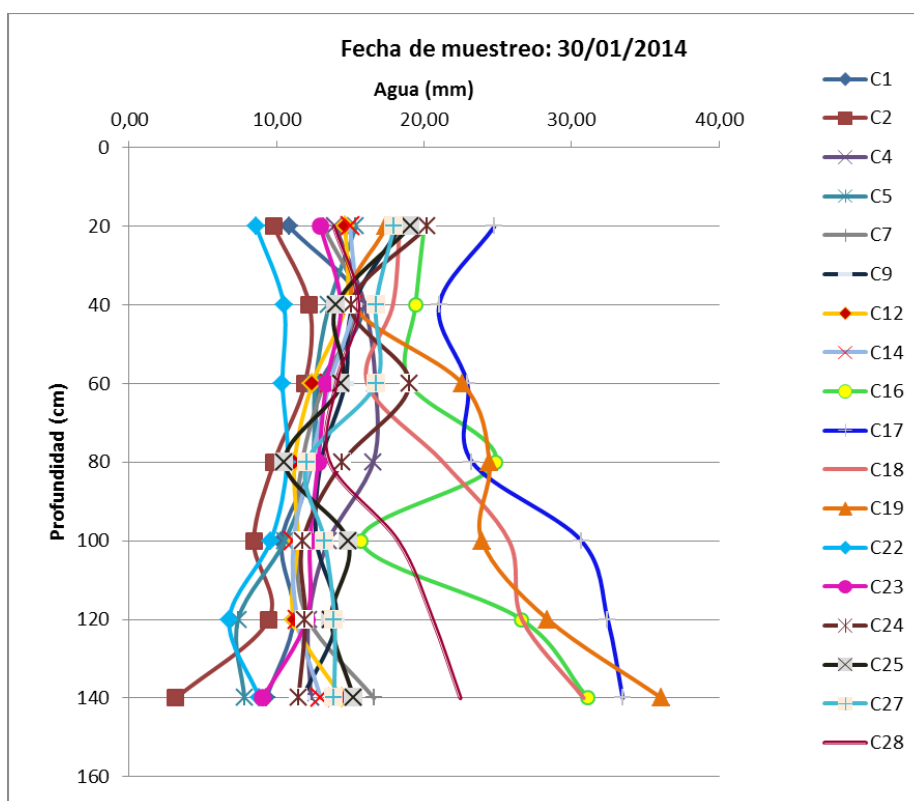


Figura 5: Perfiles hídricos correspondiente a la segunda fecha de muestreo.

La última fecha de muestreo (06/07/2014) representó la situación de recarga del perfil del suelo (Figura 6), ya que el consumo del cultivo fue nulo y las precipitaciones acumuladas fueron elevadas, llovieron en total 306,3 mm entre abril y junio (Figura 1). Esto se manifestó en que en todos los perfiles de esta fecha los contenidos hídricos fueron mayores a los de las fechas anteriores, todos superiores a 25 mm por cada 20 cm de profundidad, llegando a máximos de hasta 70 mm por estrato en los puntos más bajos de las microcuencas.

En la primer microcuenca, los primeros 3 puntos (C1, C2, C3) no mostraron variaciones marcadas de agua en el perfil. C4, C5 presentaron similar distribución de humedad pero con mayores contenidos de agua, respecto de los puntos anteriores. En C6 la humedad se mantuvo relativamente constante hasta los 120 cm, decayendo en los 140 cm. C7 tuvo variaciones más marcadas a lo largo del perfil, presentó en los primeros 0-20 cm una elevada cantidad de agua, luego disminuyó y a mayor profundidad volvió a aumentar. Los puntos 8 y 9 presentaron mayor humedad que el resto de los puntos, mostrando que los valores más elevados se encontraban en profundidad. En C8 se observó una tendencia más marcada ya que en los estratos superiores fue muy bajo el nivel de agua.

La segunda microcuenca, en general tuvo mayores contenidos hídricos que la primer microcuenca, aunque el primer punto, C10, presentó similar distribución de humedad y contenidos que los puntos de la primer microcuenca. C12 tuvo un aumento gradual de agua a medida que la profundidad fue aumentando. C13 presentó bajos valores de humedad en los primeros 20 cm, aumentando ésta hasta los 60 cm. En los restantes perfiles se mantuvo el contenido hídrico con variaciones no muy significativas. C14 mostró más humedad en los primeros estratos respecto a los puntos anteriores, aumentando el contenido en profundidad. Similar distribución ocurrió con C15.

En la tercer microcuenca los perfiles tuvieron mayores contenidos hídricos que en la microcuenca anterior, y en las coordenadas 16 y 17 hubo mayor humedad en profundidad. C17 a partir de 60 cm hasta 140 cm presentó variación en las distintas profundidades medidas. En cambio, en C16 aumentó gradualmente el contenido de agua. C18 presentó mayor humedad en los primeros 60 cm, y luego disminuyó en los estratos inferiores. En C19 el contenido de humedad fue constante en todos los estratos.

La cuarta microcuenca presentó C22 y C23 con similar distribución que C1, C2, C3 y C10, incluso con contenidos de humedad similares. En C24, que tuvo más humedad que C23 en todo el perfil, la humedad en los primeros 80 cm se mantuvo relativamente constante, produciéndose aumento hasta los 100 cm, luego se produjo una caída en el contenido hídrico hasta el 1,40 m, disminuyendo por debajo de los valores que se observaron en los primeros estratos.

En la última microcuenca (C25 a C28), en C25 se observó el caso opuesto al punto anterior (C24). Se dió un aumento gradual de humedad en el perfil a medida que aumentaba la profundidad y tuvieron más humedad que el punto 24 en todo el perfil. C26 tuvo el mismo comportamiento que C25. En C27, se produjo un aumento de agua hasta los 60 cm. Luego los valores de humedad cayeron de manera muy marcada. En C28 los mayores valores de agua se encontraron en los estratos medios (desde 40 a 100 cm).

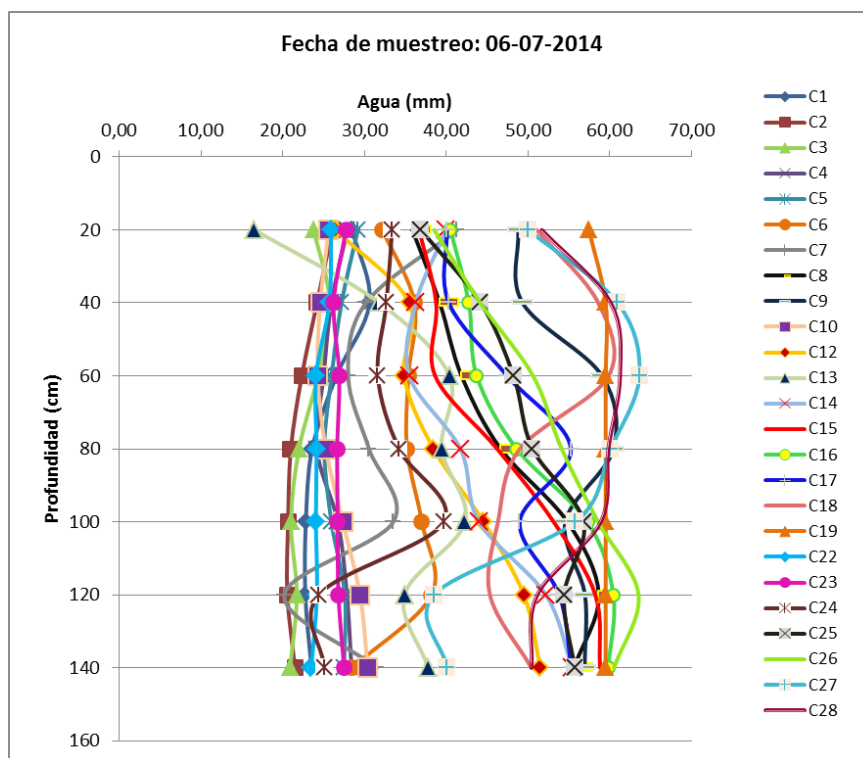


Figura 6: Perfiles hídricos correspondientes a la tercera fecha de muestreo.

En cada microcuenca, se presentaron puntos con variación marcada en la altimetría, y se diferenció el comportamiento del contenido hídrico entre los mismos. En los puntos con más altimetría los contenidos hídricos fueron menores. Esto podría explicarse por el drenaje hacia puntos bajos y por la mayor tasa de evaporación, ya que en estas posiciones la textura de los suelos generalmente fue más arenosa, presentando mayores proporciones de macroporos. En tanto que los puntos con menos altimetría presentaron más humedad tanto en profundidad como en los estratos superiores, posiblemente resultado del aporte desde posiciones más elevadas del relieve, y menor evaporación debido a texturas generalmente más finas con mayores proporciones de meso- y microporos. La relación positiva entre el relieve y la disponibilidad hídrica ha sido mencionada para los paisajes de la Pampa húmeda (Urricariet et al., 2011), dónde estas diferencias determinaron en forma significativa los rendimientos de maíz.

En el caso de la primer microcuenca los puntos más bajos correspondieron a C4 y C9. En función de los gráficos se pudo observar que en las tres fechas C9 presentó mayor contenido hídrico, comparándolo con los demás puntos. En el caso de la segunda microcuenca el punto más bajo C15 fue muestreado en solamente una de las 3 ocasiones por ende sólo se analizará el C14. Dicho punto mostró una recarga gradual pasadas las fechas, observándose que en la última existió una recarga en profundidad. En la tercer microcuenca se pudo observar que todos sus puntos se ubicaron en un bajo, y se observó que el mayor contenido hídrico se presentó en profundidad. En la siguiente microcuenca se observó una leve tendencia a menores contenidos

hídricos en los puntos más altos y mayor en el más bajo, en especial en profundidad, salvo en la última fecha donde no hubo variaciones en profundidad a excepción de los puntos C22 y C23. En la quinta microcuenca, no hubo una tendencia que marque un patrón de drenaje donde los puntos más bajos (C27 y C28) presenten mayor contenido hídrico, de hecho en el punto C25, el más alto de dicha microcuenca, es donde se observó mayor recarga hídrica en las fechas muestreadas. Se pudo observar que en el momento de floración los valores de humedad fueron inferiores a las mediciones realizadas en las otras fechas de muestreo. En contraposición los valores más elevados se encontraron en las mediciones realizadas luego de la cosecha.

Estos resultados indicarían que el modelo utilizado para definir y discriminar las diferentes microcuencas ubicadas en el lote fue satisfactorio en el sentido que pudo representar diferentes patrones de drenaje y recarga dentro del relieve.

Infiltración acumulada y tasa de infiltración en algunos puntos de muestreo.

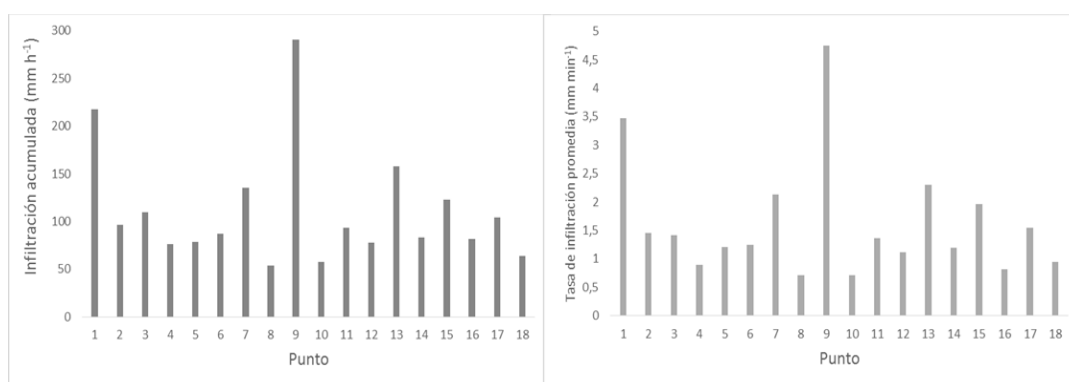


Figura 7: Infiltración acumulada y tasa de infiltración promedio de los puntos de muestreo.

En función de la infiltración acumulada promedio a los 60 minutos (Figura 7), se pudo observar que los puntos con mayor infiltración fueron el 1 y el 9, correspondiendo con el de mayor y menor altura respectivamente. Ambos puntos se encuentran en la primer microcuenca. Estos puntos también tuvieron las mayores pendientes de la infiltración acumulada promedio. Con esto, también se logró deducir que las menores pendientes se ajustan a menores valores de infiltración acumulada.

En la segunda microcuenca los puntos C10 y C14 presentaron valores bajos de infiltración acumulada promedio, con una pendiente baja. Esto indicaría que la capacidad de infiltración fue baja en ambas coordenadas. Por el contrario los puntos C11, C12 y C13 presentaron valores de infiltración acumulada elevadas con pendientes similares. En el caso de C15, que presentó la primera lectura hasta los 50 minutos y la segunda lectura hasta los 25 min., se hizo un promedio

acumulado, solo hasta los 25 min. Se observó infiltración acumulada y pendiente elevada (que para este caso, está en relación con el tiempo medido, que es menor al compararlo con otros puntos a los 25 minutos. Se halló una tendencia similar a lo encontrado por ejemplo en C13 -.)

La tercera microcuenca (C16-C17-C18), con similar altura todo sus puntos, de los cuales C16 y C18 presentaron pendiente baja y la infiltración acumulada fue baja para ambos. En C17 la pendiente fue más elevada, con valores de infiltración acumulada promedio alta. Lo mismo se observó en la tasa de infiltración de las dos lecturas realizadas.

Los datos obtenidos de los ensayos de infiltración no permitieron establecer una relación entre la altimetría de un punto de una microcuenca (Anexo II Tabla 1) y sus características del sistema poroso que determinan la infiltración. La tasa de infiltración depende en primer instancia de la textura del suelo, siendo mayor en texturas más arenosas (Bagarello et al., 2009), pero a su vez es influenciada por procesos de degradación física como la compactación (Whalley et al., 2012). Si bien se esperaría encontrar suelos de textura más arenosas en las cúspides de las lomas en las altimetrías más elevadas debido a los procesos eólicos que han formado estos paisajes (Zárate and Tripaldi, 2012), tal vez esta interacción entre factores pedogenéticos y antrópicos haya ocultado la relación entre la posición en el relieve y tasa de infiltración.

Comparación de los contenidos de humedad entre fechas y profundidades.

Para todas las profundidades los mayores contenidos de humedad se observaron en la tercera fecha de muestreo, excepto en la profundidad 0-20 cm, en la que no se observaron diferencias en los contenidos de humedad promedios entre la primera y tercera fecha (). Los contenidos de humedad hasta los 60 cm difirieron estadísticamente entre la primera y segunda fecha de muestreo, observándose mayores contenidos de humedad a la siembra que en floración. Para las siguientes profundidades no se evidenciaron dichas diferencias ().

Tabla 2: Comparación de los contenidos de humedad (mm) entre las distintas fechas y para cada profundidad de suelo muestreada.

Fecha	Profundidad de suelo (cm)						
	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120	120-140
28/12/2013	34.78a	26.98b	20.26b	17.71b	18.83b	21.54b	22.36b
30/01/2014	15.80b	15.43c	15.37c	14.85b	14.74b	15.66b	16.71b
06/07/2014	36.48a	38.02a	39.15a	40.06a	41.63a	40.82a	41.44a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Al comparar las distintas profundidades para cada fecha, sin tener en cuenta el efecto de la altimetría, se observó que a la siembra los mayores contenidos de humedad se hallaron en la superficie (profundidad 0-20 cm.), disminuyendo en profundidad, no presentando diferencias en los contenidos a partir de los 40 cm. (Tabla 3). Para las otras dos fechas no se observaron diferencias estadísticamente significativas en los contenidos de humedad en las distintas profundidades (Tabla 3).

Tabla 3: Comparación de los contenidos de humedad (mm) entre las distintas profundidades de suelo para cada fecha.

Profundidad	Fechas		
	28/12/2013	30/01/2014	06/07/2014
0-20	34.78a	15.45a	36.83a
20-40	26.98b	15.45a	38.71a
40-60	20.26c	15.17a	39.60a
60-80	17.72c	14.66a	40.22a
80-100	18.84c	14.70a	41.56a
100-120	21.55bc	15.68a	40.46a
120-140	22.37bc	16.62a	41.02a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

En el caso de la primer fecha de muestreo, se podría estipular que existieron bajas reservas de humedad en el suelo, tal vez debido a la baja eficiencia de barbecho que se observa en suelos de esta región (Fernandez et al., 2008), mientras que el aporte de las lluvias más recientes (noviembre y diciembre) se verían reflejadas en mayores contenidos de humedad en superficie. En cambio, en la segunda fecha, todos los perfiles de los suelos fueron muy secos, debido a la extracción del cultivo de maíz que en esta época alcanzó su máximo desarrollo. En la última fecha se observaron los mayores contenidos hídricos, que fueron muy parejos en todo el perfil y en todos los suelos, lo cual significa que la recarga hídrica llegó hasta la profundidad de 1,40 m. Este patrón de distribución de la humedad edáfica estaría indicando que en estos perfiles podría haber pérdidas de agua por drenaje profundo cuando el suelo no está ocupado por vegetación durante el barbecho (Bennie and Hensley, 2001; Nasta and Gates, 2013). Esto también explicaría en parte los bajos valores de humedad en los estratos más profundos de los suelos a la siembra. Las pérdidas de agua por drenaje profundo aumentan cuando los sistemas de producción utilizan mayores tiempos de barbecho (Huggins et al., 2001) y disminuyen la eficiencia de uso de agua de los cultivos (Stroosnijder et al., 2012).

Relación entre los contenidos de humedad y la altimetría para cada fecha.

Se realizó un análisis donde se consideró el contenido hídrico por cada intervalo de profundidad, comparando el mismo en las tres fechas de muestreo.

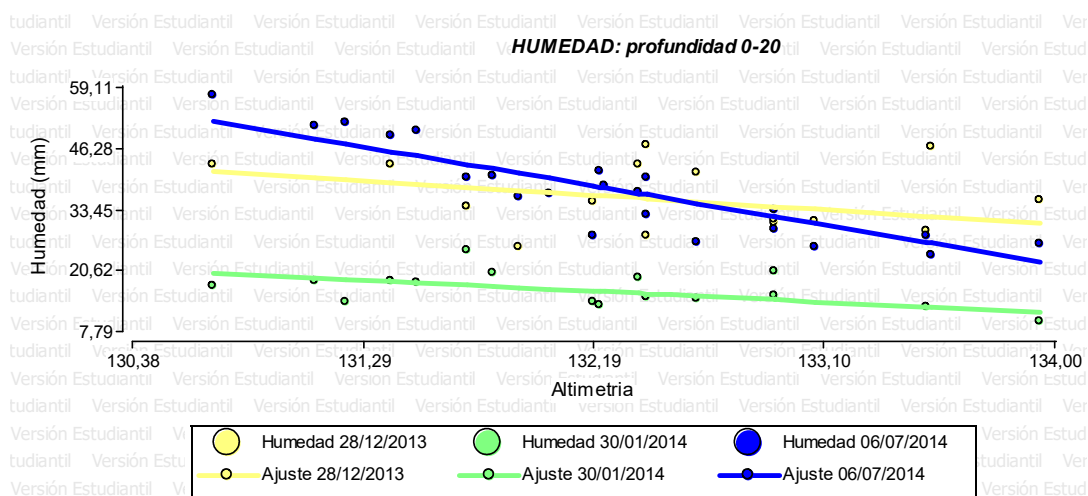


Figura 8: Relación entre contenido de humedad y la altimetría para las distintas fechas estudiadas en la profundidad 0-20 cm.

Al estudiar la relación entre los contenidos de humedad y altimetría se observó, en los primeros 20 cm (Figura 8), un comportamiento distinto de acuerdo a la fecha considerada. En la primera fecha de muestreo no existió una relación estadísticamente significativa ($p > 0.05$) entre ambas variables. Mientras que en las últimas dos fechas la relación entre las variables fue significativa ($p=0,0136$). En los puntos con menor altimetría se observó que la humedad fue mayor y el comportamiento inverso para los que presentaron mayor altimetría. Los valores de las pendientes fueron $-2,57 \text{ mm m}^{-1}$ altitud y $-9,07 \text{ mm m}^{-1}$ altitud en la segunda y tercera fecha respectivamente, indicando que para el estrato más superficial del suelo, el contenido hídrico guardó una relación inversa con el relieve y que esta relación fue más marcada en invierno con el lote desocupado, que en verano con un cultivo de maíz en floración. Los factores que podrían haber incidido para disminuir la pendiente de esta relación en la fecha de floración de maíz serían el consumo del cultivo y la evaporación por mayor demanda atmosférica en verano.

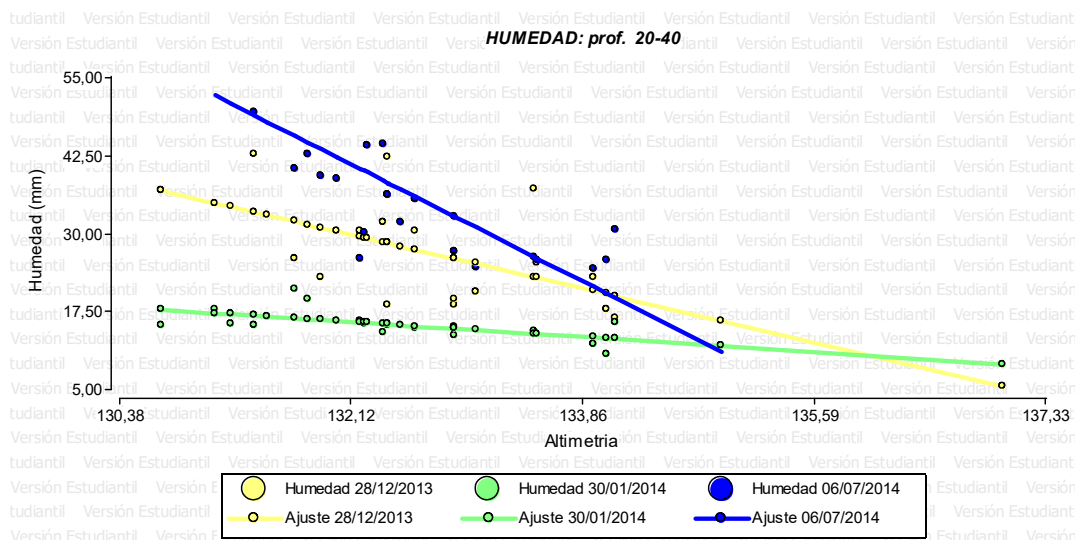


Figura 9: Relación entre contenido de humedad y altimetría para las distintas fechas estudiadas en la profundidad 20-40 cm.

Para la profundidad 20-40 cm (Figura 9), en las tres fechas de muestreo se evidenció asociación estadísticamente significativa entre las variables humedad y profundidad ($p < 0,05$). En todos los casos en los que la asociación fue significativa se detectó una relación inversa entre las variables. Para la primera fecha el valor de la pendiente fue $-4,96 \text{ mm m}^{-1}$ altitud, para la segunda fecha de muestreo fue de $-1,37 \text{ mm m}^{-1}$ altitud y para la tercera fecha fue de $-10,83 \text{ mm m}^{-1}$ altitud. En este caso, se detectó que los tres valores difirieron estadísticamente ($p < 0,05$). El mayor valor en la última fecha muestreada determinó que los cambios de humedad al variar la altimetría fueron más marcados. En esta profundidad, en la loma y media loma los valores de humedad se redujeron en julio, mostrando valores elevados solo en las zonas de menos altimetría.

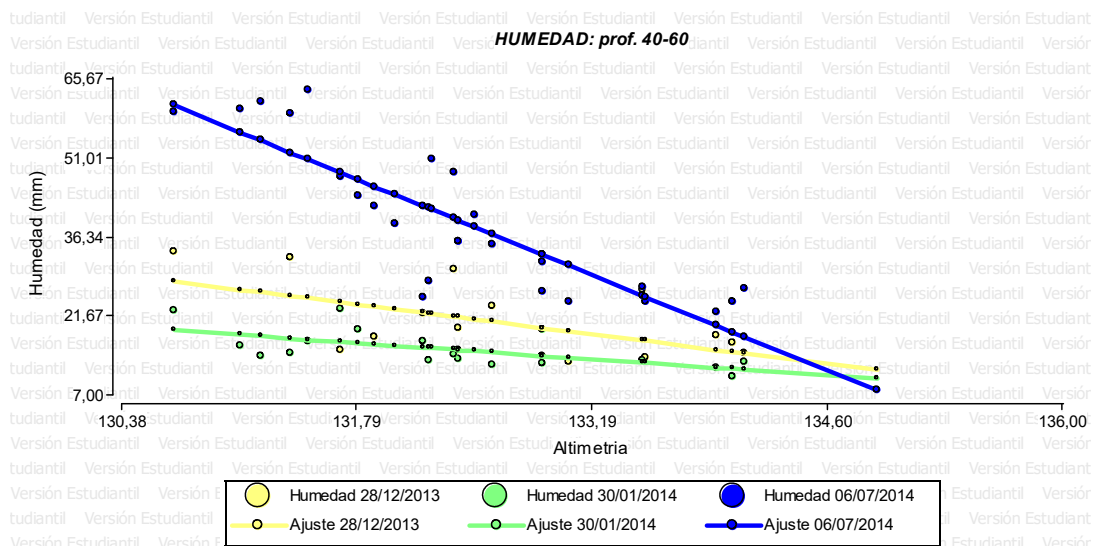


Figura 10: Relación entre contenido de humedad y altimetría para las distintas fechas estudiadas en la profundidad 40-60 cm.

Para la profundidad 40-60 cm (Figura 10), se observó lo mismo que lo descrito en los 20 cm superiores, la asociación entre la humedad y la altimetría fue significativa en las tres fechas de muestreo, siendo el valor de la pendiente de $-3,94$, $-2,14$ y $-12,62$ mm m^{-1} altitud para la primera, segunda y tercera fecha respectivamente, siendo la diferencia entre los dos primeros no significativa ($p < 0,05$).

En este estrato (40-60 cm), fue muy marcada la diferencia de humedad en los bajos durante el mes de julio respecto a las otras dos fechas. En tanto que en las primeras dos fechas la humedad fue bastante homogénea en todo el perfil del suelo. Esta observación se condice con lo observado en los patrones de distribución de humedad entre los estratos de profundidad (Tabla 3).

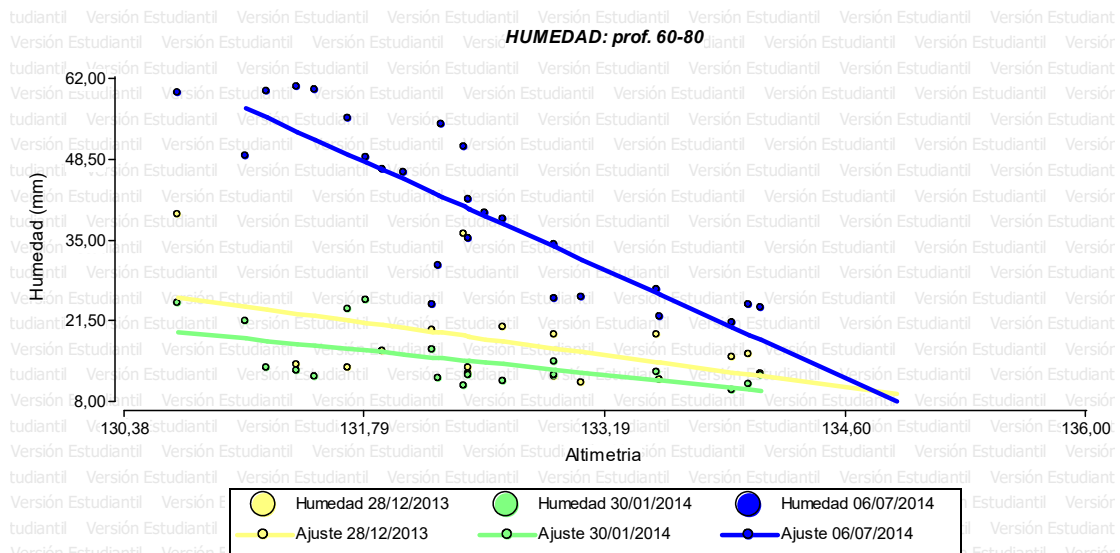


Figura 11: Relación entre contenido de humedad y altimetría para las distintas fechas estudiadas en la profundidad 60-80 cm.

En la profundidad 60-80 cm (Figura 11), se detectó un comportamiento similar a lo descrito para las dos profundidades anteriores. Los valores de las pendientes fueron $-3,87$, $-2,90$ y $-12,86$ mm m^{-1} altitud para la primera, segunda y tercera fecha respectivamente. En este caso, se observó que las rectas que describen la asociación en la primera y segunda fecha de muestreo no difieren estadísticamente y en el gráfico se observó en la cercanía de ambas. Al igual que lo descrito anteriormente la mayor asociación se observó en la tercera fecha.

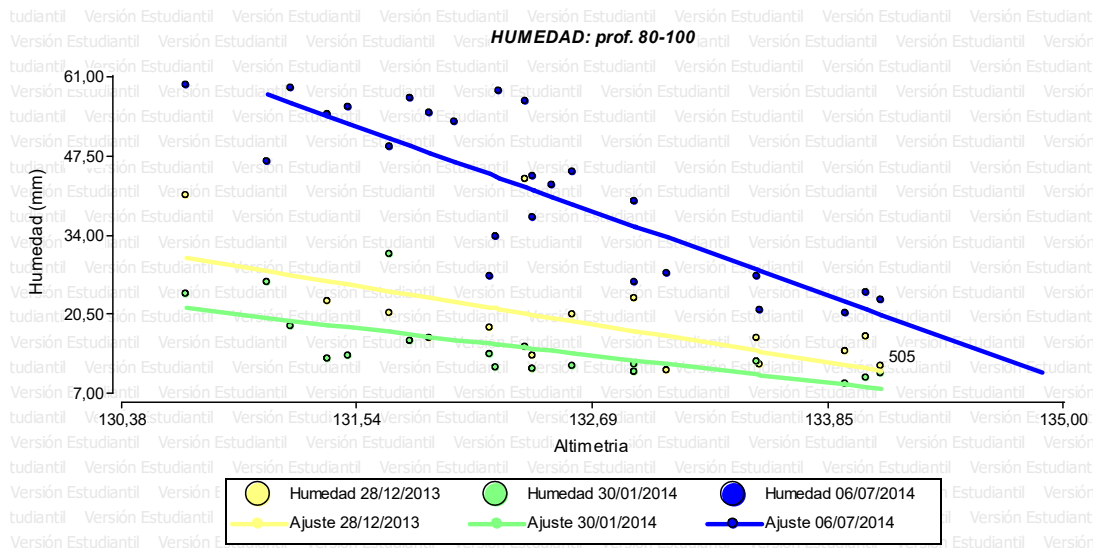


Figura 12: Relación entre contenido de humedad y altimetría para las distintas fechas estudiadas en la profundidad 80-100 cm

En la profundidad 80-100 cm (Figura 12), se encontró asociación significativa en las tres fechas de muestreo siendo los valores de las pendientes $-5,62$, $-4,02$ y $-12,48$ mm m^{-1} altitud para la primera, segunda y tercer fecha respectivamente. Solo para los dos primeros muestreos las pendientes halladas no difirieron ($p=0,5062$).

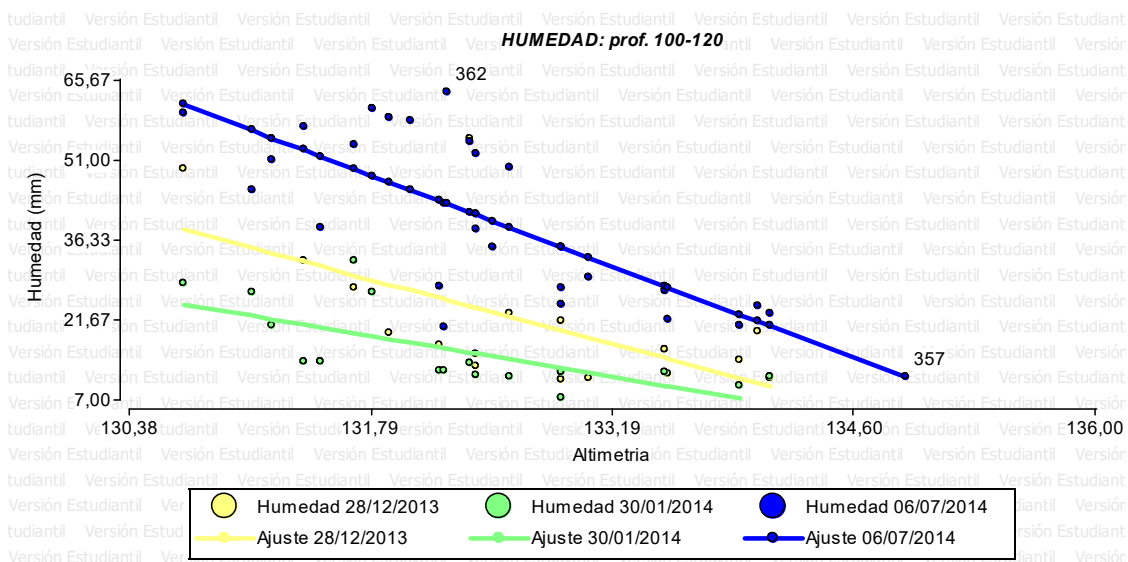


Figura 13: Relación entre contenido de humedad y altimetría para las distintas fechas estudiadas en la profundidad 100-120 cm

Para la profundidad 100-120 cm (Figura 13), se encontró que la asociación entre la humedad y la altimetría fue significativa en las tres fechas de muestreo. Los valores de las pendientes fueron de -8,41, -5,32 y -11,92 mm m⁻¹ altitud para la primera, segunda y tercera fecha de muestreo respectivamente. Al comparar entre fechas de muestreo no se encontraron diferencias significativas entre las pendientes de la fecha 1 y 3 (p=0,3376) ni entre las fechas 1 y 2 (p=0,3121) mientras que si difirió el valor para la fecha 2 y 3 (p=0,0181).

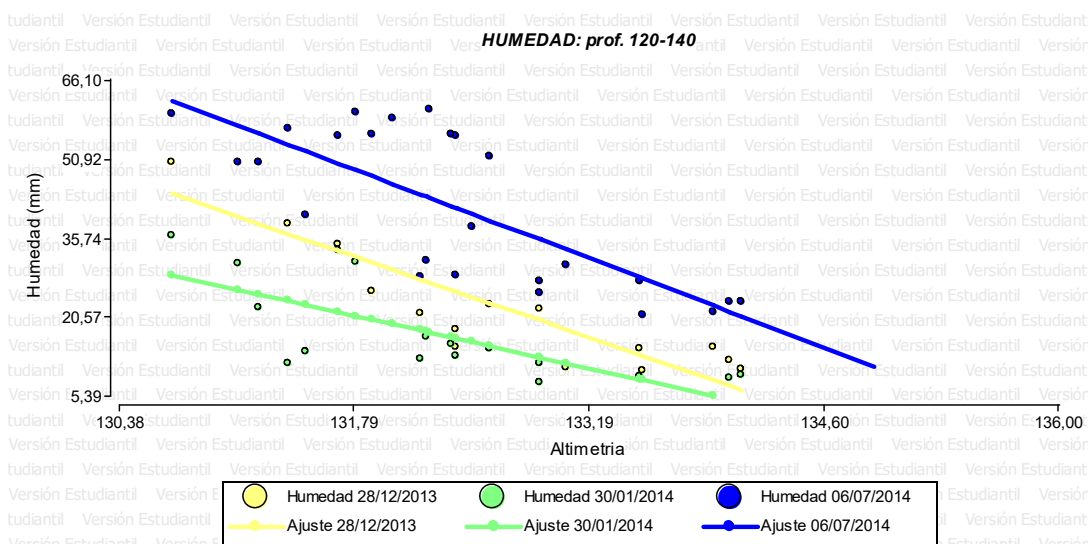


Figura 14: Relación entre contenido de humedad y altimetría para las distintas fechas estudiadas en la profundidad 120-140 cm.

En la profundidad 120-140 cm (Figura 14), al igual que en la profundidad superior la asociación fue significativa para las tres fechas de muestreo. Los valores de las pendientes fueron de -11.03, -7.19 y -12,18 mm m⁻¹ altitud para la primera, segunda y tercera fecha de muestreo respectivamente. Los valores de las pendientes no difirieron entre las mismas ($p>0.05$), lo que indicó que en las tres fechas de muestreo los cambios en la humedad al cambiar la altimetría fueron iguales. Esta tendencia sólo fue observada en esta profundidad. Entre los 120-140 cm se observó que los mayores contenidos hídricos se dieron en la última fecha, en tanto que los menores valores correspondieron a floración (30/01/2014). Los valores de humedad fueron elevados en altimetrías bajas, en tanto que en altimetrías elevadas se dio lo contrario, es decir el contenido hídrico se redujo.

El análisis de las relaciones entre el contenido hídrico y la altimetría para las diferentes profundidades muestreadas arrojó que solamente en la capa superficial del suelo y en la primera fecha de muestreo no existió una relación inversa significativa entre estas variables, lo cual confirmó la importancia de la posición en el relieve para la disponibilidad hídrica de los cultivos. Aparentemente, solamente en el estrato superior y en las etapas tempranas del cultivo la evaporación tuvo cierta importancia en definir el contenido hídrico del suelo. Esto seguramente se relaciona con la baja cobertura del suelo en este estado fenológico del maíz, ya que se ha demostrado que la evaporación es un proceso importante de pérdida de agua cuando existe baja cobertura del suelo (Flerchinger, 2003; Ji and Unger, 2001). A partir de los 40 cm de profundidad, y en las tres fechas de muestreo se observaron relaciones inversas significativas entre humedad y relieve, aun considerando el consumo por parte del cultivo en la segunda fecha. Sin embargo, las pendientes de estas relaciones fueron distintas entre profundidades y fecha de muestreo.

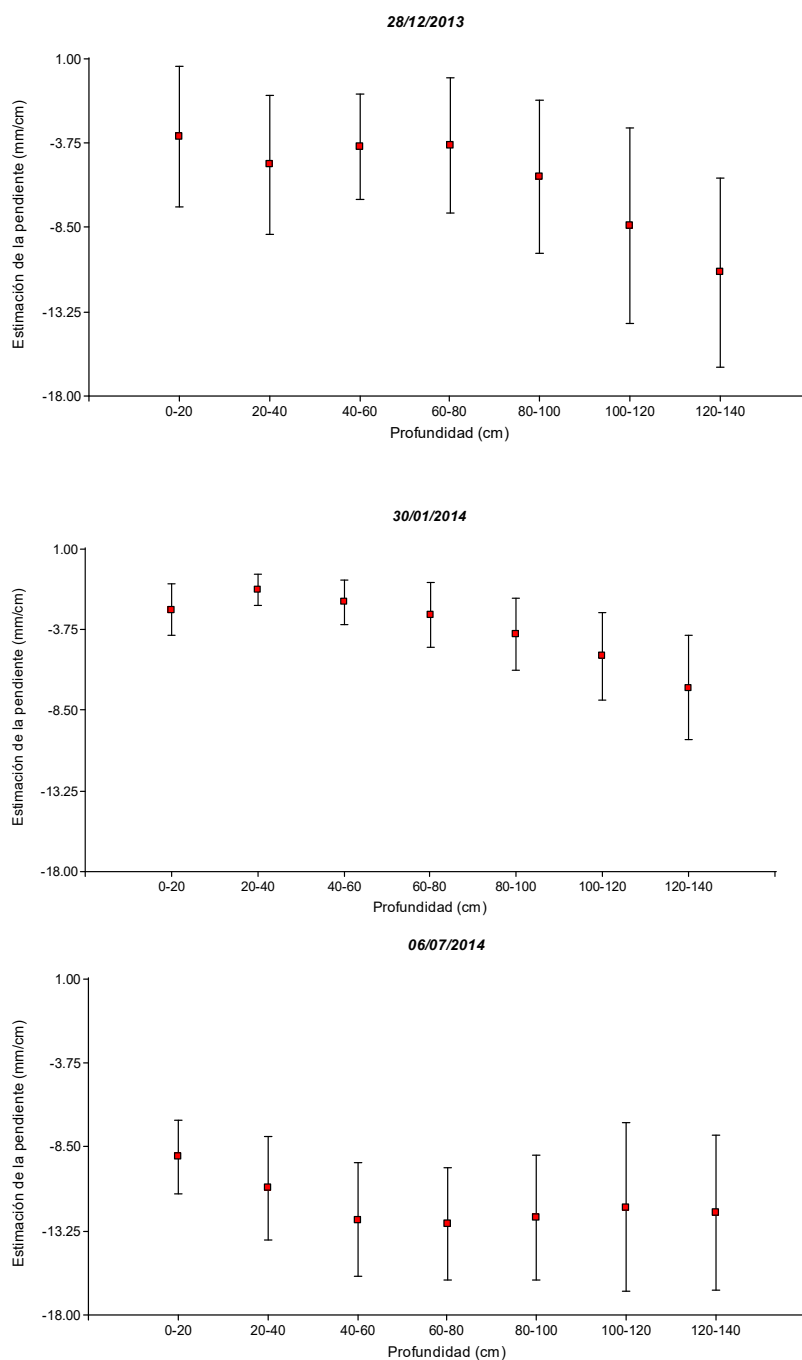


Figura 15: Comparación de las pendientes de las relaciones entre el contenido hídrico del suelo y la altimetría según las distintas profundidades para las tres fechas de muestreo.

En términos generales se podría aseverar que las pendientes tendieron a aumentar con la profundidad (Figura 15) para todas las fechas de muestreo. Aunque no se pudieron constatar diferencias estadísticamente significativas debido a que los intervalos de confianza fueron muy amplios, indicando la alta variabilidad en los datos. La tendencia de que a mayor profundidad la humedad del suelo depende más de la altimetría estaría indicando que posiblemente existen procesos de flujo subterráneo que transportan el agua edáfica a lo largo de la pendiente. Otra

explicación podría ser que a menor profundidad del suelo otros factores, específicamente la evapotranspiración, incidirían en mayor medida sobre los contenidos de humedad. También el hecho que las mayores pendientes correspondieron a la última fecha sugiere que mientras el lote está ocupado por vegetación en crecimiento, la dependencia altimétrica es menor y cuando no existe evapotranspiración de parte de un cultivo, esta dependencia adquiere mayor importancia.

CONCLUSIONES

La metodología para distinguir microcuencas fue adecuada ya que en las microcuencas identificadas, los contenidos hídricos variaron en función de la altimetría de los puntos de muestreo, encontrándose elevada humedad en los bajos y menores contenidos hídricos en las coordenadas de mayor altimetría.

Para la correcta estimación de la humedad del perfil del suelo, se debe tener en cuenta además, el ciclo del cultivo, ya que el análisis de los contenidos hídricos del perfil variaron en función del estado fenológico en el que se encontró el cultivo. En la época de mayor consumo la diferencia entre las posiciones topográficas fue menor. Cuando se produjo una recarga de los perfiles, en tanto, se disminuyó la brecha entre los contenidos hídricos de los puntos de alta y baja altimetría.

En lo que respecta a la relación entre la humedad y la altimetría, se puede concluir que los estratos inferiores del perfil de los suelos mostraron mayores contenidos hídricos, respecto a los superiores, siendo más marcados en los puntos de bajas altimetrías. En los estratos superiores, los contenidos de humedad se ven influenciados por la evaporación y/o por la utilización que realiza el cultivo, mientras a mayor profundidad el contenido hídrico fue más afectado por la altimetría.

REFERENCIAS

- Álvarez, C., Bagnato, R., Noellemeyer, E., 2012. ON THE FEASIBILITY OF DOUBLE CROPPING IN THE SUBHUMID PAMPA OF ARGENTINA full version, in: 19TH TRIENNIAL ISTRO CONFERENCE.
- Bagarello, V., Sferlazza, S., Sgroi, a., 2009. Comparing two methods of analysis of single-ring infiltrometer data for a sandy-loam soil. *Geoderma* 149, 415–420.
doi:10.1016/j.geoderma.2008.12.022
- Bagnato, R., Álvarez, C., Noellemeyer, E., Gili, A., Becker, A., Quiroga, A., 2014. Efecto del ambiente sobre la productividad del cultivo de maíz en la region semiárida pampeana, in: XXIV Congreso Argentino de La Ciencia Del Suelo II Reunión Nacional “Materia

Orgánica Y Sustancias Húmicas.”

- Bennie, A.T.P., Hensley, M., 2001. Maximizing precipitation utilization in dryland agriculture in South Africa — a review. *Journal of Hydrology* 241, 124–139.
- Crow, W., Kustas, W., Prueger, J., 2008. Monitoring root-zone soil moisture through the assimilation of a thermal remote sensing-based soil moisture proxy into a water balance model. *Remote Sensing of Environment* 112, 1268–1281. doi:10.1016/j.rse.2006.11.033
- Fernandez, R., Quiroga, A., Noellemeyer, E., Funaro, D., Montoya, J., Hitzmann, B., Peinemann, N., 2008. A study of the effect of the interaction between site-specific conditions, residue cover and weed control on water storage during fallow. *Agricultural Water Management* 95, 1028–1040. doi:10.1016/j.agwat.2008.03.010
- Flerchinger, G., 2003. Effects of crop residue cover and architecture on heat and water transfer at the soil surface. *Geoderma* 116, 217–233. doi:10.1016/S0016-7061(03)00102-2
- Gregoret, M.C., Dardanelli, J., Bongiovanni, R., Díaz-Zorita, M., 2006. Modelo de respuesta sitio-específica del maíz al nitrógeno y agua edáfica en un haplustol. *Ciencia Del Suelo* 24, 147–159.
- Gregory, P.J., Simmonds, L.P., Pilbeam, C.J., 2000. Soil type, climatic regime, and the response of water use efficiency to Crop Management. *Agronomy Journal* 92, 814–820.
- Huggins, D.R., Randall, G.W., Russelle, M.P., 2001. Subsurface Drain Losses of Water and Nitrate following Conversion of Perennials to Row Crops. *Agronomy Journal* 93, 477–486.
- Ji, S., Unger, P.W., 2001. Soil water accumulation under different precipitation, potential evaporation, and straw mulch conditions. *Soil Science Society of America Journal* 65, 442–448.
- Katerji, N., Mastrorilli, M., 2009. The effect of soil texture on the water use efficiency of irrigated crops: Results of a multi-year experiment carried out in the Mediterranean region. *European Journal of Agronomy* 30, 95–100. doi:10.1016/j.eja.2008.07.009
- Kumhálová, J., Kumhála, F., Kroulík, M., Matějková, Š., 2011. The impact of topography on soil properties and yield and the effects of weather conditions. *Precision Agriculture* 12, 813–830. doi:10.1007/s11119-011-9221-x
- Nasta, P., Gates, J.B., 2013. Plot-scale modeling of soil water dynamics and impacts of drought conditions beneath rainfed maize in Eastern Nebraska. *Agricultural Water Management* 128, 120–130.
- Noellemeyer, E., Fernández, R., Quiroga, A., 2013. Crop and Tillage Effects on Water

- Productivity of Dryland Agriculture in Argentina. *Agriculture* 3, 1–11.
doi:10.3390/agriculture3010001
- Pachepsky, Y., Rawls, W., Lin, H., 2006. Hydropedology and pedotransfer functions. *Geoderma* 131, 308–316. doi:10.1016/j.geoderma.2005.03.012
- Roudier, P., Tisseyre, B., Poilvé, H., Roger, J.-M., 2008. Management zone delineation using a modified watershed algorithm. *Precision Agriculture* 9, 233–250. doi:10.1007/s11119-008-9067-z
- Solon, J., Degorski, M., Roozielinska, E., 2007. Vegetation response to a topographical-soil gradient☆. *Catena* 71, 309–320. doi:10.1016/j.catena.2007.01.006
- Stroosnijder, L., Moore, D., Alharbi, A., Argaman, E., Biazin, B., van den Elsen, E., 2012. Improving water use efficiency in drylands. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 4, 497–506. doi:10.1016/j.cosust.2012.08.011
- Urricariet, S., Niborski, M., Kvolek, C.M., 2011. Atributos del suelo y paisaje asociados a la variabilidad de rendimientos de maíz en la pampa arenosa. *Ciencia Del Suelo* 29, 49–59.
- Whalley, W.R., Matthews, G.P., Ferraris, S., 2012. The effect of compaction and shear deformation of saturated soil on hydraulic conductivity. *Soil and Tillage Research* 125, 23–29. doi:10.1016/j.still.2012.05.020
- Zárate, M. a., Tripaldi, A., 2012. The aeolian system of central Argentina. *Aeolian Research* 3, 401–417. doi:10.1016/j.aeolia.2011.08.002

ANEXO 1: COMPARACIÓN ENTRE FECHAS DE MUESTREO DE LOS PERFILES HÍDRICOS POR MICROCUENCA

En función de la primer microcuenca (Figura 16), se observó que los puntos C1, C2, C4, C5 y C7 presentaron en el tiempo una distribución similar en profundidad (dato que se aclaró, los valores de humedad varían entre las fechas muestreadas, considerando que se encuentran en distintos estados del cultivo – posteriormente a siembra, cerca de floración, post cosecha -). En tanto, que los puntos donde se presentaron diferencias en la distribución en profundidad fueron C3, C6, C8 y C9. En el caso del primer punto que se mencionó (C3 - donde solo hubo dos datos para comparar) en la fecha 28/12 se observó elevados valores de humedad en superficie (0-20 cm) a partir del cual comenzó a descender hasta los 140 cm. En muestro de 06/07 el agua en el perfil se mantuvo constante y homogéneo en todo el perfil, sin presentar diferencias. En el punto C6 se presentaron diferencias entre las dos fechas que se muestrearon; donde se observó que el 28/12 tiene una disminución marcada que se va acentuando a medida que se desplazó a estratos inferiores. Por el contrario en el muestreo del 06/07 se observó una recarga del perfil, aumentando el contenido hídrico a medida que se observaron los diferentes estratos. En el punto C8, en la fecha 28/12, se observó menores valores de humedad en el estrato medio (60-80 cm), en tanto que aumentó hacia superficie y en profundidad a similares valores. En tanto que para 06/07, se produjo un aumento gradual hasta llegar a los 120 cm., y disminuyó levemente en los últimos 20 cm. Finalmente el punto C9 en la primer fecha de muestro, presentó a los 60-80 cm muy bajos valores de humedad, aumentando tanto hacia profundidad como hacia los primeros cm. En el 30/01/2014 se mantuvo estable, con pocas variaciones y valores de humedad bajos y el 06/07 presentó mayores valores de humedad respecto a las fechas anteriores, acumulando más cantidad de agua entre los 60 y 80 cm de profundidad.

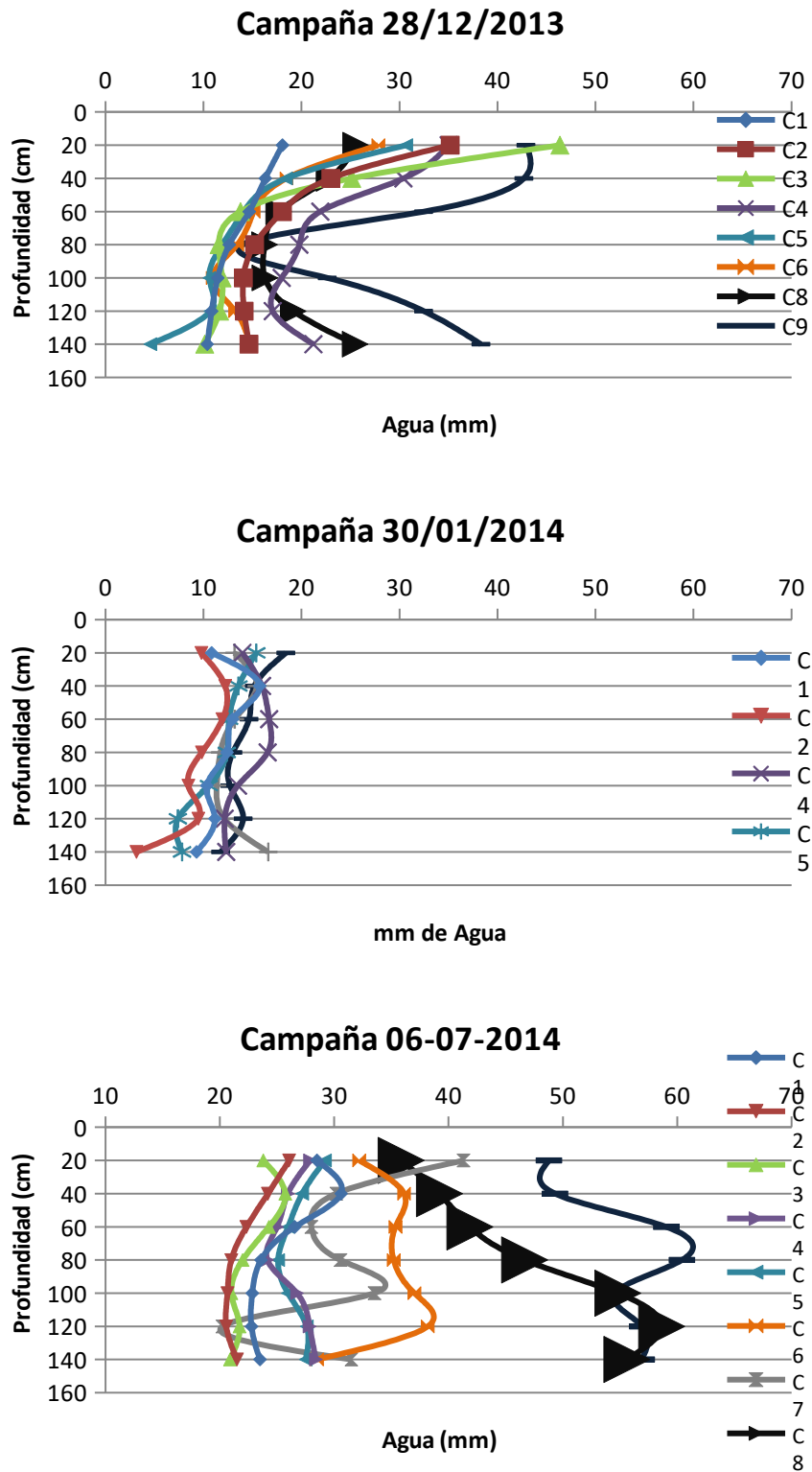
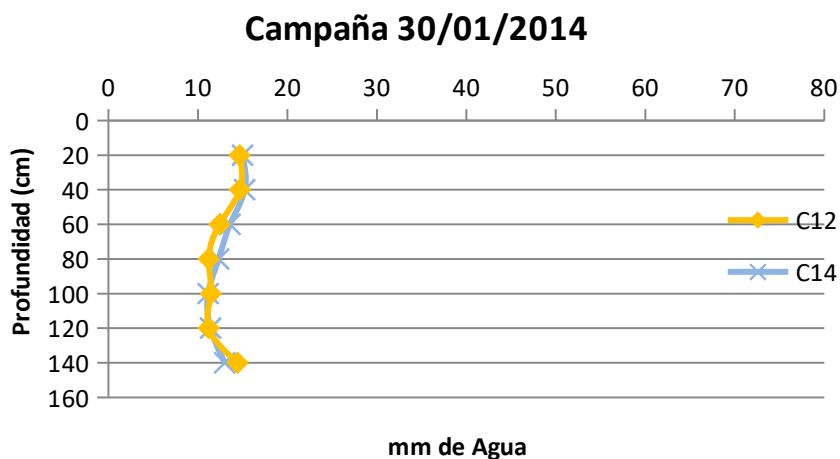
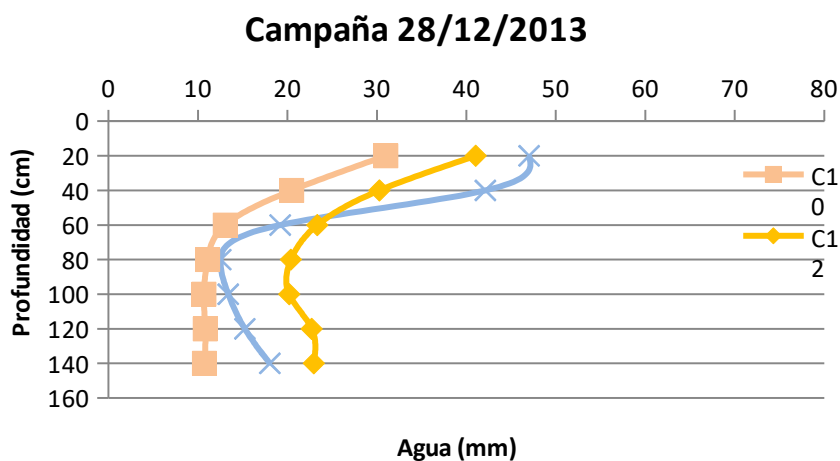


Figura 16: Primer microcuena: Variación del contenido hídrico de los puntos muestreados en las diferentes fechas

En la segunda microcuenca (Figura 17), se observó marcadas diferencias en el punto C10; en el muestreo 28/12 se produjo un descenso en la humedad del perfil a partir de los 20 cm y hasta los 140 cm. En tanto que el muestreo del 06/07 el contenido hídrico se mantuvo en todo el perfil, pero con valores más elevados, esto indicó que se produjo una recarga en esta fecha. Los puntos C12 y C14, mostraron una distribución similar en el tiempo, permitiendo ver como se produjo un descenso del contenido hídrico en la primer fecha, continuando con una disminución muy notoria en la segunda fecha (30/01) y finalmente se observó una recarga en el perfil en la última fecha, marcándose un aumento de humedad en profundidad.



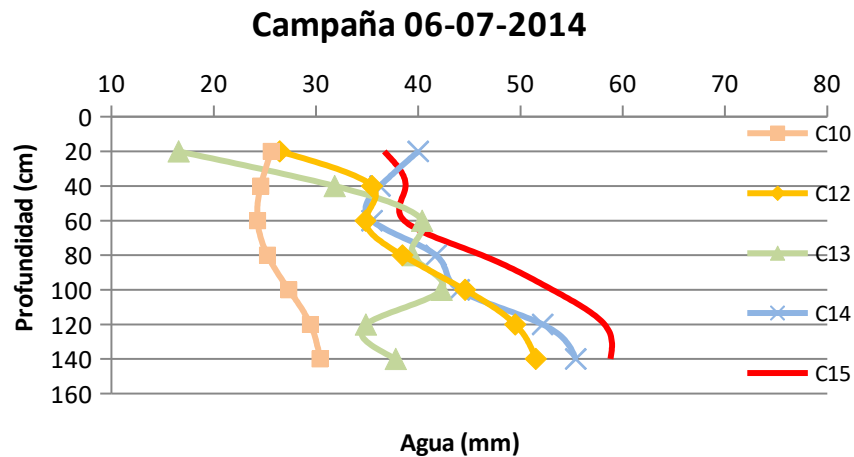
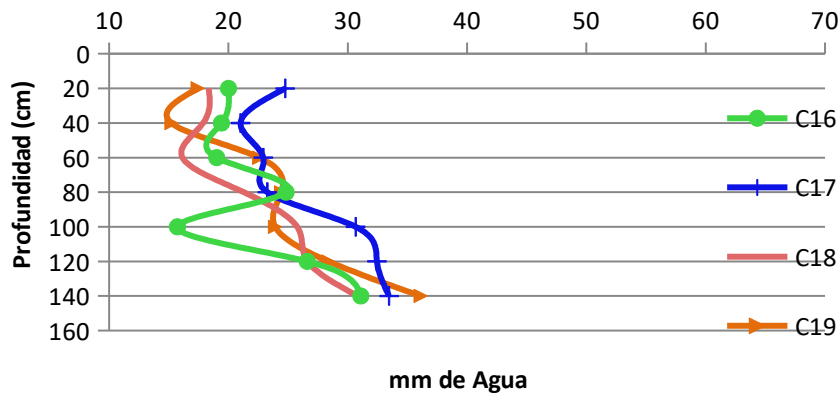


Figura 17: Segunda microcuenca: Variación del contenido hídrico de los puntos muestreados en las diferentes fechas

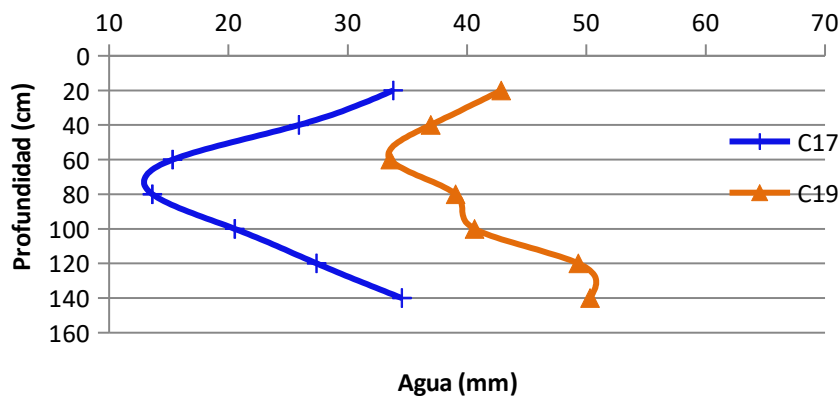
En la tercer microcuenca (Figura 18) se observó que los puntos C16 y C17 presentaron una distribución similar; los estratos superiores y medios dieron valores de humedad bajos, recargándose el perfil en profundidad.

En tanto que C18, en la fecha de muestreo 30/01 inició con bajos valores de humedad, aumentando a medida que se desplazó en profundidad, y en la fecha 06/07 los valores de contenido hídrico más elevado se vieron en los primeros centímetros, y a partir de los 60 y hasta los 140 cm se produjo un descenso marcado de la humedad en el perfil. C19 en las primeras dos fechas se observó igual distribución (aumentando a mayor profundidad), con valores de humedad menores en floración y en la tercer fecha (06/07) todos los estratos del perfil arrojaron el mismo valor de humedad.

Campaña 30/01/2014



Campaña 28/12/2013



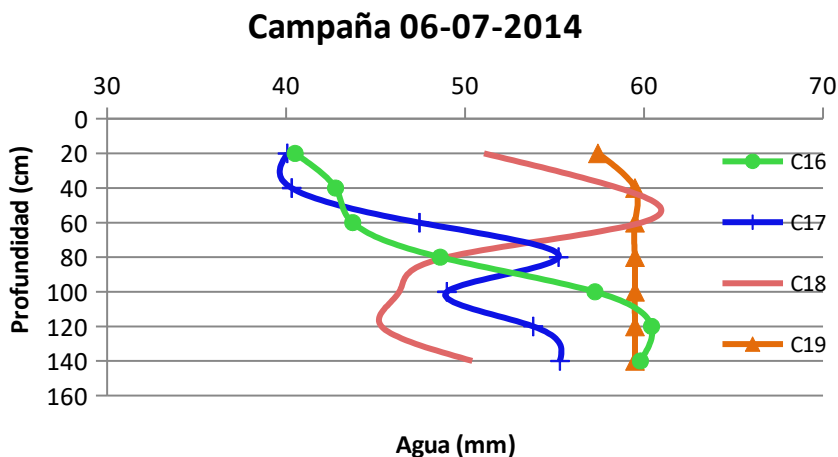
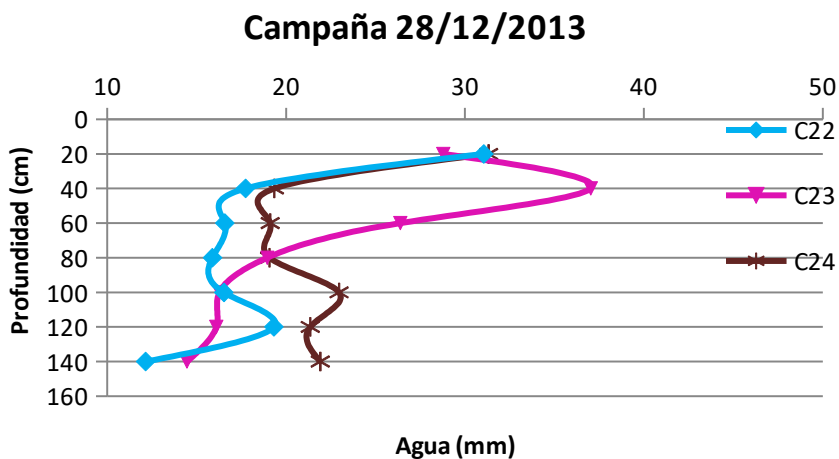


Figura 18: Tercera microcuena: Variación del contenido hídrico de los puntos muestreados en las diferentes fechas

En lo que refiere a la cuarta microcuena (Figura 19), de los tres puntos que se muestreo, C22 y C23 presentaron similar distribución en el perfil, descenso de humedad en el perfil para las primeras dos fechas, y recargas en el mes de julio. Por otro lado, el punto C24 presentó una tendencia al descenso del contenido hídrico en el perfil a medida que aumentaba la profundidad (cabe destacar que se observó una caída en la humedad en enero y una recarga en julio pero en estratos intermedios).



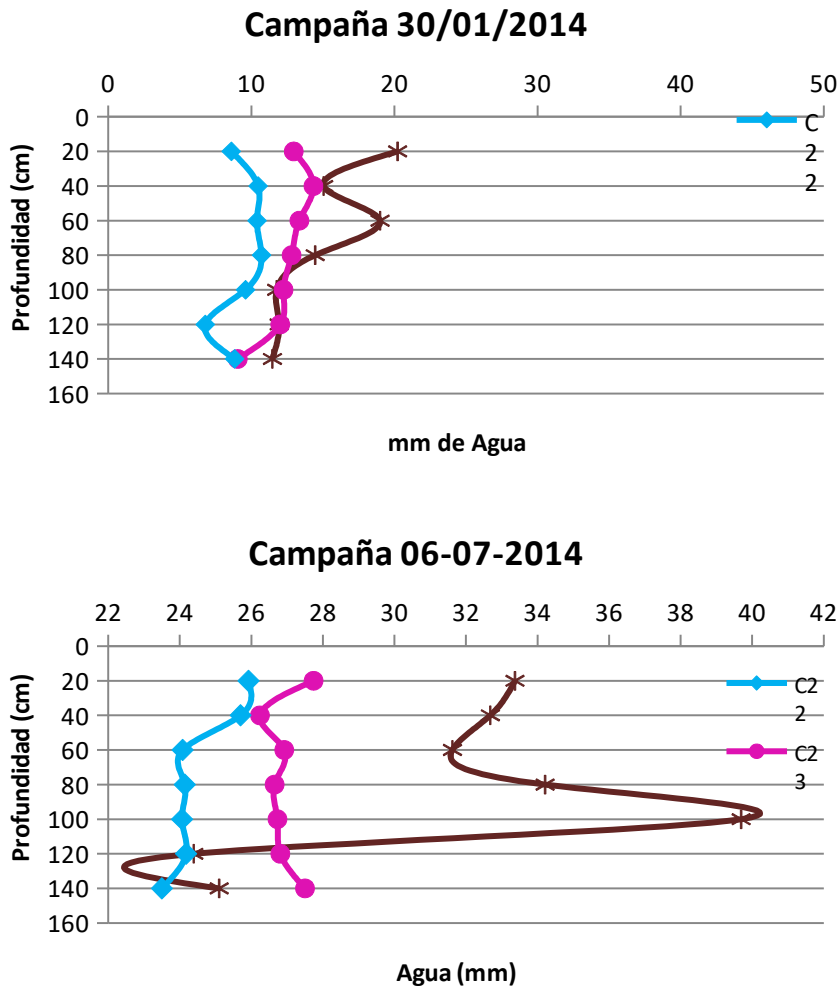


Figura 19: cuarta microcuenca: Variación del contenido hídrico de los puntos muestreados en las diferentes fechas

En la quinta microcuenca (Figura 20), el punto C25 es el único que presentó una distribución similar en las tres fechas. En tanto que los puntos C27 y C28 se observaron diferencias entre las fechas. En el caso de C27 se presentó un descenso del contenido hídrico en el perfil en la segunda fecha (30/01), en tanto que para el siguiente muestreo se produjo una recarga en los estratos superiores y medios, y luego descendió hasta los 140 cm. En el último punto, para la fecha 30/01, se observó que en los primeros 80 cm el contenido hídrico se mantiene y luego aumentó a medida que la profundidad se hizo mayor. Y respecto al último muestreo (06/07) la tendencia fue muy similar a la que presentó para la misma fecha el punto C27.

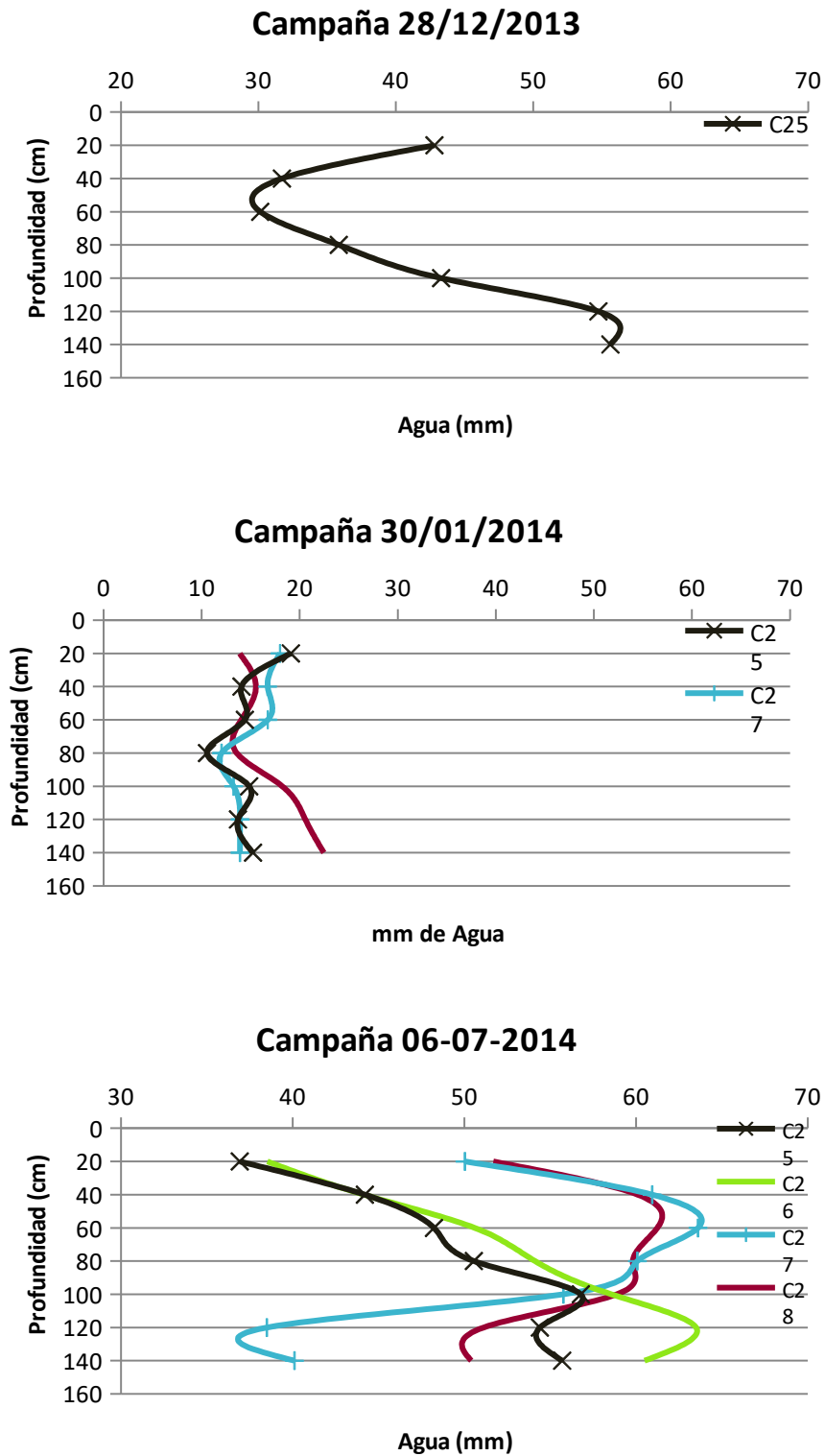


Figura 20: Quinta microcuena: Variación del contenido hídrico de los puntos muestreados en las diferentes fechas.

ANEXO II: TABLA DE INFILTRACION

Punto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Infiltración acumulada (mm h ⁻¹)	217,5	96,5	110,0	76,0	78,5	87,0	135,0	54,0	290,5	57,5	93,5	77,5	157,5	83,5	122,5	81,5	104,0	64,0
ecuación	$y = 3,4705x + 13,785$	$y = 1,4603x + 17,254$	$y = 1,4167x + 12,826$	$y = 0,8865x + 25,58$	$y = 1,2079x + 8,1493$	$y = 1,2532x + 15,63$	$y = 2,1324x + 11,566$	$y = 0,7065x + 14,23$	$y = 4,7518x + 11,89$	$y = 0,713x + 13,031$	$y = 1,3573x + 14,224$	$y = 1,1214x + 11,597$	$y = 2,2963x + 29,068$	$y = 1,1929x + 13,139$	$y = 1,9632x + 22,532$	$y = 0,8067x + 37,688$	$y = 1,5351x + 13,629$	$y = 0,9457x + 8,7341$
Pendiente	3,47	1,46	1,42	0,89	1,21	1,25	2,13	0,71	4,75	0,71	1,36	1,12	2,30	1,19	1,96	0,81	1,54	0,95