

## Máster Universitario en Restauración de Ecosistemas



Universidad  
de Alcalá



Universidad  
Complutense  
Madrid



Universidad  
Rey Juan Carlos

### Procesos hidrológicos superficiales en zonas inundables de Paraguay

Aplicaciones al manejo y restauración de estancias ganaderas

Surface hydrologic processes in flooded areas in Paraguay | Applications for managing and restoring cattle ranches



Presentado por:

VERÓNICA CRUZ ALONSO

Director:

DR. D. KARIM MUSÁLEM CASTILLEJOS



Tutor académico:

DR. D. JOSÉ MARÍA REY BENAYAS

En Alcalá de Henares, a 14 de Septiembre de 2015

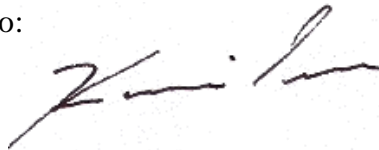
D. Karim Musálem Castillejos, director del Centro de Investigación del Chaco Americano

CERTIFICA:

Que el trabajo titulado *Procesos hidrológicos superficiales en zonas inundables de Paraguay. Aplicaciones al manejo y restauración de estancias ganaderas*, ha sido realizado bajo mi dirección por la alumna D<sup>a</sup> Verónica Cruz Alonso.

En Asunción, a 30 de Agosto de 2015

Firmado:



D. José María Rey Benayas, catedrático de Ecología de la Universidad de Alcalá

CERTIFICA:

Que el trabajo titulado *Procesos hidrológicos superficiales en zonas inundables de Paraguay. Aplicaciones al manejo y restauración de estancias ganaderas*, ha sido realizado bajo mi autorización académica por la alumna D<sup>a</sup> Verónica Cruz Alonso.

En Madrid, a 11 de Septiembre de 2015

Firmado:



*A mis padres*

En primer lugar, me gustaría agradecer a la Fundación internacional para la restauración de ecosistemas (FIRE) y al Centro de Investigación del Chaco Americano el apoyo económico y logístico, sin el cual este trabajo no hubiera podido realizarse. También, agradezco a la FIRE-Paraguay su colaboración en la financiación de los análisis de suelo.

Hay tres personas que merecen una mención especial en este apartado de agradecimientos, pues han sido elementos clave en el desarrollo de este trabajo. La primera es José María Rey Benayas, quien puso la llave de Paraguay a mi alcance y, desde que decidí usarla, me ha apoyado desde la distancia en todo lo que he necesitado, tanto personalmente como en el ámbito profesional. La segunda es Karim Musálem, que ha invertido mucho tiempo en este trabajo, contribuyendo con ideas, comentarios y correcciones y, por supuesto, haciéndose cargo de mí en un ambiente tan poco familiar como el Chaco paraguayo. La tercera persona es Fernando Viñegla, quien ha colaborado en este proyecto desde los primeros pasos, aportando su visión especial y contagiando su energía y, además, ha sido un técnico de campo entusiasta, resuelto y creativo. Gracias a los tres.

Además, este trabajo fin de máster ha ido adquiriendo su forma actual gracias al aporte de distintas personas. Me gustaría agradecer a Jorge Mongil su asesoramiento desinteresado en el diseño experimental y los resultados del estudio. Además, le agradezco a Jorge y a José Carlos Cruz, mi padre, y Juani Alonso, mi madre, las gestiones que tuvieron que realizar para hacerme llegar los equipos de infiltración desde España. Le agradezco también a Amado Insfrán su ayuda y el tiempo invertido para que los análisis de suelo pudieran ser completos. Por sus comentarios críticos, aportes al estudio y por ser la responsable de que este trabajo trate sobre la infiltración, doy las gracias a Rafaela Laíno. A Melissa Roa le agradezco muy especialmente su ayuda en las mediciones de evaporación e infiltración. También estoy muy agradecida por la información sobre el Paraguay y la ganadería chaqueña aportada por Amado Insfrán, Albrecht Glatzle y Antonio Medina-Netto. Por último, le agradezco a mi hermano, Diego Cruz, la corrección del resumen en inglés.



Resumen .....	14
Abstract .....	15
1. Introducción .....	16
1.1. Antecedentes.....	16
1.2. Fundamentos teóricos del experimento.....	18
1.3. Contexto del proyecto .....	21
2. Objetivos e hipótesis .....	24
3. Material y métodos.....	25
3.1. Zona de estudio.....	25
3.2. Diseño experimental y medidas en el campo .....	28
3.2.1. Infiltración.....	28
3.2.2. Evaporación.....	32
3.3. Tratamiento de los datos .....	33
3.4. Análisis estadístico .....	34
4. Resultados.....	37
4.1. Infiltración .....	37
4.2. Evaporación .....	46
5. Discusión .....	48
5.1. Infiltración.....	48
5.2. Evaporación.....	51
5.3. Propuestas de gestión.....	52
6. Conclusiones .....	55
7. Bibliografía .....	57
Anexo 1: Selección de métodos y variables .....	61
A) Infiltración.....	61

---

B) Variables edáficas.....	62
C) Evaporación.....	62
Anexo 2: Selección de los métodos estadísticos .....	65
Anexo 3: Tablas de resultados.....	69





Figura 1: Procesos hidrológicos en el agua estancada del Chaco Húmedo .....	18
Figura 2: Efectos esperados del bosque (a) y los pastos (b) sobre la evaporación y la infiltración. Se prevé que la presencia de vegetación arbórea disminuya la tasa de evaporación y aumente la capacidad de infiltración del suelo .....	21
Figura 3: Localización de la zona de estudio. Elaboración propia a partir de mapas de Karim Musálem y Zoraya El Raiss .....	25
Figura 4: Climograma aproximado de la estancia Playada (65 msnm) de acuerdo a los datos de la estación del aeropuerto Silvio Pettrossi (111 msnm). Elaboración propia a partir de los datos del Servicio de información meteorológica mundial (serie de 30 años).....	26
Figura 5: Vegetación de la estancia Playada. Elaboración propia a partir de los datos de Zoraya El Raiss y Karim Musálem.....	27
Figura 6: Localización de los puntos de medida de la infiltración. Elaboración propia ..	29
Figura 7: Esquema del diseño experimental. Ensayo de infiltración dentro del bosque (b), en la base del tronco (t), en la proyección de la copa del árbol sobre el pasto (c) y en el pasto (p).....	30
Figura 8: Implementación del diseño experimental. ensayo de infiltración dentro del bosque (b), en la base del tronco (t), en la proyección de la copa del árbol sobre el pasto (c) y en el pasto (p) .....	30
Figura 9: Materiales empleados en los ensayos de infiltración. 1) Garrafa, 2) Infiltrómetro, 3) Tubo auxiliar, 4) Tapa metálica, 5) Maza de goma, 6) Nivel, 7) Rejilla de fondo, 8) Horquillas, 9) Grasa, 10) Teflón, 11) Mordaza, 12) Palita, 13) Rotulador, 14) Bolsa con cierre hermético, 15) GPS, 16) Cronómetro, 17) Lápiz y goma, 18) Cuaderno de campo, 19) Cinta métrica, 20) Guantes. ....	32
Figura 10: Materiales empleados en los ensayos de evaporación. 1) Tanque evaporímetro, 2) Probeta de 500 ml, 3) Embudo, 4) Enrasador, 5) GPS, 6) Reloj, 7) Lápiz y goma, 8) Cuaderno de campo. ....	33



---

Figura 11: Curvas de infiltración medias en cada tipo de vegetación. La línea continua representa la tasa de infiltración en cada intervalo del experimento y la línea discontinua la tasa de infiltración media desde el comienzo del mismo. ....	37
Figura 12: Curvas de infiltración medias en cada posición con respecto al árbol. La línea continua representa la tasa de infiltración obtenida en cada intervalo del experimento y la línea discontinua la tasa de infiltración media desde el comienzo. ....	40
Figura 13: Relaciones lineales entre las variables de infiltración y a) la densidad de árboles y arbustos y b) la humedad del suelo. $R^2$ indica la proporción de la variable dependiente explicada por el modelo de regresión. ....	43
Figura 14: Diagrama de cajas y bigotes de la tasa de evaporación según las categorías de vegetación. El límite superior de la caja corresponde al valor del tercer cuartil, el límite inferior al primer cuartil y la línea incluida dentro de la caja indica el valor de la mediana. Las líneas verticales (bigotes) determinan la distancia o rango del 95 % de los casos. ....	46
Figura 15: Modelo de sistema silvopastoril en sabanas inundables para mejorar los servicios hidrológicos .....	53
Figura 16: Infiltrómetro inundador de anillo simple <i>Infiltest</i> .....	61
Figura 17: Tanque evaporímetro flotante bajo un pajonal .....	64



Tabla 1: Variables consideradas en el análisis estadístico. .... 34

Tabla 2: Valores medios, dispersión (mostrada como desviación estándar) y resultados de la comparación de las medias o los rangos de cada variable según las categorías de tipo de vegetación. Para conocer más detalles sobre las pruebas estadísticas empleadas en cada caso, se puede consultar el Anexo 2: Selección de los métodos estadísticos. Aquellos casos en que se han detectado diferencias estadísticamente significativas se muestran en rojo ( $\alpha=0,05$ ).  $f0$ =tasa de infiltración inicial;  $fc$ =tasa de infiltración final;  $H$ =altura total infiltrada;  $\%hm$ =recubrimiento de herbáceas y musgos;  $\%rv$ =recubrimiento de restos vegetales;  $\%sd$ =recubrimiento de suelo desnudo;  $Ncop$ =número de copas superpuestas sobre el infiltrómetro;  $Narbo$ =densidad de árboles;  $Narbu$ =densidad de arbustos;  $Naa$ =densidad de árboles y arbustos;  $\%ar$ =arena;  $\%li$ =limo;  $\%ac$ =arcilla;  $\%H$ =humedad edáfica..... 38

Tabla 3: Valores medios, dispersión (mostrada como desviación estándar) y resultados de la comparación de las medias o los rangos de cada variable según las categorías establecidas de posición con respecto al árbol. Para conocer más detalles sobre las pruebas estadísticas empleadas en cada caso, se puede consultar el Anexo 2: Selección de los métodos estadísticos. Aquellos casos en que se han detectado diferencias estadísticamente significativas se muestran en rojo ( $\alpha=0,05$ ).  $f0$ =tasa de infiltración inicial;  $fc$ =tasa de infiltración final;  $H$ =altura total infiltrada;  $\%hm$ =recubrimiento de herbáceas y musgos;  $\%rv$ =recubrimiento de restos vegetales;  $\%sd$ =recubrimiento de suelo desnudo;  $Ncop$ =número de copas superpuestas sobre el infiltrómetro;  $Narbo$ =densidad de árboles;  $Narbu$ =densidad de arbustos;  $Naa$ =densidad de árboles y arbustos;  $\%ar$ =arena;  $\%li$ =limo;  $\%ac$ =arcilla;  $\%H$ =humedad edáfica..... 40

Tabla 4: Resultados de la prueba HSD de Tukey para la tasa de infiltración inicial  $f0$  (en este caso en su versión transformada  $f0bis$ ). Aquellos casos en que se han detectado diferencias estadísticamente significativas se muestran en rojo ( $\alpha=0,05$ ). ..... 41

Tabla 5: Correlación lineal entre las variables de infiltración y el resto de variables expresada como  $\rho$  de Spearman (arriba) y significación del coeficiente (abajo). En rojo se destacan los casos en que hay una relación lineal significativa ( $\alpha=0,05$ ).  $f0$ =tasa de





---

Tabla 22: Evaporación (Parte 1) .....	76
Tabla 23: Evaporación (Parte 2) .....	77













---

napa salina. Se trata de un estudio en el Chaco Central, cuyo régimen de precipitaciones es diferente al del Chaco Húmedo.

En Australia se ha demostrado que la escorrentía generada en una pendiente de pastos y suelo desnudo puede ser capturada por un cinturón de árboles en la parte baja de la ladera, que actúa a modo de sumidero (Ellis et al. 2006). Este mismo principio podría aplicarse a las micropendientes del Chaco Húmedo: la plantación o mantenimiento de hileras de árboles con efectos positivos en la capacidad de infiltración en los límites de las zonas inundables, podría reducir la superficie inundada según la conveniencia.

Este tipo de medidas se plantean frente a otras menos ecológicas ya existentes. En ocasiones se crean canales para la desecación de los pastizales inundables que afectan negativamente a sus funciones y aceleran el avance de especies leñosas y hierbas de menor calidad forrajera (Aiello & Marino 2012). También, desde el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) de Argentina, proponen un sistema de bordos de 30 cm de altura orientados a lo largo de las curvas de nivel y en sentido perpendicular a la pendiente, que actúan como pequeñas presas y aumentan la posibilidad de que ocurra el mismo nivel de acumulación de agua que favorece la presencia de los pastos más nutritivos (Aiello & Marino 2012).

## 1.2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL EXPERIMENTO

En el Chaco Húmedo o Bajo Chaco es frecuente que tras la precipitación el agua quede encharcada sobre el suelo. Las zonas inundadas pueden ir desaguando lentamente hacia la red de drenaje o permanecer aisladas hasta un nuevo evento de precipitación suficientemente intenso o largo. En cualquier caso, la escorrentía es nula en grandes áreas y el agua almacenada sobre el suelo va desapareciendo lentamente debido a dos procesos: la infiltración y la evaporación (Figura 1).



**Figura 1: Procesos hidrológicos en el agua estancada del Chaco Húmedo**











---

producción. Por otra parte, las manchas de vegetación de bosques y pastos se distribuyen según un gradiente topográfico con diferencias altitudinales de pocos metros (Peña-Chocarro et al. 2006). En unos suelos caracterizados por su incapacidad de absorber las precipitaciones (Vera et al. 2000; Kruck 1998), la altitud y pendiente del terreno condicionan el grado de encharcamiento, que es un factor decisivo en el asentamiento de la vegetación.

En este estudio se profundiza en las relaciones entre las plantas y el grado de encharcamiento, concretamente, en la influencia de éstas en las tasas de evaporación y de infiltración del agua estancada. Se trata de responder a la pregunta ¿influye la vegetación en el tiempo de encharcamiento?; y si es así, ¿se puede utilizar esta influencia para gestionar el agua estancada mediante el manejo sostenible de la vegetación?



### 3. MATERIAL Y MÉTODOS

#### 3.1. ZONA DE ESTUDIO

El estudio se localiza en la estancia Playada, una finca de ganadería extensiva situada en la municipalidad de Benjamín Aceval, en el departamento de Presidente Hayes (Paraguay) (Figura 3). Este departamento es uno de los tres que conforman la Región Occidental de Paraguay, también conocida como Chaco, que es una región administrativa englobada dentro de la biorregión del Gran Chaco Americano. El Chaco Americano es una extensa llanura aluvial situada en el centro de América del Sur. Concretamente, la estancia se ubica en la subregión del Chaco Húmedo o Bajo Chaco, que ocupa las zonas más bajas, en las orillas de los ríos Paraguay y Paraná (Figura 3).

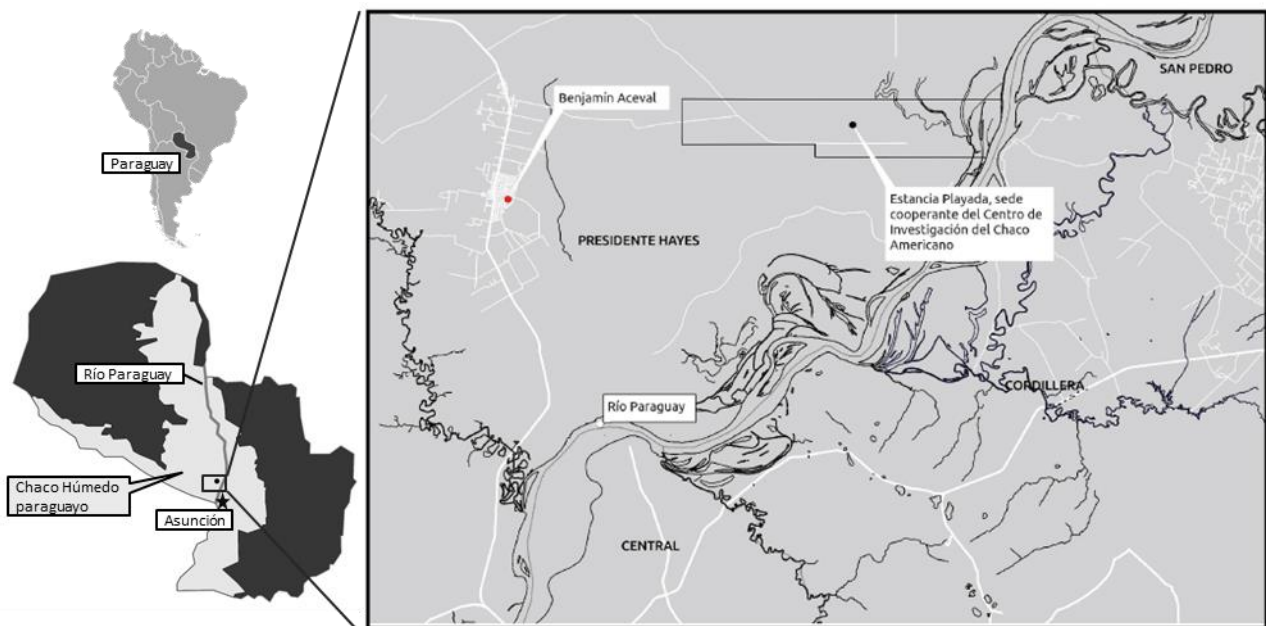
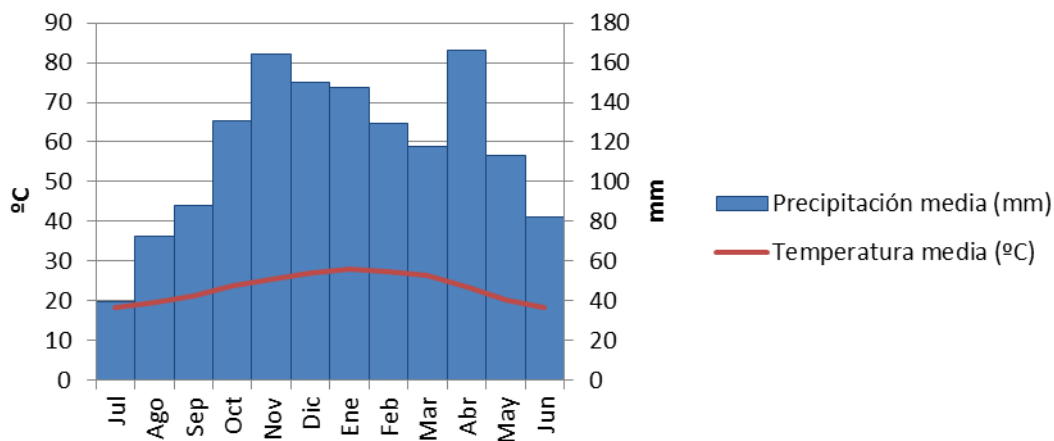


Figura 3: Localización de la zona de estudio. Elaboración propia a partir de mapas de Karim Musálem y Zoraya El Raiss

El clima de la zona es cálido (temperatura media anual de 23,3 °C) y la temperatura oscila entre los 13,1 °C de media de las mínimas en julio y los 33,5 °C de media de las máximas en enero. La evolución de la temperatura a lo largo del año puede observarse en la Figura 4. La precipitación media es de 1401 mm, siempre en forma de lluvia. La distribución es regular a lo largo del año, aunque se produce un mínimo en los meses de invierno (entre junio y septiembre), sin llegar a existir una estación seca (Figura 4). El clima se considera subtropical húmedo. Las estimaciones de evapotranspiración van desde los 2200 mm anuales (Kruck 1998) a los 990 mm anuales (SEAM 2012).



**Figura 4:** Climograma aproximado de la estancia Playada (65 msnm) de acuerdo a los datos de la estación del aeropuerto Silvio Pettrossi (111 msnm). Elaboración propia a partir de los datos del Servicio de información meteorológica mundial (serie de 30 años).

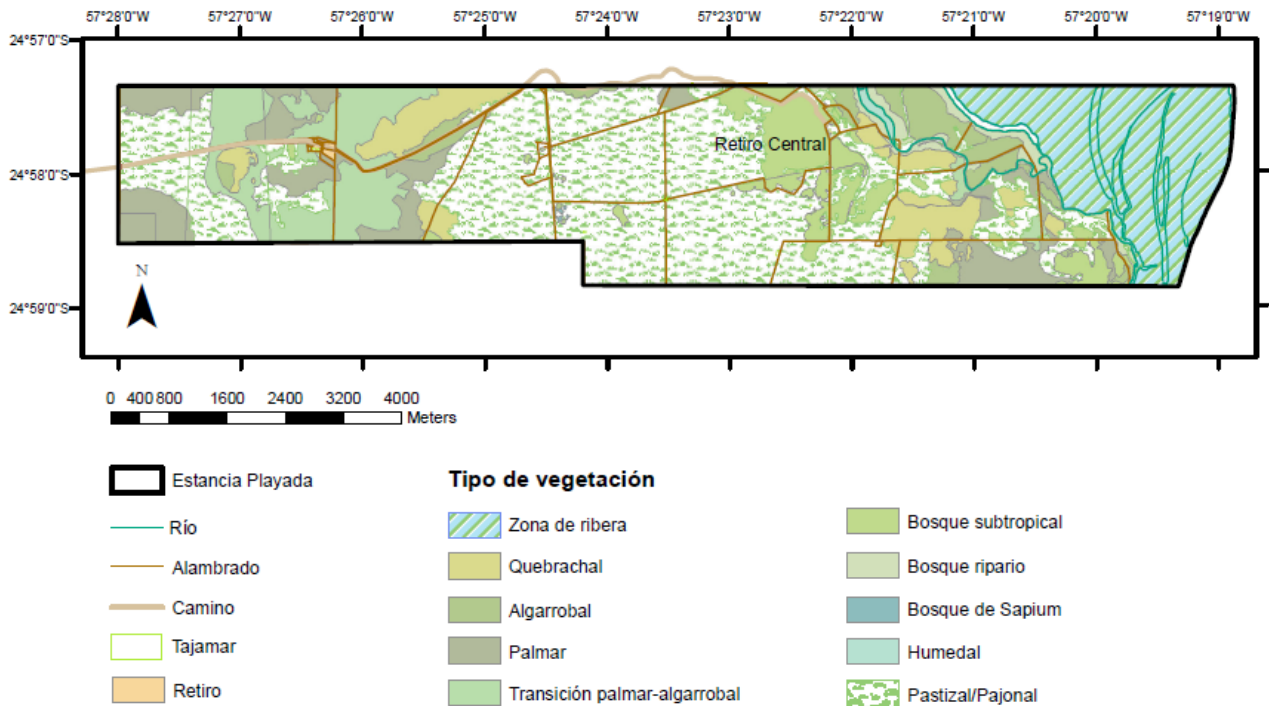
La estancia Playada forma parte de dos unidades geológicas (Kruck 1998). En las zonas más cercanas al río Paraguay aparecen depósitos fluviales de arenas francas a arcillo-arenosas, de estructura débil y contenido medio de materia orgánica. Las zonas con menor influencia del río, pero igualmente inundables, están cubiertas por sedimentos compuestos de arcillas y limos con alto contenido de material orgánico. Ambos tipos de materiales son jóvenes, del Holoceno reciente (con menos de 10.000 años).

Los suelos del Bajo Chaco están influenciados por las sucesivas crecidas de los numerosos ríos y riachos, pero principalmente por el régimen hídrico del Río Paraguay. Están conformados por sedimentos de tamaño muy fino y decreciente hacia el río, que reducen la capacidad de infiltración (Vera et al. 2000). El pH suele ser neutro en los horizontes superficiales y alcalino en el subsuelo. Según el mapa de suelos de Kruck (1998), en la estancia Playada aparecen dos tipos de suelo: fluvisoles eútricos, en la llanura de inundación del río Paraguay, y gleysoles eútricos en el resto de la estancia.

Los fluvisoles son suelos asociados a la acción del agua. Se caracterizan por un aporte continuado de sedimentos, de modo que presentan poco desarrollo edafogénico. La textura y la materia orgánica se distribuyen irregularmente en profundidad (Ibañez & Manriquez 2011a). El adjetivo eútrico hace referencia a que se trata de suelos saturados en bases (Dorrnsoro 2014). Los gleysoles son suelos con hidromorfía, en este caso por altas precipitaciones y lenta infiltración (Kruck 1998), permanente o casi y con horizontes gris-verdosos por la reducción del hierro. La ausencia de oxígeno y unas biocenosis edáficas pobres provocan que estos suelos atesoren gran cantidad de carbono

orgánico (Ibañez & Manriquez 2011b). Las propiedades estagnicas son muy comunes en los suelos arcillosos, donde el agua infiltra muy lentamente.

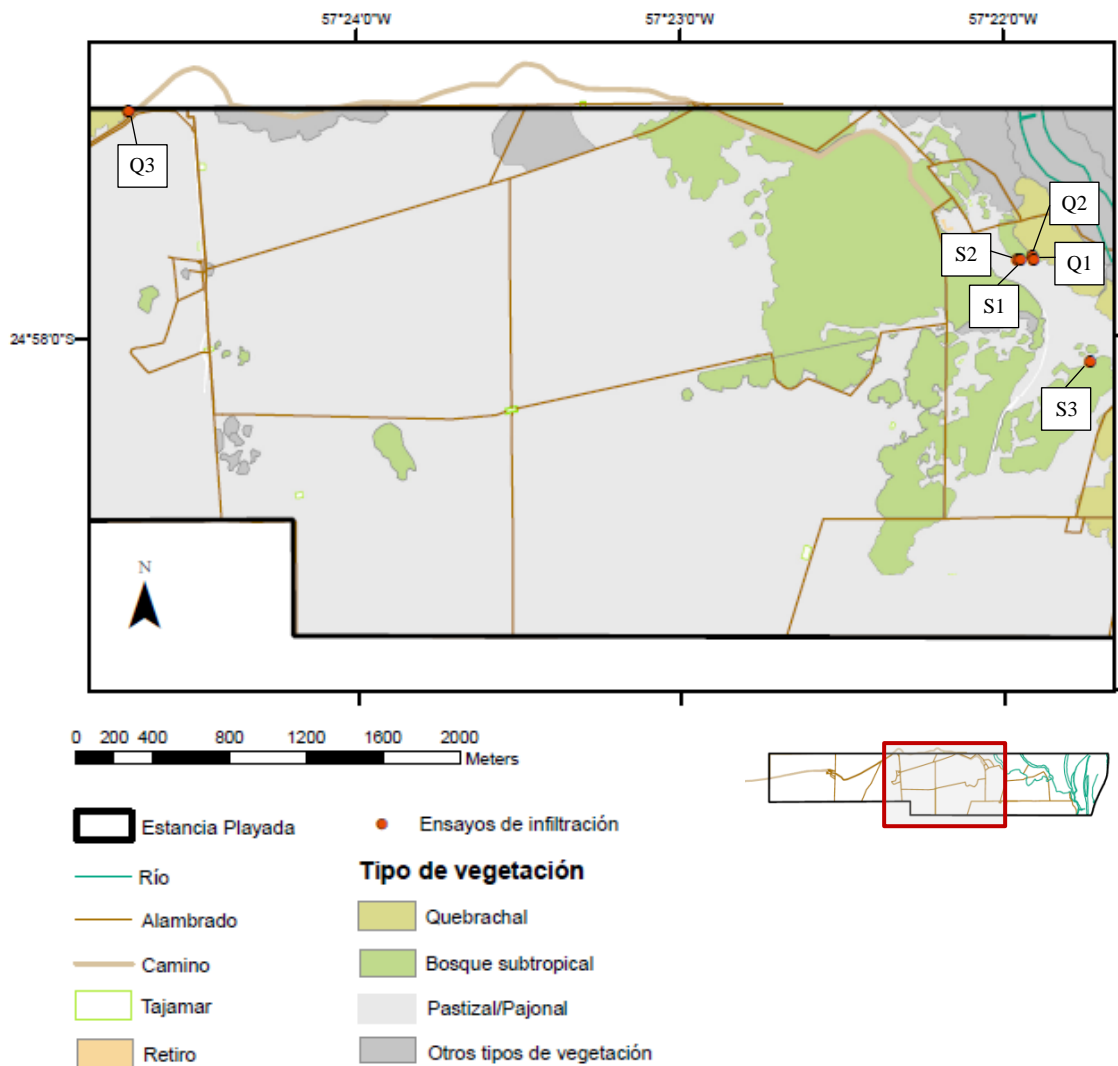
La vegetación del Chaco Húmedo está constituida por un mosaico de formaciones. La distribución de estas unidades depende de la topografía del terreno y de los gradientes de salinidad y humedad del suelo (Peña-Chocarro et al. 2006). Las isletas de bosque de quebracho colorado (*Schinopsis balansae*) se alternan con sabanas de karanda'y (*Copernicia alba*) y con humedales. Los quebrachales se desarrollan en las zonas más altas libres de inundaciones, los palmares en los declives y, las zonas bajas, sujetas a inundaciones gran parte del año, quedan ocupadas por humedales. En una posición intermedia entre quebrachales y palmares aparecen los algarrobales, fundamentalmente de *Prosopis alba* y *P. nigra* (Peña-Chocarro et al. 2006). Además de estas unidades puramente chaqueñas existen otras como los bosques galería, que acompañan a los cursos de agua (Peña-Chocarro et al. 2006), o los bosques subtropicales, de transición entre la flora chaqueña y la oriental (El Raiss et al. 2014). Los pastizales también se zonifican según la altitud del terreno (Peña-Chocarro et al. 2006): los pastizales de campos altos aparecen en la posición topográfica más alta de las zonas anegables; los pajonales o bañados, permanecen anegados varios meses al año; y las sabanas inundables, se dan en zonas susceptibles de inundación durante los meses de lluvias.



**Figura 5: Vegetación de la estancia Playada. Elaboración propia a partir de los datos de Zoraya El Raiss y Karim Musálem**



(*Schinopsis balansae*), en el caso de los quebrachales (Q1, Q2, Q3), y guayabos (*Psidium guajava*), en el caso de los bosques subtropicales (S1, S2, S3) (Figura 6). Los ejemplares escogidos tenían una parte de su copa aún dentro del bosque y, la parte opuesta, sobre el pasto. En cada bosque se seleccionó al menos un ejemplar colindante con cada tipo de pasto (pajonal o pastizal).

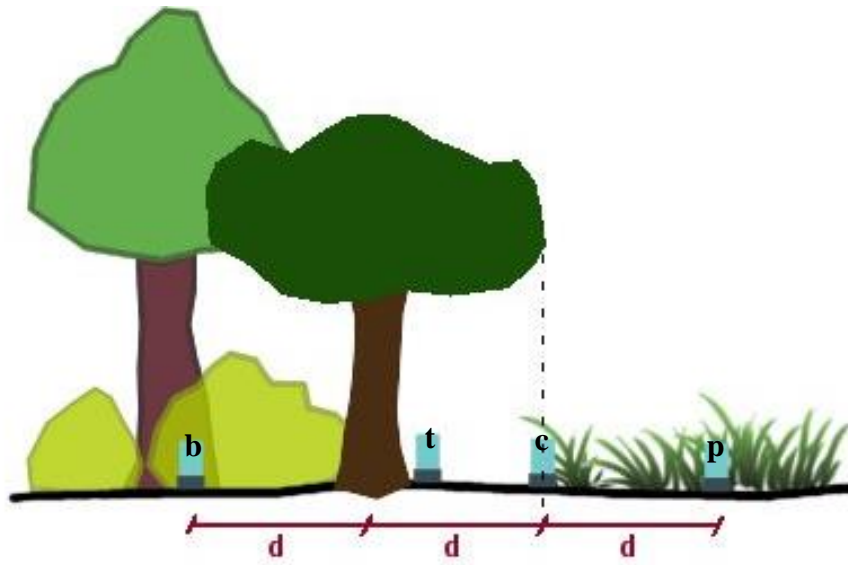


**Figura 6: Localización de los puntos de medida de la infiltración. Elaboración propia**

Para evaluar las tasas de infiltración se colocaron cuatro infiltrómetros alineados en un transecto desde el bosque hasta el pastizal (Figura 7, Figura 8). Los aparatos de medición fueron ubicados al pie del tronco del ejemplar elegido (t), en la proyección del límite de la copa del árbol sobre el suelo en dirección al pasto (c) –es decir, a una distancia  $d$  del tronco–, a una distancia  $2 \cdot d$  del tronco a continuación de c (p) y a una distancia  $d$  del tronco en dirección al bosque (b). Se asume que el final de la copa marca



también el final de la influencia del árbol en el suelo. En total se realizaron 24 ensayos de infiltración.



**Figura 7: Esquema del diseño experimental. Ensayo de infiltración dentro del bosque (b), en la base del tronco (t), en la proyección de la copa del árbol sobre el pasto (c) y en el pasto (p)**



**Figura 8: Implementación del diseño experimental. ensayo de infiltración dentro del bosque (b), en la base del tronco (t), en la proyección de la copa del árbol sobre el pasto (c) y en el pasto (p)**

Para realizar los análisis se utilizó un infiltrómetro inundador de anillo simple (*Infiltest*) (Mongil et al. 2015). Se puede consultar más información sobre la selección del método de medición en el Anexo 1: . Los ensayos consistieron en rellenar con agua el





**Figura 9: Materiales empleados en los ensayos de infiltración. 1) Garrafa, 2) Infiltrómetro, 3) Tubo auxiliar, 4) Tapa metálica, 5) Maza de goma, 6) Nivel, 7) Rejilla de fondo, 8) Horquillas, 9) Grasa, 10) Teflón, 11) Mordaza, 12) Palita, 13) Rotulador, 14) Bolsa con cierre hermético, 15) GPS, 16) Cronómetro, 17) Lápiz y goma, 18) Cuaderno de campo, 19) Cinta métrica, 20) Guantes.**

### 3.2.2. EVAPORACIÓN

Para controlar las variables atmosféricas de las que depende la evaporación, esta ha sido medida en días de condiciones homogéneas, a finales del mes de abril y principios del mes de mayo. De este modo, los resultados dependen de la vegetación y de cómo esta influye en las variables atmosféricas, así como de la cantidad de agua disponible sobre el suelo.

En base a estas consideraciones, se planteó un diseño experimental consistente en la medición de la evaporación en cuerpos de agua elegidos de forma aleatoria bajo todos los tipos de vegetación considerados para la infiltración (quebrachales, bosques subtropicales, pajonales y pastizales) y en las mismas zonas y, además, en cuerpos de agua ubicados en los límites de los bosques. En cada formación se realizaron 4 repeticiones. En total se efectuaron 24 ensayos de evaporación.

La velocidad de evaporación se midió utilizando tanques evaporímetros flotantes de 22 cm de diámetro y 8 cm de altura (ver Anexo 1 para más información). En cada ensayo el

recipiente se llenó con 500 ml de agua medidos con una probeta de laboratorio. El agua se tomó del mismo charco sobre cuya superficie, después, se dejaba el tanque para que el agua evaporara durante aproximadamente 5 horas. Transcurrido este tiempo, el volumen de agua se midió de nuevo con la probeta. Los materiales empleados para medir el agua evaporada se pueden observar en la Figura 10.

Conociendo la diferencia de volúmenes, la hora en que se había iniciado el experimento y la hora en que se terminaba, se calculó la tasa de evaporación media en cada punto.



**Figura 10: Materiales empleados en los ensayos de evaporación. 1) Tanque evaporímetro, 2) Probeta de 500 ml, 3) Embudo, 4) Enrasador, 5) GPS, 6) Reloj, 7) Lápiz y goma, 8) Cuaderno de campo.**

### 3.3. TRATAMIENTO DE LOS DATOS

Los datos de infiltración tomados en los ensayos de campo (mm de agua infiltrados) se han ordenado en series temporales de 4 horas. Para cada momento  $t$  del ensayo se ha estimado:

- La tasa de infiltración del intervalo ( $f_i$ )

$$f_i = \frac{h_i}{t_i} \quad \begin{array}{l} h_i \text{ es la altura de agua infiltrada en el intervalo de medición en mm} \\ t_i \text{ es el tiempo de duración del intervalo en horas} \end{array}$$

La velocidad de infiltración obtenida al principio del ensayo, es decir, en el primer intervalo de medida, se denomina  $f_0$  o tasa de infiltración inicial. Tras 4 h de ensayo se asume que se obtiene una tasa de infiltración final constante ( $f_c$ ) que es la velocidad de infiltración en el último intervalo del experimento y es característica del suelo.





Grupo	Subgrupo	Variable	Unidad	Detalles
	Evaporación	te	mm·h <sup>-1</sup>	Tasa de evaporación
<b>Variables independientes</b>		veg	categoría	Tipo de vegetación: quebrachal, bosque subtropical, pasto bajo, pajonal y transición (para las variables de infiltración y de evaporación)
		pos	categoría	Posición con respecto al árbol: copa-bosque, tronco, copa-pasto y fuera (para las variables de infiltración)
<b>Covariables</b>	Recubrimiento superficial	%hm	%	Porcentaje de herbáceas y musgos
		%rv	%	Porcentaje de restos vegetales
		%sd	%	Porcentaje de suelo desnudo
	Cubierta vegetal	Ncop	ud.	Número de copas superpuestas
		Narbo	ud·m <sup>-2</sup>	Densidad de árboles
		Narbu	ud·m <sup>-2</sup>	Densidad de arbustos
		Naa	ud·m <sup>-2</sup>	Densidad de árboles y arbustos
	Edáficas	%ar	%	Porcentaje de arenas
		%li	%	Porcentaje de limos
		%ac	%	Porcentaje de arcillas
		%H	%	Humedad gravimétrica

En primer lugar, se realizó un contraste de hipótesis para averiguar si existen diferencias significativas en la infiltración o la evaporación entre los grupos de cada tratamiento. Para elegir el estadístico más adecuado para el contraste de hipótesis se evaluaron la normalidad, mediante el test de Shapiro-Wilks ( $n < 30$ ), y la homocedasticidad, mediante el test de Levene, de todas las variables agrupadas según los dos tratamientos del experimento. Cuando no se cumplía alguno de los dos supuestos se procedió a la transformación de las variables y a una nueva comprobación del cumplimiento de la normalidad y la homocedasticidad con la variable transformada. Se pueden consultar más detalles de este procedimiento en el Anexo 2: Selección de los métodos estadísticos.

Para el análisis de las variables por tipo de vegetación se eligió el test para variables no paramétricas de Kruskal-Wallis. Cuando el factor de clasificación era la posición







estabilizarse tras un mínimo, excepto en el caso del bosque subtropical donde el descenso se mantiene hasta el final del ensayo, por lo que no se alcanza una tasa de infiltración final constante. En el pajonal se alcanza la tasa constante tras 3 horas de ensayo, pero en el resto de formaciones, después de la primera hora, los resultados se mantienen prácticamente invariantes.

Respecto a las variables que caracterizan la masa vegetal (número de copas superpuestas *-Ncop-*, densidad de árboles *-Narbo-*, densidad de arbustos *-Narbu-*, densidad de árboles y arbustos *-Naa-*) y el recubrimiento superficial (porcentaje de herbáceas y musgos *-%hm-*, porcentaje de restos vegetales *-%rv-*, porcentaje de suelo desnudo *-%sd-*), las categorías de vegetación suponen diferencias significativas para todas ellas, menos para el porcentaje de suelo desnudo (Tabla 2). Este resultado es lógico ya que cada categoría de vegetación, por su propia definición, tendrá una densidad de la vegetación leñosa y unos componentes dominantes en el recubrimiento superficial.

Las categorías de vegetación no generan diferencias significativas para las variables edáficas (porcentaje de arena *-%ar-*, de limo *-%li-*, de arcilla *-%ac-* y porcentaje de humedad *-%H-*) (Tabla 2). Además, las desviaciones de los valores respecto a la media son bajas. Esto sugiere que los trabajos se han realizado sobre texturas edáficas bastante homogéneas y con humedades similares.

**Tabla 2: Valores medios, dispersión (mostrada como desviación estándar) y resultados de la comparación de las medias o los rangos de cada variable según las categorías de tipo de vegetación. Para conocer más detalles sobre las pruebas estadísticas empleadas en cada caso, se puede consultar el Anexo 2: Selección de los métodos estadísticos. Aquellos casos en que se han detectado diferencias estadísticamente significativas se muestran en rojo ( $\alpha=0,05$ ). *f0*=tasa de infiltración inicial; *fc*=tasa de infiltración final; *H*=altura total infiltrada; *%hm*=recubrimiento de herbáceas y musgos; *%rv*=recubrimiento de restos vegetales; *%sd*=recubrimiento de suelo desnudo; *Ncop*=número de copas superpuestas sobre el infiltrómetro; *Narbo*=densidad de árboles; *Narbu*=densidad de arbustos; *Naa*=densidad de árboles y arbustos; *%ar*=arena; *%li*=limo; *%ac*=arcilla; *%H*=humedad edáfica**

Variables	Categorías					ANOVA/ Kruskal-Wallis	
	Quebrachal	Bosque subtropical	Pasto bajo	Pajonal	Transición	F/ $\chi^2$	Sig.
<b><i>f0</i> (mm·h<sup>-1</sup>)</b>	225,00 (±216,96)	682,50 (±1006,94)	35,00 (±22,91)	120,00 (±130,77)	77,50 (±95,54)	1,823	0,166

Variables	Categorías					ANOVA/ Kruskal-Wallis	
	Quebrachal	Bosque subtropical	Pasto bajo	Pajonal	Transición	F/ $\chi^2$	Sig.
<b>fc (mm·h<sup>-1</sup>)</b>	32,33 (±51,43)	156,67 (±184,77)	0,67 (±1,15)	43,33 (±16,04)	11,50 (±16,39)	6,599	0,159
<b>H (mm)</b>	184,42 (±265,63)	974,00 (±1422,49)	4,40 (±3,24)	267,33 (±158,41)	62,42 (±82,15)	7,526	0,111
<b>%hm</b>	10,00 (±17,61)	5,83 (±8,01)	86,67 (±23,09)	63,33 (±23,09)	50,83 (±42,00)	<b>15,292</b>	<b>0,004</b>
<b>%rv</b>	81,67 (±37,77)	74,17 (±34,99)	0	0	27,50 (±31,90)	<b>8,789</b>	<b>0,000</b>
<b>%sd</b>	8,33 (±20,41)	20,00 (±30,98)	13,33 (±23,09)	36,67 (±23,09)	21,67 (±32,51)	4,273	0,370
<b>Ncop (ud.)</b>	3,17 (±1,94)	2,67 (±0,52)	0	0	0,83 (±0,75)	<b>16,186</b>	<b>0,000</b>
<b>Narbo (ud·m<sup>-2</sup>)</b>	0,26 (±0,20)	0,32 (±0,19)	0,03 (±0,03)	0,03 (±0,06)	0,10 (±0,07)	<b>13,260</b>	<b>0,010</b>
<b>Narbu (ud·m<sup>-2</sup>)</b>	0,30 (±0,24)	0,97 (±0,63)	0,16 (±0,16)	0,59 (±0,02)	0,37 (±0,19)	<b>12,072</b>	<b>0,017</b>
<b>Naa (ud·m<sup>-2</sup>)</b>	0,56 (±0,41)	1,29 (±0,74)	0,19 (±0,14)	0,63 (±0,07)	0,47 (±0,20)	<b>12,163</b>	<b>0,016</b>
<b>%ar</b>	56,33 (±4,76)	58,17 (±4,67)	56,33 (±4,62)	57,67 (±6,11)	57,33 (±3,20)	0,231	0,994
<b>%li</b>	14,50 (±2,35)	14,00 (±3,35)	16,00 (±4,00)	10,67 (±6,11)	13,83 (±8,35)	1,954	0,744
<b>%ac</b>	29,17 (±6,05)	27,67 (±4,13)	27,67 (±6,11)	31,67 (±2,31)	28,83 (±6,08)	2,028	0,731
<b>%H</b>	19,50 (±3,27)	23,00 (±10,68)	15,33 (±1,53)	24,67 (±4,16)	20,83 (±3,82)	6,182	0,189

La Tabla 3 muestra los resultados obtenidos para el segundo tratamiento de los datos: la posición con respecto al árbol. Los estadísticos descriptivos señalan que la capacidad de infiltración en la base del árbol ( $f_0=785,00 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ ;  $f_c=127,33 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ ;  $H=883,33 \text{ mm}$ ) es mayor que en posiciones más alejadas. Dentro de la copa del árbol se han obtenido mayores valores de infiltración en la parte orientada hacia el bosque que en la parte orientada al pasto. Por ejemplo,  $f_c$  en el límite de la copa hacia el bosque es  $61,67 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$  y en el límite de la copa hacia el pasto es  $11,50 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ . De hecho, en esta última posición la capacidad de infiltración parece menor que la existente fuera de la influencia del árbol ( $f_c=22,00 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ ). Las curvas de infiltración correspondientes a cada tratamiento ilustran estas diferencias (Figura 12). Las diferencias observadas sólo son significativas para la tasa de infiltración inicial,  $f_0$  ( $F=4,717$ ;  $\text{Sig.}=0,012$ ).

Las curvas de infiltración (Figura 12) muestran que la tasa de infiltración desciende de forma pronunciada en los 5 primeros minutos como en el caso anterior. En la base del tronco el descenso es más prolongado y se mantienen hasta las 3 h de ensayo. En el

límite de la copa hacia el pasto y fuera de la influencia del árbol se alcanza una tasa de infiltración constante tras una hora de ensayo. En el límite de la copa hacia el bosque la velocidad de infiltración es bastante homogénea a partir de la primera hora, pero se produce un descenso a las 3 horas para después volver a aumentar.

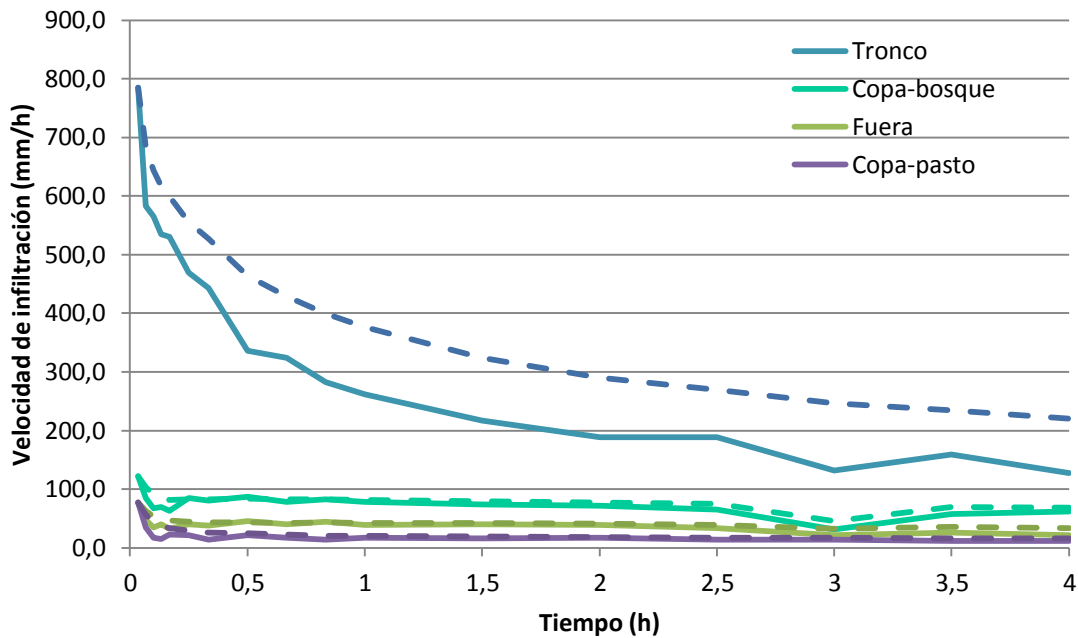


Figura 12: Curvas de infiltración medias en cada posición con respecto al árbol. La línea continua representa la tasa de infiltración obtenida en cada intervalo del experimento y la línea discontinua la tasa de infiltración media desde el comienzo.

Tabla 3: Valores medios, dispersión (mostrada como desviación estándar) y resultados de la comparación de las medias o los rangos de cada variable según las categorías establecidas de posición con respecto al árbol. Para conocer más detalles sobre las pruebas estadísticas empleadas en cada caso, se puede consultar el Anexo 2: Selección de los métodos estadísticos. Aquellos casos en que se han detectado diferencias estadísticamente significativas se muestran en rojo ( $\alpha=0,05$ ).  $f_0$ =tasa de infiltración inicial;  $f_c$ =tasa de infiltración final;  $H$ =altura total infiltrada; % $hm$ =recubrimiento de herbáceas y musgos; % $rv$ =recubrimiento de restos vegetales; % $sd$ =recubrimiento de suelo desnudo;  $N_{cop}$ =número de copas superpuestas sobre el infiltrómetro;  $Narbo$ =densidad de árboles;  $Narbu$ =densidad de arbustos;  $Naa$ =densidad de árboles y arbustos; % $ar$ =arena; % $li$ =limo; % $ac$ =arcilla; % $H$ =humedad edáfica

Variables	Categorías				ANOVA/Kruskal-Wallis	
	Copa-bosque	Tronco	Copa-pasto	Fuera	F/ $\chi^2$	Sig.
$f_0$ (mm·h <sup>-1</sup> )	122,50 (±112,42)	785,00 (±954,25)	77,50 (±95,54)	77,50 (±96,01)	4,717	0,012

Variables	Categorías				ANOVA/Kruskal-Wallis	
	Copa-bosque	Tronco	Copa-pasto	Fuera	F/ $\chi^2$	Sig.
<b>fc (mm·h<sup>-1</sup>)</b>	61,67 (±94,45)	127,33 (±185,87)	11,50 (±16,39)	22,00 (±25,49)	1,021	0,404
<b>H (mm)</b>	275,08 (±382,08)	883,33 (±1449,19)	62,42 (±82,15)	135,87 (±175,45)	1,189	0,339
<b>%hm</b>	13,33 (±17,22)	2,50 (±4,18)	50,83 (±42,00)	75,00 (±24,29)	15,700	0,001
<b>%rv</b>	68,33 (±43,67)	87,50 (±23,61)	27,50 (±31,90)	0	13,324	0,000
<b>%sd</b>	18,33 (±28,58)	10,00 (±24,50)	21,67 (±32,51)	25,00 (±24,29)	1,754	0,625
<b>Ncop (ud.)</b>	3,67 (±1,51)	2,17 (±0,75)	0,83 (±0,75)	0	29,501	0,000
<b>Narbo (ud·m<sup>-2</sup>)</b>	0,31 (±0,20)	0,26 (±0,19)	0,10 (±0,07)	0,03 (±0,04)	13,305	0,004
<b>Narbu (ud·m<sup>-2</sup>)</b>	0,67 (±0,70)	0,60 (±0,48)	0,37 (±0,19)	0,38 (±0,26)	0,596	0,625
<b>Naa (ud·m<sup>-2</sup>)</b>	0,98 (±0,81)	0,87 (±0,62)	0,47 (±0,20)	0,41 (±0,26)	1,718	0,196
<b>%ar</b>	57,00 (±5,83)	57,50 (±3,51)	57,33 (±3,20)	57,00 (±4,90)	0,017	0,997
<b>%li</b>	15,33 (±3,27)	13,17 (±1,84)	13,84 (±8,35)	13,33 (±5,47)	0,249	0,861
<b>%ac</b>	27,67 (±6,06)	29,17 (±4,12)	28,83 (±6,08)	29,67 (±4,68)	0,542	0,910
<b>%H</b>	20,83 (±6,43)	21,67 (±9,50)	20,83 (±3,82)	20,00 (±5,83)	0,062	0,979

En el posterior análisis por pares para la velocidad de infiltración inicial o  $f_0$  (Tabla 4) se observa que en la base del tronco es significativamente más elevada que en las posiciones del tronco hacia las zonas de pasto. Esto indica una mejora del proceso de infiltración cerca del árbol en los momentos iniciales con respecto a las zonas donde no hay árboles próximos.

**Tabla 4: Resultados de la prueba HSD de Tukey para la tasa de infiltración inicial  $f_0$  (en este caso en su versión transformada  $f_{0bis}$ ). Aquellos casos en que se han detectado diferencias estadísticamente significativas se muestran en rojo ( $\alpha=0,05$ ).**

Posición respecto al árbol	HSD de Tukey (significación)			
	cb	tr	cp	fu
<b>Copa-bosque (cb)</b>	-	0,106	0,768	0,907
<b>Base del tronco (tr)</b>	0,106	-	0,014	0,027
<b>Copa-pasto (cp)</b>	0,768	0,014	-	0,990
<b>Fuera de influencia (fu)</b>	0,907	0,027	0,990	-

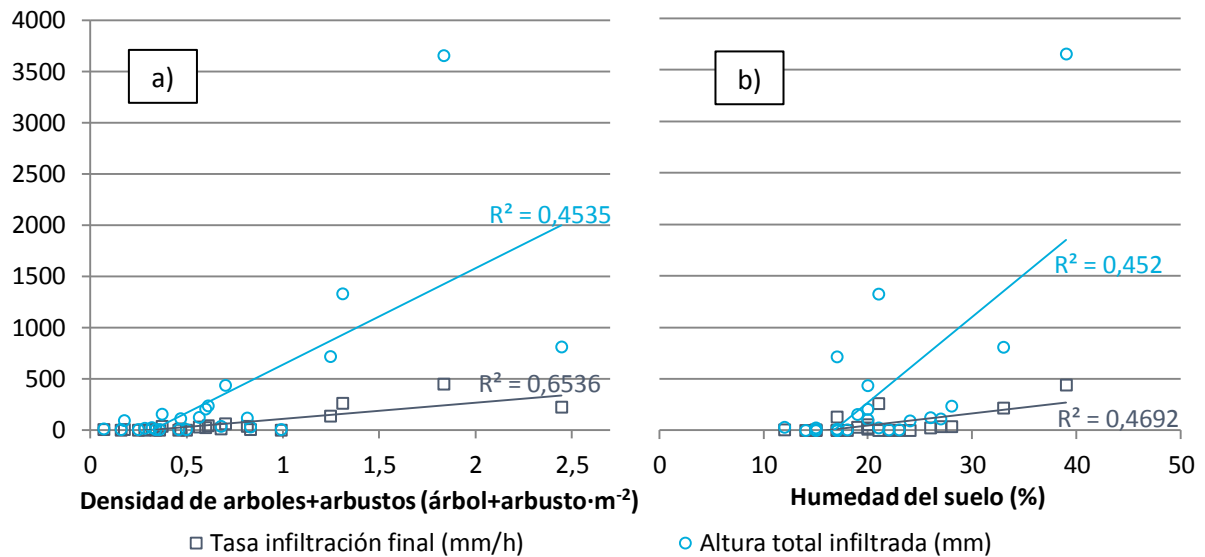
El análisis de correlación lineal (Tabla 5) muestra que las variables de la infiltración ( $f_0$ ,  $f_c$  y  $H$ ) guardan una relación lineal significativa con 6 de las 11 posibles variables explicativas consideradas en el estudio. A pesar de que la infiltración no ha presentado diferencias significativas entre los distintos tipos de vegetación, se han encontrado relaciones lineales fuertes con casi todas las variables que caracterizan las formaciones vegetales (densidad de árboles –*Narbo*-, densidad de arbustos –*Narbu*- y densidad de árboles y arbustos –*Naa*-) (Tabla 5; Figura 13). Estas, a su vez, sí que presentan diferencias significativas según las categorías de vegetación (*Narbo*:  $F=13,260$ ,  $Sig.=0,010$ ; *Narbu*:  $F=12,072$ ,  $Sig.=0,017$ ; *Naa*:  $F=12,163$ ,  $Sig.=0,016$ ).

**Tabla 5: Correlación lineal entre las variables de infiltración y el resto de variables expresada como  $\rho$  de Spearman (arriba) y significación del coeficiente (abajo). En rojo se destacan los casos en que hay una relación lineal significativa ( $\alpha=0,05$ ).  $f_0$ =tasa de infiltración inicial;  $f_c$ =tasa de infiltración final;  $H$ =altura total infiltrada; %*hm*=recubrimiento de herbáceas y musgos; %*rv*=recubrimiento de restos vegetales; %*sd*=recubrimiento de suelo desnudo; *Ncop*=número de copas superpuestas sobre el infiltrómetro; *Narbo*=densidad de árboles; *Narbu*=densidad de arbustos; *Naa*=densidad de árboles y arbustos; %*ar*=arena; %*li*=limo; %*ac*=arcilla; %*H*=humedad edáfica**

Var.	$f_0$	$f_c$	$H$	Var.	$f_0$	$f_c$	$H$	Var.	$f_0$	$f_c$	$H$
% <i>hm</i>	-0,527	-0,282	-0,362	<b><i>Ncop</i></b>	0,376	0,164	0,205	% <i>ar</i>	-0,148	0,386	0,279
	0,003	0,182	0,082		0,070	0,443	0,337		0,490	0,062	0,186
% <i>rv</i>	0,337	0,067	0,119	<b><i>Narbo</i></b>	0,562	0,421	0,446	% <i>li</i>	0,018	0,318	-0,266
	0,108	0,757	0,581		0,004	0,040	0,029		0,934	0,130	0,208
% <i>sd</i>	0,342	0,402	0,469	<b><i>Narbu</i></b>	0,251	0,661	0,613	% <i>ac</i>	0,007	-0,031	0,005
	0,102	0,051	0,021		0,263	0,000	0,001		0,975	0,885	0,982
				<b><i>Naa</i></b>	0,392	0,707	0,674	% <i>H</i>	0,171	0,540	0,570
					0,058	0,000	0,000		0,424	0,006	0,004

Los componentes texturales (%*ar*, %*li*, %*ac*) no presentan relaciones lineales significativas con las variables de la infiltración (Tabla 5). En cambio, la humedad del suelo (%*H*) guarda una relación lineal importante con  $f_c$  y  $H$  (Tabla 5; Figura 13). Estos resultados no son consistentes con los encontrados en la literatura (ver Discusión).

Los análisis de covarianza (Tabla 6 y Tabla 7) muestran que el porcentaje de humedad en el suelo (%*H*) tiene influencia negativa sobre el efecto del tipo de vegetación en la tasa de infiltración final ( $f_c$ ), debido a que la humedad y la tasa de infiltración están relacionadas de forma lineal. Sin embargo, la humedad del suelo no cambia el hecho de que el contraste de hipótesis para  $f_c$  no sea significativo ( $F=1,047$ ;  $Sig.=0,411$ ). La tasa de infiltración final no depende del tipo de vegetación (bosques, pastizales o zonas de transición) incluso tras considerar el efecto de las covariables.



**Figura 13: Relaciones lineales entre las variables de infiltración y a) la densidad de árboles y arbustos y b) la humedad del suelo.  $R^2$  indica la proporción de la variable dependiente explicada por el modelo de regresión.**

La humedad edáfica también influye en el efecto encontrado de los tipos de la vegetación sobre la altura total infiltrada ( $H$ ), pero de nuevo la influencia no hace que la altura de agua infiltrada dependa de la vegetación, sino que más bien causa el efecto contrario ( $F=1,234$ ;  $\text{Sig.}=0,332$ ). La humedad del suelo, que no depende de los tipos de vegetación (Tabla 2), difumina en cierta medida el efecto que estos pudieran tener sobre los procesos de infiltración.

La densidad de arbustos ( $Narbu$ ) y la humedad del suelo ( $\%H$ ) no parecen ser covariables muy influyentes en la relación que existe entre la tasa de infiltración inicial ( $f_0$ ) y la posición con respecto al árbol. La infiltración en un primer momento depende de la distancia al tronco y esta relación se mantiene constante al considerar el efecto de las covariables (cov.  $Narbu$ :  $F=4,134$ ,  $\text{sig.}=0,021$ ; cov.  $\%H$ :  $F=4,867$ ,  $\text{sig.}=0,011$ ). Las covariables  $Narbu$  y  $\%H$  tampoco ejercen un efecto significativo en la relación entre la tasa de infiltración final ( $f_c$ ) y la posición con respecto al árbol. Factor y variable dependiente se mantienen sin relación a pesar del efecto de las covariables (cov.  $Narbu$ :  $F=1,106$ ,  $\text{sig.}=0,371$ ; cov.  $\%H$ :  $F=1,302$ ,  $\text{sig.}=0,303$ ). La situación es similar en el caso de la altura total infiltrada  $H$  (cov.  $Narbu$ :  $F=1,091$ ,  $\text{sig.}=0,377$ ; cov.  $\%H$ :  $F=1,563$ ,  $\text{sig.}=0,231$ ).

**Tabla 6: Resultados del ANCOVA por rangos de las variables relacionadas con la infiltración ( $f_0$ ran,  $f_c$ ran y  $H$ ran) clasificadas según los tipos de vegetación. En verde se representan los casos en los que se cumplen los requisitos para realizar la prueba y en rojo los casos en los que no se cumplen. Para todos los casos  $\alpha=0,05$ .  $f_0$ =tasa de infiltración inicial;  $f_c$ =tasa de infiltración final;  $H$ =altura total infiltrada;  $Narbo$ =densidad de árboles;  $Narbu$ =densidad de arbustos;  $\%H$ =humedad edáfica. El sufijo *ran* indica que la variable ha sido transformada en rangos.**

Hipótesis	Variable	ANOVA		ANCOVA								
		F	Sig.	Covariable	Supuesto de paralelismo		Supuesto de linealidad		Supuesto de independencia		ANOVA2	
					F	Sig.	Spearman	Sig.	Chi-cuadrado	Sig.	F	Sig.
Tipo de vegetación	f0 (f0ran)	5,992	0,200	Narburan	2,064	0,140	0,251	0,236	12,072	0,017	-	-
				Narboran	0,534	0,713	0,562	0,004	13,260	0,010	-	-
				%Hran	2,309	0,109	0,171	0,424	6,182	0,186	-	-
	fc (fcran)	6,599	0,159	Narburan	0,940	0,469	0,661	0,000	12,072	0,017	-	-
				Narboran	0,421	0,791	0,421	0,040	13,260	0,010	-	-
				%Hran	2,321	0,108	0,540	0,006	6,182	0,186	1,047	0,411
	H (Hran)	7,526	0,111	Narburan	1,172	0,365	0,613	0,001	12,072	0,017	-	-
				Narboran	0,647	0,638	0,446	0,029	13,260	0,010	-	-
				%Hran	1,501	0,255	0,570	0,004	6,182	0,186	1,234	0,332

**Tabla 7: Resultados del ANCOVA por rangos de las variables relacionadas con la infiltración (en este caso su transformación logarítmica  $-f_{0bis}$ ,  $f_{cbis}$ ,  $H_{bis}$ ) clasificadas según la posición relativa con respecto al árbol. En verde claro se representan los casos en los que se cumplen los requisitos para realizar la prueba; en azul, los casos en los que no se cumplen completamente pero aún así se ha procedido con el análisis; en rojo se representan los casos en los que no se cumplen los supuestos y, por tanto, no se puede realizar la prueba. Para todos los casos  $\alpha=0,05$ .  $f_0$ =tasa de infiltración inicial;  $f_c$ =tasa de infiltración final;  $H$ =altura total infiltrada;  $Narbo$ =densidad de árboles;  $Narbu$ =densidad de arbustos;  $\%H$ =humedad edáfica. El sufijo *bis* indica que la variable ha sido transformada.**

Hipótesis	Variable	ANOVA		ANCOVA								
		F	Sig.	Covariable	Supuesto de paralelismo	de	Supuesto de linealidad	de	Supuesto de independencia	de	ANOVA2	
					F	Sig.	Pearson	Sig.	F	Sig.	F	Sig.
Posición con respecto al árbol	f0bis	4,717	0,012	Narububis	0,657	0,590	0,378	0,069	0,596	0,625	4,134	0,021
				Narbo	0,559	0,650	0,604	0,002	4,930	0,010	-	-
				%H	1,765	0,195	0,345	0,099	0,062	0,979	4,867	0,011
	fcbis	1,021	0,404	Narububis	0,422	0,740	0,692	0,000	0,596	0,625	1,106	0,371
				Narbo	0,038	0,990	0,578	0,003	4,930	0,010	-	-
				%H	0,364	0,780	0,613	0,001	0,062	0,979	1,302	0,303
	Hbis	1,189	0,339	Narububis	0,571	0,642	0,638	0,001	0,596	0,625	1,091	0,377
				Narbo	0,018	0,997	0,580	0,003	4,930	0,010	-	-
				%H	0,248	0,861	0,637	0,001	0,062	0,979	1,563	0,231























---

provisión de alimento para el ganado o de materiales de construcción para cubrir las necesidades de las estancias (especies multifunción). Por último, sería interesante investigar acerca de los métodos y épocas de plantación para asegurar el éxito del proyecto.



---

para aclarar estas discordancias encontradas en las zonas inundables del Chaco Húmedo.

---

## 7. BIBLIOGRAFÍA

Aiello, F., Marino, G.D. 2012. *Manejo del agua superficial: una práctica eficiente para la retención y empleo del agua con fines productivos y conservacionistas en pastizales*. Aves Argentinas Aop y Fundación Vida Silvestre Argentina. Buenos Aires, Argentina

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. 2006. *Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia.

Báez, G.A., Rolón, G.A., Fatecha, D.A. 2014. *Diagnóstico del efecto de las minas de Ysaú (Atta vollenweideri) sobre las propiedades químicas y físicas de un suelo del Chaco Central Paraguayo*. Tesis de Ingeniero Agrónomo. FCA-UNA, Paraguay

Bargués, A., Reese, H., Almaw, A., Bayala, J., Malmer, A., Laudon, H., Ilstedt, U. 2014. The effect of trees on preferential flow and soil infiltrability in an agroforestry parkland in semiarid Burkina Faso. *Water Resources Research*, 50 (4): 3342-3354

Belsky, A.J., Mwonga, S.M., Amundson, R.G., Duxburg, J.M., Alí, A.R. 1993. Comparative effects of isolated trees on their undercanopy environments in high- and low-rainfall savannas. *Journal of Applied Ecology*, 30: 143-55

Benegas, L., Ilstedt, U., Roupsardc, O., Jones, J., Malmer, A. 2014. Effects of trees on infiltrability and preferential flow in two contrasting agroecosystems in Central America Agriculture. *Ecosystems and Environment*, 183: 185-196

Cerdà, A. 1995. *Factores y variaciones espacio-temporales de la infiltración en los ecosistemas mediterráneos. Monografías científicas nº 5*. Geoforma ediciones. Logroño, España.

Cerdà, A. 1997. Seasonal changes of the infiltration rates in a Mediterranean scrubland on limestone. *Journal of Hydrology*, 198: 209-225

Dorransoro. 2014. *Unidades de suelo. Descripción del nombre de unidades*. [Fecha de consulta: 05.05.2015] Disponible en: <http://edafologia.ugr.es/cartotema02/subunwrb.html>



















**Tabla 9: Pruebas de Shapiro-Wilks y Levene para la determinación de los supuestos de normalidad y homocedasticidad de las variables según los distintos tratamientos. En verde se representan las variables que cumplen los requisitos, en azul los casos en los que no se cumplen todos los requisitos pero podrían usarse en pruebas estadísticas paramétricas y, en rojo, los casos en los que deben usarse pruebas no paramétricas.  $f\theta$ =tasa de infiltración inicial;  $fc$ =tasa de infiltración final;  $H$ =altura total infiltrada;  $\%hm$ =recubrimiento de herbáceas y musgos;  $\%rv$ =recubrimiento de restos vegetales;  $\%sd$ =recubrimiento de suelo desnudo;  $Ncop$ =número de copas superpuestas sobre el infiltrómetro;  $Narbo$ =densidad de árboles;  $Narbu$ =densidad de arbustos;  $Naa$ =densidad de árboles y arbustos;  $\%ar$ =arena;  $\%li$ =limo;  $\%ac$ =arcilla;  $\%H$ =humedad edáfica;  $te$ =tasa de evaporación**

Tratamiento	Variable	¿Normalidad?	¿Homoce-dasticidad?	Transformación (“ <i>Varbis</i> ”)	¿Normalidad?	¿Homoce-dasticidad?	Comparación de medias	Otros
<b>Tipo de vegetación:</b> - Quebrachal (qu) - Bosque subtropical (bs) - Pasto bajo (pb) - Pajonal (pj) - Transición (tr)	$f\theta$	No (bs y tr)	-	Log ( $f\theta + 1$ )	No (tr)	Si	ANOVA	ANCOVA por rangos
	$fc$	No (qu, bs y pb)	-	Log ( $fc + 1$ )	No (pb)	No	Kruskal-Wallis	
	$H$	No (qu, bs y tr)	-	Log ( $H + 1$ )	Si	No	Kruskal-Wallis	
	$\%hm$	No (qu, pb y pj)	-	Arcsen (SQRT( $\%hm/100$ ))	No (pb y pj)	No	Kruskal-Wallis	
	$\%rv$	No (qu y bs)	Si	Arcsen (SQRT( $\%rv/100$ ))	No (qu)	Si	ANOVA	
	$\%sd$	No (qu, bs, pb, pj y tr)	-	Arcsen (SQRT( $\%sd/100$ ))	No (qu, bs, pb y pj)	Si	Kruskal-Wallis	
	$Ncop$	No (bs)	Si	Log ( $Ncop + 1$ )	No (bs)	Si	ANOVA	
	$Narbo$	No (qu y pj)	-	Log ( $Narbo + 1$ )	No (pj)	-	Kruskal-Wallis	
	$Narbu$	No (qu)	-	Log ( $Narbu + 1$ )	No (qu)	-	Kruskal-Wallis	
	$Naa$	Si	-	-	-	-	Kruskal-Wallis	
	$\%ar$	No (bs, pb y tr)	-	Arcsen (SQRT( $\%ar/100$ ))	No (bs y pb)	-	Kruskal-Wallis	
	$\%li$	No (bs)	-	Arcsen (SQRT( $\%li/100$ ))	No (bs)	-	Kruskal-Wallis	
	$\%ac$	No (pj y tr)	-	Arcsen (SQRT( $\%ac/100$ ))	No (pj y tr)	-	Kruskal-Wallis	
	$\%H$	Si	-	-	-	-	Kruskal-Wallis	

Tratamiento	Variable	¿Normalidad?	¿Homoce- dasticidad?	Transformación ("Varbis")	¿Normalidad?	¿Homoce- dasticidad?	Comparación de medias	Otros
<b>Tipo de vegetación:</b> - Quebrachal (qu) - Bosque subtropical (bs) - Pasto bajo (pb) - Pajonal (pj) - Transición quebrachal-pasto (trq) - Transición bosque sub.- pasto (trb)	te	No (qu y bs)	No	Log (te + 1)	No (qu y bs)	No	Kruskal-Wallis	
<b>Posición con respecto al árbol:</b> - Copa-bosque (cb) - Tronco (tr) - Copa-pasto (cp) - Fuera (fu)	f0	No (tr, cp y fu)	Si	Log (f0 + 1)	No (cp)	Si	ANOVA	ANCOVA
	fc	No (cb, tr, cp)	No	Log (fc + 1)	Si	Si	ANOVA	
	H	No (cb, tr, cp)	Si	Log (H + 1)	Si	Si	ANOVA	
	%hm	No (tr)	No	Arcsen (SQRT(%hm/100))	No (tr)	No	Kruskal-Wallis	
	%rv	No (cb y tr)	Si	Arcsen (SQRT(%rv/100))	No (tr)	Si	ANOVA	
	%sd	No (cb, tr y cp)	Si	Arcsen (SQRT(%sd/100))	No (cb y tr)	Si	Kruskal-Wallis	
	Ncop	Si	Si	-	-	-	ANOVA	
	Narbo	Si	No	Log (Narbo + 1)	Si	No	Kruskal-Wallis	
	Narbu	No (cb)	Si	Log (Narbu + 1)	Si	Si	ANOVA	
	Naa	Si	Si	-	-	-	ANOVA	
	%ar	No (cp)	Si	Arcsen (SQRT(%ar/100))	Si	Si	ANOVA	
	%li	No (tr)	Si	Arcsen (SQRT(%li/100))	No (tr)	Si	ANOVA	
	%ac	No (cp y fu)	Si	Arcsen (SQRT(%ac/100))	No (cp y fu)	Si	Kruskal-Wallis	
%H	Si	Si	-	-	-	ANOVA		



Tratamiento	Variable	¿Normalidad?	¿Homoce- dasticidad?	Transformación ("Varbis")	¿Normalidad?	¿Homoce- dasticidad?	Comparación de medias	Otros
Sin tratamiento	f0	No	-	-	-	-	-	Correlación por rangos de Spearman
	fc	No	-	-	-	-		
	H	No	-	-	-	-		
	%hm	No	-	-	-	-		
	%rv	No	-	-	-	-		
	%sd	No	-	-	-	-		
	Ncop	No	-	-	-	-		
	Narbo	No	-	-	-	-		
	Narbu	No	-	-	-	-		
	Naa	No	-	-	-	-		
	%ar	Si	-	-	-	-		
	%li	No	-	-	-	-		
	%ac	No	-	-	-	-		
	%H	No	-	-	-	-		



## ANEXO 3: TABLAS DE RESULTADOS

**Tabla 10: Características generales de los puntos donde se analizó la infiltración (Parte 1)**

Punto	Q1.1	Q1.2	Q1.3	Q1.4	Q2.1	Q2.2	Q2.3	Q2.4	Q3.1	Q3.2	Q3.3	Q3.4
<b>Vegetación</b>	Quebrachal	Quebrachal	Transición	Pasto bajo	Quebrachal	Quebrachal	Transición	Pajonal	Quebrachal	Quebrachal	Transición	Pasto bajo
<b>Posición respecto al árbol</b>	Copa-bosque	Tronco	Copa-pasto	Fuera	Copa-bosque	Tronco	Copa-pasto	Fuera	Copa-bosque	Tronco	Copa-pasto	Fuera
<b>Fecha de análisis</b>	27.04.15	27.04.15	27.04.15	27.04.15	28.04.15	28.04.15	28.04.15	28.04.15	30.04.15	30.04.15	30.04.15	30.04.15
<b>Coord. X</b>	463165	463158	463149	463154	463136	463143	463138	463136	458869	458872	458874	458865
<b>Coord. Y</b>	7239115	7239104	7239096	7239089	7239117	7239111	7239114	7239110	7240035	7240035	7240034	7240032
<b>Error (m)</b>	22	10	10	10	18	10	8	9	7	8	8	17
<b>Orient. pasto-bosque</b>	Sur	Sur	Sur	Sur	Sur	Sur	Sur	Sur	Noreste	Noreste	Noreste	Noreste

**Tabla 11: Características generales de los puntos donde se analizó la infiltración (Parte 2)**

Punto	S1.1	S1.2	S1.3	S1.4	S2.1	S2.2	S2.3	S2.4	S3.1	S3.2	S3.3	S3.4
<b>Vegetación</b>	Bosque subtropical	Bosque subtropical	Transición	Pajonal	Bosque subtropical	Bosque subtropical	Transición	Pasto bajo	Bosque subtropical	Bosque subtropical	Transición	Pajonal
<b>Posición respecto al árbol</b>	Copa-bosque	Tronco	Copa-pasto	Fuera	Copa-bosque	Tronco	Copa-pasto	Fuera	Copa-bosque	Tronco	Copa-pasto	Fuera
<b>Fecha de análisis</b>	01.05.15	01.05.15	01.05.15	01.05.15	02.05.15	02.05.15	02.05.15	02.05.15	06.05.15	06.05.15	06.05.15	06.05.15
<b>Coord. X</b>	463082	463081	463082	463083	463074	463073	463072	463071	463441	463441	463443	463440
<b>Coord. Y</b>	7239107	7239104	7239100	7239097	7239111	7239106	7239106	7239104	7238560	7238561	7238562	7238563
<b>Error (m)</b>	13	14	9	9	12	10	11	11	9	9	9	9
<b>Orient. pasto-bosque</b>	Sur	Sur	Sur	Sur	Sur	Sur	Sur	Sur	Noroeste	Noroeste	Noroeste	Noroeste





**Tabla 12: Altura de agua infiltrada en cada intervalo del ensayo (Parte 1). Todos los datos están en mm**

Punto	Q1.1	Q1.2	Q1.3	Q1.4	Q2.1	Q2.2	Q2.3	Q2.4	Q3.1	Q3.2	Q3.3	Q3.4
2 min	4	5	1	1	10	4	5	9	1	21	8	2
4 min	2	2	1	0	8	0,5	3	7	0,5	8	3	0
6 min	2	1	0	0	7	1	2	5	0	6	0	0
8 min	2	1	0	0	7	0,5	1	5	0	4	1	0
10 min	1	1	1	0	6	0	3	4	0,5	3	0	0,5
15 min	5	4	1	0,1	19	1	7	14	0	6	0,5	0
20 min	5	4	0	0	19	1	5	12	0	3	0	0
30 min	8	6	1	0	39	1	13	24	0,5	6	1	0
40 min	6	5	2	0,1	39	1	12	24	0	3	0	0
50 min	5	4	0	0	42	1	8	24	0,5	2	1	0,5
1 h	4	3	2	0	39	0,5	10	23	0	1	0	0,5
1 h 30 min	13	16	3	0,2	102	4	32	67	1	11	0,5	0
2 h	13	21	4	0	97	2	33	66	0	5	1	1
2 h 30 min	12	24	3	0,1	78	3	25	52	1	3	0	1
3 h	10	22	2	0	67	2	20	39	0,5	6	0,5	1
3 h 30 min	9	19	3	0,2	69	2	14	33	0,5	4	0	0,5
4 h	7	18	2	0	67	3	13	30	0	2	0	1

**Tabla 13: Altura de agua infiltrada en cada intervalo del ensayo (Parte 2). Todos los datos están en mm**

Punto	S1.1	S1.2	S1.3	S1.4	S2.1	S2.2	S2.3	S2.4	S3.1	S3.2	S3.3	S3.4
2 min	2	38	0,5	2	0,5	4	0,5	0,5	7	85	0,5	1
4 min	0	24	0	0,5	0,5	0	0	0	6	82	0	2
6 min	0,5	21	0,5	0	0	0	0	0	4	84	1	2
8 min	0	18	0	1	0	0,5	0,5	0	5	83	0,5	2
10 min	0	18	0,5	0,5	0	0	0	0,5	5	84	0	1
15 min	0	44	0	2	0,5	0,5	0	0	18	179	2	4
20 min	0,5	43	0	2	0	0,5	0	0	16	170	2	5
30 min	0	73	0,5	7	0	2	0,5	0	39	248	6	14
40 min	0,5	67	0	6	0	0,5	0	0	33	248	3	10
50 min	0	62	1	5	0	1	0	0,5	35	213	4	14
1 h	0	62	0	6	0,5	0,5	0,5	0	35	195	5	10



Punto	S1.1	S1.2	S1.3	S1.4	S2.1	S2.2	S2.3	S2.4	S3.1	S3.2	S3.3	S3.4
<b>1 h 30 min</b>	1	155	1	18	0	5	0	0	104	460	12	36
<b>2 h</b>	0,5	145	0,5	16	0,5	4	0,5	1	103	388	12	33
<b>2 h 30 min</b>	0,5	140	0	16	0	4	0	0	103	393	15	31
<b>3 h</b>	0	143	0,5	13	0	4	0	0,5	-	219	17	-
<b>3 h 17 min</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	171	11	-
<b>3 h 30 min</b>	0,5	144	0,5	16	0	5	0,5	0,5	189	133	7	53
<b>4 h</b>	0	132	0,5	14	0	4	0	0	111	223	19	21

**Tabla 14: Altura de agua infiltrada acumulada (Parte 1). Todos los datos están en mm**

Punto	Q1.1	Q1.2	Q1.3	Q1.4	Q2.1	Q2.2	Q2.3	Q2.4	Q3.1	Q3.2	Q3.3	Q3.4
<b>2 min</b>	4,0	5,0	1,0	1,0	10,0	4,0	5,0	9,0	1,0	21,0	8,0	2,0
<b>4 min</b>	6,0	7,0	2,0	1,0	18,0	4,5	8,0	16,0	1,5	29,0	11,0	2,0
<b>6 min</b>	8,0	8,0	2,0	1,0	25,0	5,5	10,0	21,0	1,5	35,0	11,0	2,0
<b>8 min</b>	10,0	9,0	2,0	1,0	32,0	6,0	11,0	26,0	1,5	39,0	12,0	2,0
<b>10 min</b>	11,0	10,0	3,0	1,0	38,0	6,0	14,0	30,0	2,0	42,0	12,0	2,5
<b>15 min</b>	16,0	14,0	4,0	1,1	57,0	7,0	21,0	44,0	2,0	48,0	12,5	2,5
<b>20 min</b>	21,0	18,0	4,0	1,1	76,0	8,0	26,0	56,0	2,0	51,0	12,5	2,5
<b>30 min</b>	29,0	24,0	5,0	1,1	115,0	9,0	39,0	80,0	2,5	57,0	13,5	2,5
<b>40 min</b>	35,0	29,0	7,0	1,2	154,0	10,0	51,0	104,0	2,5	60,0	13,5	2,5
<b>50 min</b>	40,0	33,0	7,0	1,2	196,0	11,0	59,0	128,0	3,0	62,0	14,5	3,0
<b>1 h</b>	44,0	36,0	9,0	1,2	235,0	11,5	69,0	151,0	3,0	63,0	14,5	3,5
<b>1 h 30 min</b>	57,0	52,0	12,0	1,4	337,0	15,5	101,0	218,0	4,0	74,0	15,0	3,5
<b>2 h</b>	70,0	73,0	16,0	1,4	434,0	17,5	134,0	284,0	4,0	79,0	16,0	4,5
<b>2 h 30 min</b>	82,0	97,0	19,0	1,5	512,0	20,5	159,0	336,0	5,0	82,0	16,0	5,5
<b>3 h</b>	92,0	119,0	21,0	1,5	579,0	22,5	179,0	375,0	5,5	88,0	16,5	6,5
<b>3 h 30 min</b>	101,0	138,0	24,0	1,7	648,0	24,5	193,0	408,0	6,0	92,0	16,5	7,0
<b>4 h</b>	108,0	156,0	26,0	1,7	715,0	27,5	206,0	438,0	6,0	94,0	16,5	8,0



**Tabla 15: Altura de agua infiltrada acumulada (Parte 2). Todos los datos están en mm**

Punto	S1.1	S1.2	S1.3	S1.4	S2.1	S2.2	S2.3	S2.4	S3.1	S3.2	S3.3	S3.4
2 min	2,0	38,0	0,5	2,0	0,5	4,0	0,5	0,5	7,0	85,0	0,5	1,0
4 min	2,0	62,0	0,5	2,5	1,0	4,0	0,5	0,5	13,0	167,0	0,5	3,0
6 min	2,5	83,0	1,0	2,5	1,0	4,0	0,5	0,5	17,0	251,0	1,5	5,0
8 min	2,5	101,0	1,0	3,5	1,0	4,5	1,0	0,5	22,0	334,0	2,0	7,0
10 min	2,5	119,0	1,5	4,0	1,0	4,5	1,0	1,0	27,0	418,0	2,0	8,0
15 min	2,5	163,0	1,5	6,0	1,5	5,0	1,0	1,0	45,0	597,0	4,0	12,0
20 min	3,0	206,0	1,5	8,0	1,5	5,5	1,0	1,0	61,0	767,0	6,0	17,0
30 min	3,0	279,0	2,0	15,0	1,5	7,5	1,5	1,0	100,0	1015,0	12,0	31,0
40 min	3,5	346,0	2,0	21,0	1,5	8,0	1,5	1,0	133,0	1263,0	15,0	41,0
50 min	3,5	408,0	3,0	26,0	1,5	9,0	1,5	1,5	168,0	1476,0	19,0	55,0
1 h	3,5	470,0	3,0	32,0	2,0	9,5	2,0	1,5	203,0	1671,0	24,0	65,0
1 h 30 min	4,5	625,0	4,0	50,0	2,0	14,5	2,0	1,5	307,0	2131,0	36,0	101,0
2 h	5,0	770,0	4,5	66,0	2,5	18,5	2,5	2,5	410,0	2519,0	48,0	134,0
2 h 30 min	5,5	910,0	4,5	82,0	2,5	22,5	2,5	2,5	513,0	2912,0	63,0	165,0
3 h	5,5	1053,0	5,0	95,0	2,5	26,5	2,5	3,0	-	3131,0	80,0	-
3 h 17 min	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3302,0	91,0	-
3 h 30 min	6,0	1197,0	5,5	111,0	2,5	31,5	3,0	3,5	702,0	3435,0	98,0	218,0
4 h	6,0	1329,0	6,0	125,0	2,5	35,5	3,0	3,5	813,0	3658,0	117,0	239,0

**Tabla 16: Velocidad de infiltración en cada intervalo (Parte 1). Todos los datos están en mm·h<sup>-1</sup>**

Punto	Q1.1	Q1.2	Q1.3	Q1.4	Q2.1	Q2.2	Q2.3	Q2.4	Q3.1	Q3.2	Q3.3	Q3.4
2 min	120,0	150,0	30,0	30,0	300,0	120,0	150,0	270,0	30,0	630,0	240,0	60,0
4 min	60,0	60,0	30,0	0,0	240,0	15,0	90,0	210,0	15,0	240,0	90,0	0,0
6 min	60,0	30,0	0,0	0,0	210,0	30,0	60,0	150,0	0,0	180,0	0,0	0,0
8 min	60,0	30,0	0,0	0,0	210,0	15,0	30,0	150,0	0,0	120,0	30,0	0,0
10 min	30,0	30,0	30,0	0,0	180,0	0,0	90,0	120,0	15,0	90,0	0,0	15,0
15 min	60,0	48,0	12,0	1,2	228,0	12,0	84,0	168,0	0,0	72,0	6,0	0,0
20 min	60,0	48,0	0,0	0,0	228,0	12,0	60,0	144,0	0,0	36,0	0,0	0,0
30 min	48,0	36,0	6,0	0,0	234,0	6,0	78,0	144,0	3,0	36,0	6,0	0,0
40 min	36,0	30,0	12,0	0,6	234,0	6,0	72,0	144,0	0,0	18,0	0,0	0,0
50 min	30,0	24,0	0,0	0,0	252,0	6,0	48,0	144,0	3,0	12,0	6,0	3,0



Punto	Q1.1	Q1.2	Q1.3	Q1.4	Q2.1	Q2.2	Q2.3	Q2.4	Q3.1	Q3.2	Q3.3	Q3.4
<b>1 h</b>	24,0	18,0	12,0	0,0	234,0	3,0	60,0	138,0	0,0	6,0	0,0	3,0
<b>1 h 30 min</b>	26,0	32,0	6,0	0,4	204,0	8,0	64,0	134,0	2,0	22,0	1,0	0,0
<b>2 h</b>	26,0	42,0	8,0	0,0	194,0	4,0	66,0	132,0	0,0	10,0	2,0	2,0
<b>2 h 30 min</b>	24,0	48,0	6,0	0,2	156,0	6,0	50,0	104,0	2,0	6,0	0,0	2,0
<b>3 h</b>	20,0	44,0	4,0	0,0	134,0	4,0	40,0	78,0	1,0	12,0	1,0	2,0
<b>3 h 30 min</b>	18,0	38,0	6,0	0,4	138,0	4,0	28,0	66,0	1,0	8,0	0,0	1,0
<b>4 h</b>	14,0	36,0	4,0	0,0	134,0	6,0	26,0	60,0	0,0	4,0	0,0	2,0

**Tabla 17: Velocidad de infiltración en cada intervalo (Parte 2). Todos los datos están en mm·h<sup>-1</sup>**

Punto	S1.1	S1.2	S1.3	S1.4	S2.1	S2.2	S2.3	S2.4	S3.1	S3.2	S3.3	S3.4
<b>2 min</b>	60,0	1140,0	15,0	60,0	15,0	120,0	15,0	15,0	210,0	2550,0	15,0	30,0
<b>4 min</b>	0,0	720,0	0,0	15,0	15,0	0,0	0,0	0,0	180,0	2460,0	0,0	60,0
<b>6 min</b>	15,0	630,0	15,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	120,0	2520,0	30,0	60,0
<b>8 min</b>	0,0	540,0	0,0	30,0	0,0	15,0	15,0	0,0	150,0	2490,0	15,0	60,0
<b>10 min</b>	0,0	540,0	15,0	15,0	0,0	0,0	0,0	15,0	150,0	2520,0	0,0	30,0
<b>15 min</b>	0,0	528,0	0,0	24,0	6,0	6,0	0,0	0,0	216,0	2148,0	24,0	48,0
<b>20 min</b>	6,0	516,0	0,0	24,0	0,0	6,0	0,0	0,0	192,0	2040,0	24,0	60,0
<b>30 min</b>	0,0	438,0	3,0	42,0	0,0	12,0	3,0	0,0	234,0	1488,0	36,0	84,0
<b>40 min</b>	3,0	402,0	0,0	36,0	0,0	3,0	0,0	0,0	198,0	1488,0	18,0	60,0
<b>50 min</b>	0,0	372,0	6,0	30,0	0,0	6,0	0,0	3,0	210,0	1278,0	24,0	84,0
<b>1 h</b>	0,0	372,0	0,0	36,0	3,0	3,0	3,0	0,0	210,0	1170,0	30,0	60,0
<b>1 h 30 min</b>	2,0	310,0	2,0	36,0	0,0	10,0	0,0	0,0	208,0	920,0	24,0	72,0
<b>2 h</b>	1,0	290,0	1,0	32,0	1,0	8,0	1,0	2,0	206,0	776,0	24,0	66,0
<b>2 h 30 min</b>	1,0	280,0	0,0	32,0	0,0	8,0	0,0	0,0	206,0	786,0	30,0	62,0
<b>3 h</b>	0,0	286,0	1,0	26,0	0,0	8,0	0,0	1,0	-	438,0	34,0	-
<b>3 h 17 min</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	610,7	39,3	-
<b>3 h 30 min</b>	1,0	288,0	1,0	32,0	0,0	10,0	1,0	1,0	189,0	604,5	31,8	53,0
<b>4 h</b>	0,0	264,0	1,0	28,0	0,0	8,0	0,0	0,0	222,0	446,0	38,0	42,0



**Tabla 18: Velocidad de infiltración desde el comienzo (Parte 1). Todos los datos están en mm·h<sup>-1</sup>**

Punto	Q1.1	Q1.2	Q1.3	Q1.4	Q2.1	Q2.2	Q2.3	Q2.4	Q3.1	Q3.2	Q3.3	Q3.4
<b>2 min</b>	120,0	150,0	30,0	30,0	300,0	120,0	150,0	270,0	30,0	630,0	240,0	60,0
<b>4 min</b>	90,0	105,0	30,0	15,0	270,0	67,5	120,0	240,0	22,5	435,0	165,0	30,0
<b>6 min</b>	80,0	80,0	20,0	10,0	250,0	55,0	100,0	210,0	15,0	350,0	110,0	20,0
<b>8 min</b>	75,0	67,5	15,0	7,5	240,0	45,0	82,5	195,0	11,3	292,5	90,0	15,0
<b>10 min</b>	66,0	60,0	18,0	6,0	228,0	36,0	84,0	180,0	12,0	252,0	72,0	15,0
<b>15 min</b>	64,0	56,0	16,0	4,4	228,0	28,0	84,0	176,0	8,0	192,0	50,0	10,0
<b>20 min</b>	63,0	54,0	12,0	3,3	228,0	24,0	78,0	168,0	6,0	153,0	37,5	7,5
<b>30 min</b>	58,0	48,0	10,0	2,2	230,0	18,0	78,0	160,0	5,0	114,0	27,0	5,0
<b>40 min</b>	52,5	43,5	10,5	1,8	231,0	15,0	76,5	156,0	3,8	90,0	20,3	3,8
<b>50 min</b>	48,0	39,6	8,4	1,4	235,2	13,2	70,8	153,6	3,6	74,4	17,4	3,6
<b>1 h</b>	44,0	36,0	9,0	1,2	235,0	11,5	69,0	151,0	3,0	63,0	14,5	3,5
<b>1 h 30 min</b>	38,0	34,7	8,0	0,9	224,7	10,3	67,3	145,3	2,7	49,3	10,0	2,3
<b>2 h</b>	35,0	36,5	8,0	0,7	217,0	8,8	67,0	142,0	2,0	39,5	8,0	2,3
<b>2 h 30 min</b>	32,8	38,8	7,6	0,6	204,8	8,2	63,6	134,4	2,0	32,8	6,4	2,2
<b>3 h</b>	30,7	39,7	7,0	0,5	193,0	7,5	59,7	125,0	1,8	29,3	5,5	2,2
<b>3 h 30 min</b>	28,9	39,4	6,9	0,5	185,1	7,0	55,1	116,6	1,7	26,3	4,7	2,0
<b>4 h</b>	27,0	39,0	6,5	0,4	178,8	6,9	51,5	109,5	1,5	23,5	4,1	2,0

**Tabla 19: Velocidad de infiltración desde el comienzo (Parte 2). Todos los datos están en mm·h<sup>-1</sup>**

Punto	S1.1	S1.2	S1.3	S1.4	S2.1	S2.2	S2.3	S2.4	S3.1	S3.2	S3.3	S3.4
<b>2 min</b>	60,0	1140,0	15,0	60,0	15,0	120,0	15,0	15,0	210,0	2550,0	15,0	30,0
<b>4 min</b>	30,0	930,0	7,5	37,5	15,0	60,0	7,5	7,5	195,0	2505,0	7,5	45,0
<b>6 min</b>	25,0	830,0	10,0	25,0	10,0	40,0	5,0	5,0	170,0	2510,0	15,0	50,0
<b>8 min</b>	18,8	757,5	7,5	26,3	7,5	33,8	7,5	3,8	165,0	2505,0	15,0	52,5
<b>10 min</b>	15,0	714,0	9,0	24,0	6,0	27,0	6,0	6,0	162,0	2508,0	12,0	48,0
<b>15 min</b>	10,0	652,0	6,0	24,0	6,0	20,0	4,0	4,0	180,0	2388,0	16,0	48,0
<b>20 min</b>	9,0	618,0	4,5	24,0	4,5	16,5	3,0	3,0	183,0	2301,0	18,0	51,0
<b>30 min</b>	6,0	558,0	4,0	30,0	3,0	15,0	3,0	2,0	200,0	2030,0	24,0	62,0
<b>40 min</b>	5,3	519,0	3,0	31,5	2,3	12,0	2,3	1,5	199,5	1894,5	22,5	61,5
<b>50 min</b>	4,2	489,6	3,6	31,2	1,8	10,8	1,8	1,8	201,6	1771,2	22,8	66,0
<b>1 h</b>	3,5	470,0	3,0	32,0	2,0	9,5	2,0	1,5	203,0	1671,0	24,0	65,0

Punto	S1.1	S1.2	S1.3	S1.4	S2.1	S2.2	S2.3	S2.4	S3.1	S3.2	S3.3	S3.4
1 h 30 min	3,0	416,7	2,7	33,3	1,3	9,7	1,3	1,0	204,7	1420,7	24,0	67,3
2 h	2,5	385,0	2,3	33,0	1,3	9,3	1,3	1,3	205,0	1259,5	24,0	67,0
2 h 30 min	2,2	364,0	1,8	32,8	1,0	9,0	1,0	1,0	205,2	1164,8	25,2	66,0
3 h	1,8	351,0	1,7	31,7	0,8	8,8	0,8	1,0	-	1043,7	26,7	-
3 h 17 min	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1006,7	27,7	-
3 h 30 min	1,7	342,0	1,6	31,7	0,7	9,0	0,9	1,0	200,6	981,4	28,0	62,3
4 h	1,5	332,3	1,5	31,3	0,6	8,9	0,8	0,9	203,3	914,5	29,3	59,8

Tabla 20: Composición del recubrimiento del suelo, variables de la vegetación y características del suelo en cada punto donde se analizó la infiltración (Parte 1)

Punto	Q1.1	Q1.2	Q1.3	Q1.4	Q2.1	Q2.2	Q2.3	Q2.4	Q3.1	Q3.2	Q3.3	Q3.4
<b>Recubrimiento superficial</b>												
% herbáceas	45	0	100	100	0	0	10	50	5	10	10	60
% hojarasca	5	100	0	0	100	100	10	0	95	90	50	0
% suelo desnudo	50	0	0	0	0	0	80	50	0	0	40	40
% musgos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
% otros	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Vegetación</b>												
Radio de análisis (m)	6	6	6	6	3,5	3,5	3,5	3,5	3	3	3	3
Número de copas superpuestas sobre el infiltrómetro	6	3	0	0	5	1	0	0	2	2	2	0
Número de árboles	26	25	11	6	25	9	2	4	4	2	5	1
Árboles·m <sup>-2</sup>	0,23	0,22	0,10	0,05	0,65	0,23	0,05	0,10	0,14	0,07	0,18	0,04
Número de arbustos	27	17	25	12	23	23	21	23	3	3	3	1
Arbustos·m <sup>-2</sup>	0,24	0,15	0,22	0,11	0,60	0,60	0,55	0,60	0,11	0,11	0,11	0,04
Árboles+arbustos·m <sup>-2</sup>	0,47	0,37	0,32	0,16	1,25	0,83	0,60	0,70	0,25	0,18	0,28	0,07
<b>Suelo</b>												
% arena	60	62	57	59	55	59	55	51	50	52	55	51
% limo	18	15	11	12	16	12	16	16	14	12	16	16
% arcilla	22	23	32	29	29	29	29	33	36	36	29	33
% humedad	20	19	21	14	17	15	20	20	22	24	17	15



**Tabla 21: Composición del recubrimiento del suelo, variables de la vegetación y características del suelo en cada punto donde se analizó la infiltración (Parte 2)**

Punto	S1.1	S1.2	S1.3	S1.4	S2.1	S2.2	S2.3	S2.4	S3.1	S3.2	S3.3	S3.4
<b>Recubrimiento superficial</b>												
% herbáceas	0	5	90	50	10	0	75	80	20	0	20	90
% hojarasca	100	95	0	0	90	100	25	0	20	40	0	0
% suelo desnudo	0	0	10	50	0	0	0	0	60	60	0	10
% musgos	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0
% otros	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	80	0
<b>Vegetación</b>												
Radio de análisis (m)	3	3	3	3	4	4	4	4	1,25	1,25	1,25	1,25
Número de copas superpuestas sobre el infiltrómetro	3	3	1	0	3	2	1	0	3	2	1	0
Número de árboles	10	16	1	0	5	4	3	0	2	2	1	0
Árboles-m <sup>-2</sup>	0,35	0,57	0,04	0,00	0,10	0,08	0,06	0,00	0,41	0,41	0,20	0,00
Número de arbustos	18	21	12	16	20	30	15	17	10	7	3	3
Arbustos-m <sup>-2</sup>	0,64	0,74	0,42	0,57	0,40	0,60	0,30	0,34	2,04	1,43	0,61	0,61
Árboles+arbustos-m <sup>-2</sup>	0,99	1,31	0,46	0,57	0,50	0,68	0,36	0,34	2,44	1,83	0,81	0,61
<b>Suelo</b>												
% arena	55	59	59	59	55	55	55	59	67	58	63	63
% limo	12	12	8	12	20	16	28	20	12	12	4	4
% arcilla	33	29	33	29	25	29	17	21	21	29	33	33
% humedad	18	21	23	26	15	12	17	17	33	39	27	28

**Tabla 22: Evaporación (Parte 1)**

Ensayo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>Vegetación</b>	Límite Quebrachal	Límite Quebrachal	Quebrachal	Quebrachal	Pasto bajo	Pasto bajo	Límite Quebrachal	Límite Quebrachal	Quebrachal	Quebrachal	Pasto bajo	Pasto bajo
<b>Fecha</b>	28.04.15	28.04.15	28.04.15	28.04.15	28.04.15	28.04.15	01.05.15	01.05.15	01.05.15	01.05.15	01.05.15	01.05.15
<b>Coord. X</b>	463240	463236	463232	463221	463201	463196	463286	463300	463262	463263	463191	463167
<b>Coord. Y</b>	7239115	7239104	7239116	7239124	7239079	7239081	7239031	7239030	7239103	7239097	7239070	7239089
<b>Error (m)</b>	8	11	8	7	7	7	10	8	8	9	6	7
<b>Orientación</b>	Sur	Sur	-	-	-	-	Sur	Sur	-	-	-	-



Ensayo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
V inicial (ml)	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
V final (ml)	490	492	492	495	457	475	460	470	495	492	460	443
V evap (ml)	10	8	8	5	43	25	40	30	5	8	40	57
t inicial	9:05	9:07	9:11	9:13	9:18	9:20	9:00	9:02	9:10	9:11	9:14	9:16
t final	14:14	14:15	14:19	14:20	14:25	14:27	14:12	14:14	14:19	14:20	14:23	14:25
t evap (h)	5,2	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2
Tasa de evaporación (ml·h <sup>-1</sup> )	1,9417	1,5584	1,5584	0,9772	8,4039	4,8860	7,6923	5,7692	0,9709	1,5534	7,7670	11,0680
Tasa de evaporación (mm·h <sup>-1</sup> )	0,0019	0,0016	0,0016	0,0010	0,0084	0,0049	0,0077	0,0058	0,0010	0,0016	0,0078	0,0111

**Tabla 23: Evaporación (Parte 2)**

Ensayo	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
<b>Vegetación</b>	Pajonal	Pajonal	Pajonal	Pajonal	Subtropical	Límite Subtropical	Límite Subtropical	Límite Subtropical	Límite Subtropical	Subtropical	Subtropical	Subtropical
<b>Fecha</b>	01.05.15	01.05.15	01.05.15	01.05.15	06.05.15	06.05.15	06.05.15	06.05.15	06.05.15	06.05.15	06.05.15	06.05.15
<b>Coord. X</b>	463053	463052	463054	463052	463549	463567	463562	463560	463556	463544	463547	463547
<b>Coord. Y</b>	7239052	7239056	7239057	7239055	7238568	7238560	7238569	7238577	7238578	7238584	7238578	7238574
<b>Error (m)</b>	7	7	7	7	10	13	10	9	9	11	9	8
<b>Orientación</b>						Este	Norte	Norte	Norte			
<b>V inicial (ml)</b>	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
<b>V final (ml)</b>	495	482	492	485	492	490	485	488	490	492	495	495
<b>V evap (ml)</b>	5	18	8	15	8	10	15	12	10	8	5	5
<b>t inicial</b>	9:44	9:46	9:48	9:50	9:43	9:47	9:30	9:32	9:34	9:37	9:39	9:41
<b>t final</b>	14:44	14:45	14:46	14:46	14:40	14:45	14:29	14:31	14:32	14:35	14:37	14:43
<b>t evap (h)</b>	5,0	5,0	5,0	4,9	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
<b>Tasa de evaporación (ml·h<sup>-1</sup>)</b>	1,0000	3,6120	1,6107	3,0405	1,6162	2,0134	3,0100	2,4080	2,0134	1,6107	1,0067	0,9934
<b>Tasa de evaporación (mm·h<sup>-1</sup>)</b>	0,0010	0,0036	0,0016	0,0030	0,0016	0,0020	0,0030	0,0024	0,0020	0,0016	0,0010	0,0010





