



Universidad de Valladolid
Campus de Palencia

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍAS AGRARIAS**

Máster en Ingeniería de Montes

Estudio comparativo de infiltración entre parcelas de bosque mixto urbano y de ribera en la ciudad de Liubliana (Eslovenia).

Alumno: Jaime Martínez Varela

Tutor: Joaquín Navarro Hevia
Directora: Urša Vilhar

Diciembre de 2015

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| 1. RESUMEN..... | 1 |
| 2. INTRODUCCIÓN..... | 3 |
| 2.1. Justificación del proyecto | 3 |
| 2.2. Antecedentes en el área de estudio | 4 |
| 2.2.1. El proyecto EMoNFUr | 4 |
| 2.2.2. Objetivos del proyecto EMoNFUr | 5 |
| 2.3. Los bosques urbanos | 5 |
| 2.4. El conocimiento de la infiltración | 6 |
| 2.4.1. Conceptos previos | 6 |
| 2.4.2. Factores que afectan a la infiltración..... | 8 |
| 2.4.1. Métodos de medida | 10 |
| 2.4.2. Vegetación..... | 14 |
| 3. OBJETIVOS..... | 17 |
| 3.1. Objetivos generales..... | 17 |
| 3.2. Objetivos específicos..... | 17 |
| 4. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO | 19 |
| 4.1. Localización geográfica | 19 |
| 4.1.1. Parcela en el río Sava..... | 19 |
| 4.1.2. Parcelas en Rožnik | 20 |
| 4.2. Elección de parcelas | 22 |
| 4.3. Resultados de estudios previos..... | 22 |
| 4.4. Clima..... | 25 |
| 4.5. Características edáficas | 27 |
| 4.5.1. Bosque mixto | 27 |
| 4.5.2. Bosque de ribera..... | 28 |
| 4.5.3. Pradera..... | 28 |
| 4.6. Características hidrológicas..... | 29 |
| 4.7. Vegetación existente | 29 |
| 4.7.1. Vegetación en bosque mixto (Rožnik)..... | 30 |
| 4.7.2. Vegetación en bosque de ribera (Gameljne)..... | 30 |
| 4.7.3. Vegetación en pradera..... | 31 |
| 5. MATERIAL Y MÉTODOS..... | 33 |
| 5.1. Toma de datos en campo..... | 33 |
| 5.1.1. Infiltrómetro de anillo simple..... | 33 |

| | |
|---|-----|
| 5.1.2. Infiltrómetro de minidisco | 34 |
| 5.1.3. Humedad y temperatura | 35 |
| 5.2. Tratamiento de datos..... | 36 |
| 5.2.1. Infiltrómetro de anillo simple..... | 36 |
| 5.2.2. Infiltrómetro de minidisco | 37 |
| 5.3. Determinación del grupo hidrológico del suelo | 39 |
| 5.4. Análisis estadístico | 40 |
| 6. RESULTADOS | 43 |
| 6.1. Datos con infiltrómetro de minidisco (K _{nosat})..... | 43 |
| 6.2. Datos con infiltrómetro de anillo simple (K _{sat})..... | 44 |
| 6.2.1. Bosque Mixto | 45 |
| 6.2.2. Bosque de Ribera | 47 |
| 6.2.3. Zona de Pradera | 49 |
| 6.3. Análisis estadístico de datos | 51 |
| 6.3.1. Resumen infiltrómetro de minidisco (K _{nosat}) | 51 |
| 6.3.2. Resumen infiltrómetro de anillo simple (K _{sat}) | 52 |
| 6.3.3. Comparativas por ANOVA en minidisco..... | 53 |
| 6.3.4. Comparativas en Infiltrómetro de cilindro simple | 53 |
| 6.4. Clasificación de grupos hidrológicos del suelo..... | 56 |
| 7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS | 58 |
| 7.1. Experiencias en campo | 59 |
| 7.2. Datos obtenidos | 61 |
| 8. CONCLUSIONES | 65 |
| 9. BIBLIOGRAFÍA..... | 67 |
| ANEJO 1. MAPAS | 71 |
| ANEJO 2. ANEJO CLIMATOLÓGICO | 73 |
| ANEJO 3. DATOS EN CAMPO..... | 81 |
| 1. Datos tomados con infiltrómetro de minidisco..... | 83 |
| 1.1. Infiltrómetro de minidisco en Bosque Mixto de Rožnik (RF) | 83 |
| 1.1.1. Datos de humedad en suelo | 83 |
| 1.1.2. Datos de conductividad hidráulica no saturada..... | 84 |
| 1.2. Infiltrómetro de minidisco en Bosque de Ribera de Gameljne (GPo) | 108 |
| 1.2.1. Datos de humedad en suelo | 108 |
| 1.2.2. Datos de conductividad hidráulica no saturada..... | 109 |
| 1.3. Minidisco en Pradera de Rožnik. | 133 |
| 1.3.1. Datos de humedad en suelo | 133 |

| | | |
|--------|---|-----|
| 1.3.2. | Datos de conductividad hidráulica no saturada..... | 134 |
| 2. | Datos con infiltrómetro de anillo simple..... | 158 |
| 2.1. | Infiltrómetro de anillo simple en Bosque Mixto (RF)..... | 158 |
| 2.2. | Infiltrómetro de anillo simple en Bosque de Ribera (GPo)..... | 176 |
| 2.3. | Infiltrómetro de anillo simple en Pradera (RG)..... | 192 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Variación del valor de capacidad de infiltración a lo largo del tiempo suponiendo un suelo de profundidad media y textura uniforme. Extraído de Martínez de Azagra y Navarro (1996)..... | 7 |
| Figura 2. Bulbo de humedad tras una hora de ensayo con un infiltrómetro de anillo simple. El flujo lateral es evidente. Extraído de Godagnone <i>et al.</i> (2012)..... | 12 |
| Figura 3. Infiltrómetro de minidisco con las partes que lo componen. Extraído de Decagon (2014). | 13 |
| Figura 4. Bosque de ribera en el río Sava. Imagen previa a la proliferación de sustrato herbáceo. Imagen: Kutnar, L..... | 20 |
| Figura 5. Parcela de bosque mixto en Rožnik. Imagen: Kutnar, L. | 21 |
| Figura 6. Zona de pradera en Rožnik y estación meteorológica en la misma..... | 21 |
| Figura 7. Esquema de los puntos orientativos de muestreo..... | 22 |
| Figura 8. Resultados de conductividad hidráulica no saturada con infiltrómetro de minidisco. Adaptado de Jordan, 2010. | 24 |
| Figura 9. Resumen de temperaturas en la estación de Bežigrad, Ljubljana. t: Temperatura media mensual; Tm: Temperatura media de las máximas; tm: temperatura media de las mínimas; Tma: Media de las temperaturas máximas absolutas; tma: media de las temperaturas mínimas absolutas. Datos obtenidos de ARSO (2015). | 26 |
| Figura 10. Climodiagrama de Ljubljana y tabla de datos empleados. Datos extraídos de ARSO, 2015. | 26 |
| Figura 11. Calicata en suelo Cambisol dístico, propio de la zona de Rožnik, donde se sitúa la parcela de bosque mixto. Fuente: (Emonfur, 2015). | 27 |
| Figura 12. Calicata realizada en el año 2013 en la zona de Gameljne, el bosque de ribera a orillas del río Sava. Fuente: Emonfur (2015)..... | 28 |
| Figura 13. Periodos de retorno Q10 (azul oscuro), Q100 (azul) y Q500 (azul claro) en la zona de Gameljne (Bosque de Ribera). El punto rojo representa la localización aproximada de la parcela. Extraído de Atlas Okolja (2015)..... | 29 |
| Figura 14. Parcelas para el estudio de la vegetación. La amarilla central es la MVP, y las 10 pequeñas sombreadas de alrededor representan las SVP. Fuente: Kutnar, 2013. | 30 |
| Figura 15. Estado del estrato herbáceo en el bosque de ribera. La ubicuidad y densidad del Solidago gigantea dificultó las labores de medición. El palo indica el centro de la parcela estudiada. Imagen propia. | 31 |
| Figura 16. Instalación del infiltrómetro de anillo simple y detalle de la escala de medida. | 33 |
| Figura 17. Instalación del cilindro en pendiente. Siempre perpendicular a la horizontal y no al terreno. | 33 |
| Figura 18. El primer paso para la instalación del minidisco es retirar la vegetación y añadir una fina capa de arena. | 34 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| | |
|---|----|
| Figura 19. Detalle de montaje del infiltrómetro de minidisco en la pradera de Rožnik. | 35 |
| Figura 20. Instalación y medición de la humedad del suelo con el equipo TDR. | 35 |
| Figura 21. Curva ejemplo de infiltración extraída de la hoja de cálculo. Decagon (2014 b). | 37 |
| Figura 22. Gráfica resumen de los ensayos con infiltrómetro de minidisco. | 43 |
| Figura 23. Curvas de infiltración (mm/h) en cada intervalo para bosque mixto (RF). | 45 |
| Figura 24. Curva de infiltración (mm/h) desde el inicio en Bosque Mixto (RF). | 46 |
| Figura 25. Evolución de la columna de agua infiltrada a lo largo de las experiencias en el Bosque Mixto (RF). | 46 |
| Figura 26. Infiltración (mm/h) en cada intervalo para la parcela de Bosque de Ribera (GPo). | 47 |
| Figura 27. Infiltración (mm/h) desde el inicio para la parcela de Bosque de Ribera (Gpo). | 48 |
| Figura 28. Columna de agua infiltrada para las repeticiones en la parcela de Bosque de Ribera (Gpo). | 48 |
| Figura 29. Infiltración en cada intervalo para la zona de pradera (RG). | 49 |
| Figura 30. Curvas de infiltración desde el inicio en la zona de Pradera (RG). | 50 |
| Figura 31. Altura infiltrada en la zona de pradera (RG) a lo largo de las repeticiones. | 50 |
| Figura 32. Distribución de las repeticiones con infiltrómetro de minidisco en las tres parcelas. | 52 |
| Figura 33. Diagrama de caja y bigotes para los datos de conductividad hidráulica saturada medida en cada intervalo. | 54 |
| Figura 34. Caja y bigotes para los datos de conductividad hidráulica saturada medida desde el inicio. | 54 |
| Figura 35. Gráfico de dispersión entre el incremento de humedad a 10 cm de profundidad y el valor de Ksat en cada repetición. | 55 |
| Figura 36. Gráfico de dispersión entre el incremento de humedad a 20 cm de profundidad y el valor de Ksat en cada repetición. | 55 |
| Figura 37. Incremento de humedad a 10 cm en las repeticiones segregados por parcela. | 56 |
| Figura 38. Incremento de humedades a una profundidad de 20 cm en las repeticiones separadas por parcela. | 56 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Relación de especies en Eslovenia y su frecuencia (Barbante, 2014)..... | 6 |
| Tabla 2. Relación entre los posibles niveles de succión en el infiltrómetro de minidisco y los poros que se saturan de agua. Fuente: (ICT International, 2015)..... | 14 |
| Tabla 3. Coordenadas de las parcelas estudiadas. Datum WGS 84. Fuente: (Vilhar, <i>et al.</i> 2013)..... | 22 |
| Tabla 4. Datos recogidos por estratos y zonas. OI- Horizonte orgánico ligeramente descompuesto. Oh- Acumulación iluvial de materia orgánica. M- profundidades por centímetros. Extraído de gráficos en Marinšek y Kobal, 2013..... | 23 |
| Tabla 5. Resultados de diferentes parámetros a diferentes profundidades en dos del bosque de ribera en Gameljne. Adaptado de Vilhar & Žlindra, 2013. | 23 |
| Tabla 6. Resultados de diferentes parámetros a diferentes profundidades en dos del bosque mixto en Rožnik. Adaptado de Vilhar & Žlindra, 2013..... | 24 |
| Tabla 7. Temperaturas de la estación Bežigrad en Ljubljana. Datos extraídos de ARSO, 2014. | 25 |
| Tabla 8. Densidades aparentes a diferentes profundidades en bosque mixto (RF). Adaptado de Vilhar y Žlindra (2013)..... | 27 |
| Tabla 9. Densidades aparentes a diferentes profundidades en Bosque de ribera (Gpo). Adaptado de Vilhar y Žlindra (2013)..... | 28 |
| Tabla 10. Ejemplo de datos en la hoja de cálculo. Las columnas en verde son los resultados en campo. (Decagon, 2014 b). | 37 |
| Tabla 11. Valores de A en función de la presión (h_0) y la textura del suelo para un radio de 2,25 cm. Extraído de 2014 a. | 39 |
| Tabla 12. Datos resumen de las repeticiones del infiltrómetro de minidisco. Las columnas en negrita son los datos representados en la gráfica superior. | 43 |
| Tabla 13. Datos finales de conductividad hidráulica no saturada. | 44 |
| Tabla 14. Humedades medias para infiltrómetro de minidisco. | 44 |
| Tabla 15. Datos de Ksat y humedad para la parcela de Bosque Mixto (RF). N° rep= Número de repetición en campo; Prof= Profundidad a la que se realiza la medición. . | 45 |
| Tabla 16. Datos de Ksat y humedad para la parcela de Bosque de Ribera (GPo), N° rep= Número de repetición en campo; Prof= Profundidad a la que se realiza la medición. . | 47 |
| Tabla 17. Datos de Ksat y humedad para la parcela de Pradera (RG). N° rep= Número de repetición en campo; Prof= Profundidad a la que se realiza la medición..... | 49 |
| Tabla 18. Resumen Estadístico para Bosque Mixto (RF)..... | 51 |
| Tabla 19. Resumen Estadístico para el Bosque de Ribera (GPo). | 51 |
| Tabla 20. Resumen Estadístico para la parcela de Pradera (RG). | 52 |
| Tabla 21. Análisis de varianza entre Knosat y zona estudiada..... | 53 |
| Tabla 22. Método 95,0 porcentaje LSD. Knosat en función de la Zona..... | 53 |
| Tabla 23. Contraste de pares de medias de Knosat. | 53 |
| Tabla 24. Datos de humedad para las repeticiones con minidisco en la parcela de bosque mixto. | 83 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

1. RESUMEN

El presente estudio trata de estimar y comparar la conductividad hidráulica saturada y no saturada de tres parcelas en la Ciudad de Ljubljana (Eslovenia).

Además, aprovechando la variabilidad de los suelos y las masas que albergan, se pretende analizar el comportamiento de un infiltrómetro de anillo simple y de un infiltrómetro de minidisco Decagon bajo diferentes condiciones.

Las tres parcelas analizadas se sitúan próximas a núcleos de población, por lo que el comportamiento de éstas frente a condiciones hidrológicas adversas puede provocar o prevenir daños materiales y humanos de alto valor. Por esto resulta imprescindible conocer y entender la función que pueden desempeñar estos suelos de cara a posibles crecidas y aguaceros. Este estudio pretende también ampliar otro de mayor envergadura llamado "EMoNFUr" (*Stablishing a Monitoring Network to Assess Lowland Forest and Urban Plantation in Lombardy and Urban Forest in Slovenia*), que englobado a su vez en el Proyecto LIFE+, ha creado una red de monitorización en zonas urbanas y periurbanas en la Región de Lombardía y en la Región Central de Eslovenia donde se han estudiado diversos factores edáficos y ambientales entre otros.

Para la realización de este estudio se han valorado 3 parcelas incluidas en puntos previamente analizados en el proyecto antes citado.

Una parcela de bosque mixto en una ladera con fines recreativos en la Ciudad de Liubliana, una ladera sin vegetación arbolada en una zona ajardinada y un bosque de ribera a orillas del Río Sava, situado a pocos kilómetros en dirección norte de la capital eslovena.

Para la toma de datos se han empleado dos infiltrómetros de diferente naturaleza, un cilindro simple de acero de 10 cm de diámetro y 22 cm de altura y un infiltrómetro de minidisco Decagon.

Los resultados muestran una diferencia estadísticamente significativa en cuanto a conductividad hidráulica no saturada medida con infiltrómetro de minidisco en las zonas arboladas con respecto a la de pradera.

En cuanto a conductividad hidráulica saturada medida con infiltrómetro de anillo simple, la parcela que mayores valores registra es la de bosque mixto, seguida de la de bosque de ribera y después la de pradera.

Los instrumentos de medida muestran disparidad en las mediciones interparcela y también intraparcels. El infiltrómetro de minidisco ocasionalmente ofrece problemas en la medición de zonas con elementos orgánicos sin descomponer, como la parcela de Bosque Mixto.

Las conclusiones de este estudio dan pie a un ulterior estudio hidrológico, más preciso y más adaptado a las condiciones particulares de cada suelo.

2. INTRODUCCIÓN

2.1. Justificación del proyecto

Los ecosistemas establecidos en la llanura de inundación de un río contribuyen significativamente a asegurar unas condiciones de vida favorables para plantas, animales y para personas. Estos bosques son tremendamente valiosos a nivel de biodiversidad y son también un elemento paisajístico que aumenta el valor del suelo gracias al factor recreativo. También desempeñan una importante función como protector frente a erosión y pérdida de suelo. Además, estos ecosistemas reducen los sedimentos arrastrados por el agua, evitando daños en la fauna riparia o en infraestructuras instaladas aguas abajo. También hace las veces de filtro verde ya que el suelo puede retener contaminación de origen antropogénico o natural purificando el agua (Vilhar *et al*, 2013).

Las parcelas que se estudian en el presente documento se sitúan en zonas muy próximas a pequeños núcleos de población de la ciudad de Ljubljana. Estas zonas, además de las labores mencionadas anteriormente, desempeñan otra aún más importante debido a su ubicación, sobre todo si se incluye el factor humano y un futuro riesgo para el mismo. Hablamos de la retención de agua del suelo, de la velocidad de infiltración y en definitiva de la capacidad de amortiguar crecidas e inundaciones desempeñando un papel protector en la vida de las poblaciones aledañas. Por esto resulta de gran importancia conocer la infiltración de las diferentes masas y suelos que circundan zonas urbanas y periurbanas.

Además, en el caso concreto del río Sava, donde se van a realizar algunas de las mediciones existe otro factor a destacar para la comprensión de este estudio, y es la impredecibilidad de sus crecidas.

El río Sava, como tantos otros en Eslovenia recorre zonas de naturaleza caliza. Son territorios kársticos, con grandes acuíferos y oquedades interconectadas entre sí. De hecho, *Karst* es el germanismo con el que se conoce a la región eslovena de Carso, evidencia de la naturaleza caliza de buena parte del norte del país.

La complejidad hidrológica de estos parajes favorece que tras un periodo de precipitaciones, no se sepa con exactitud qué acuíferos se están llenando, hacia qué cuenca se puede desviar el agua o desde qué cuenca puede estar entrando, por lo que las zonas ganadoras y perdedoras del río varían con la orografía, la estación y la intensidad de las precipitaciones. Esta condición es por tanto un riesgo añadido para las poblaciones y, sin duda, una justificación más para la realización de este estudio.

La infiltración en el suelo es un proceso mediante el cual el agua penetra en el suelo por gravedad o capilaridad y como se ha explicado anteriormente es un factor determinante en las relaciones ecológicas dependientes del agua por lo que se ha tratado de estudiar y modelizar con gran precisión. (Martínez de Azagra, 2006).

Independientemente de estos factores, el conocimiento de la infiltración, base del ciclo hidrológico, es un campo que resulta difícil calcular ya que depende de otros muchos factores. Entre los más importantes se destacan (Martínez de Azagra & Navarro, 1996):

- Características del suelo: tales como profundidad, contenido de materia orgánica, permeabilidad, porosidad, textura, proximidad a nivel freático, estructura...
- Topografía del terreno.
- Agua: temperatura, contenido de iones, partículas en suspensión.
- Precipitación: Intensidad, duración y tamaño de las gotas.

- Vegetación existente: Porcentaje de cobertura vegetal y especies.
- Usos y tratamientos: Laboreo agrícola, roturación canalizaciones, repoblaciones forestales, urbanización...

Estos factores, además de afectar a la infiltración, afectan determinantemente a todos los métodos de medición de la misma, por lo que en muchas ocasiones no resulta fácil extraer datos concluyentes ni precisos de las experiencias en campo. Sin embargo, de una adecuada valoración y conocimiento del entorno a estudiar depende la correcta elección del método escogido y por tanto la validez e interés del estudio resultante.

2.2. Antecedentes en el área de estudio

El presente estudio es una colaboración entre la Escuela Técnica de Ingenierías Agrarias de Palencia y el Instituto Forestal Esloveno. Este instituto, ha llevado a cabo junto con otras instituciones, el proyecto EMonFUr "*Establishing a Monitoring Network to assess lowland Forest and Urban plantation status in Lombardy region and Slovenian*" (LIFE+ 10 ENV/IT/399). Éste cuenta con financiación europea, puesto que está englobado en el proyecto LIFE. El objetivo principal es el conocimiento del estado y comportamiento de diferentes masas forestales en zonas urbanas y periurbanas, los llamados bosques urbanos, por diversos motivos explicados más adelante.

2.2.1. El proyecto EMonFUr

Este proyecto está englobado dentro del proyecto europeo LIFE+ y es creado y desarrollado por (Emonfur, 2015):

- ERSAF (*Ente Regionale per i Servizi all'Agricoltura e alle Foreste*) (Organismo regional para servicios agrícolas y forestales).
- *Parco Nord Milano* (Parque ubicado en la región de Lombardía).
- *Gozdarski Inštitut Slovenije* (Instituto Forestal Esloveno).
- Ministerio de Agricultura y Medio Ambiente de Eslovenia.

Hasta la fecha se han realizado experiencias en la región de Lombardía y la región central de Ljubljana (*Osrednjeslovenska*). En esta última los estudios se centran en la zona de *Rožnik* y *Gameljine*, muy próximas a la capital eslovena. La red de monitorización que se pretende conseguir con este proyecto define puntos con diferentes características pero todos ellos ubicados en zonas urbanas y periurbanas. En la zona de Eslovenia entre los años 2012 y 2014 se han estudiado diversidad de parámetros (Verlič *et al*, 2013):

- Inventario forestal: Mayo 2013-Diciembre 2013.
- Monitorización de condiciones microclimáticas en las masas forestales: Abril 2012-Actualidad.
- Precipitación y sustancias en la misma: abril 2012-septiembre 2014.
- Humedad y temperatura del suelo: junio 2013-septiembre 2014.
- Biodiversidad de fauna: abril 2012-abril 2014.
- Calidad del aire por muestreo pasivo de O₃, NO_x, SO₂, NH₃.
- Análisis de suelo: junio 2013- septiembre 2014.
- Muestreo de sanidad forestal: julio 2013-septiembre 2013.
- Estudio dendrocronológico: septiembre 2013- agosto 2014.
- Frecuencia de visitantes: abril 2013- febrero 2014 (detenido por adversidades climáticas).
- Temperatura de aire por transectos: junio 2013-2014.

Actualmente se están valorando diferentes líneas de investigación para implementar otros proyectos en las mismas zonas de estudio y continuar así el proyecto EMO NFUr. En este marco es donde tiene lugar el presente estudio.

2.2.2. Objetivos del proyecto EMO NFUr

El proyecto EMO NFUr tiene por objeto el desarrollo de una red de monitorización para conocer el estado de bosques artificiales, naturales, urbanos y periurbanos (bosques urbanos) y su comportamiento en ámbitos como:

- Preservación e incremento de la biodiversidad en estos ecosistemas.
- Capacidad de regular la temperatura y absorción de CO₂.
- Preservación del suelo y calidad de vida de las comunidades locales.
- Comportamiento frente al cambio climático.
- Desarrollo de patologías forestales y plagas.
- El proyecto se encarga de medir parámetros de relevancia ecológica y ambiental como los enumerados en el epígrafe 2.2.1. El proyecto EMO NFUr.

Los objetivos específicos del proyecto son:

- Monitorización de áreas de muestreo en Lombardía y Eslovenia con el fin de conocer la evolución y crecimiento de los ecosistemas forestales teniendo en cuenta la situación de cambio climático.
- Continuar con el primer inventario forestal de bosques urbanos, periurbanos y artificiales en Lombardía como referencia para futuros inventarios en Italia.
- Desarrollar una red de monitorización que pueda constituir una referencia a nivel europeo.
- Sensibilizar e involucrar a las comunidades locales de la importancia de la monitorización y la relevancia del rol de los bosques en la mitigación del cambio climático.

2.3. Los bosques urbanos

Los bosques urbanos se pueden definir como una masa forestal con fines y actividades multidisciplinares ubicados cerca o dentro de áreas edificadas. La planificación de estas masas debe englobar diseño de la masa, gestión de los pies a nivel maderable, gestión y protección de flora y fauna, etc. (Konijnedijk, 2003). Las funciones básicas de esta masa son (Barbante *et al*, 2014):

Servicios de suministro:

- Productos maderables con fines en la industria de transformación o con fines energéticos. A día de hoy la madera es todavía prácticamente la única fuente de ingresos para los propietarios de los bosques.
- Productos no maderables como los comestibles (caza, pesca, setas...). Existen a nivel comercial más de 150 productos no maderables con relevancia económica en el mercado. Por tanto, el ámbito agroforestal debe estar bien gestionado y aprovechado en los bosques urbanos.

Servicios reguladores:

- Protección frente a riesgos naturales como inundaciones, movimiento de desechos, corrimientos de tierra. Estos ecosistemas previenen la erosión,

escorrentía superficial y demás problemas relacionados con eventos climáticos relevantes.

- Regulación del ciclo hidrológico favoreciendo el almacenamiento de agua puesto que es absorbido por el suelo y las raíces. También devuelve el agua a la atmósfera cerrando el ciclo gracias a la transpiración aunque también ayuda a retenerla en periodos de sequía.
- Regulación de componentes atmosféricos puesto que eliminan polución, afectan a la concentración de ozono, juegan un papel fundamental en la absorción de CO₂...
- Ofrecen protección y aumentan la biodiversidad de flora y fauna en zonas que pueden ser de gran pobreza ecológica como las ciudades.

Servicios culturales:

- Salud y bienestar humano. Reduciendo la contaminación atmosférica, aumentando el bienestar psicológico de la población, favoreciendo la actividad física en ambientes exteriores...
- Desempeñando un papel importante en el desarrollo cognitivo de la población joven en entornos que promueven la atención y la imaginación.
- Turismo, recreo, embellecimiento de las zonas urbanas, oasis de silencio...

Este proyecto se lleva a cabo en varias masas de bosque urbano en la ciudad de Ljubljana, recurso de gran importancia para la misma. Esta ciudad posee 11 651 ha de bosque, lo que supone un 41% de la superficie. Las especies que forman estos bosques aparecen listadas en la Tabla 1.

Tabla 1. Relación de especies en Eslovenia y su frecuencia (Barbante, 2014).

| Especie | Porcentaje (%) |
|-------------------------|----------------|
| <i>Fagus sylvatica</i> | 35 |
| <i>Quercus spp.</i> | 15 |
| <i>Picea abies</i> | 14 |
| <i>Pinus spp.</i> | 14 |
| <i>Castanea sativa</i> | 10 |
| <i>Carpinus betulus</i> | 3 |
| Bosque de ribera | 9 |

2.4. El conocimiento de la infiltración

2.4.1. Conceptos previos

Como se ha comentado anteriormente, la infiltración es un proceso clave para el correcto funcionamiento de los ecosistemas por diferentes motivos. En este apartado trataré de definir con precisión el concepto de infiltración y todos aquellos asociados que faciliten el entendimiento de este trabajo.

Se conoce como infiltración, según Martínez de Azagra y Navarro (1996), al proceso por el cual el agua se filtra a través de la superficie del suelo hacia su interior, ya sea debido a fuerzas gravitacionales o capilares. Conviene puntualizar que la infiltración es un movimiento vertical de agua, mientras que la filtración puede producirse en cualquier dirección siempre a través de un medio poroso.

Tras una precipitación, existe una fracción que se infiltra en el suelo y otra que escurre por la red de drenaje superficial de la cuenca. Esto dependerá de numerosos factores, como se explica en el epígrafe 2.1. Justificación del proyecto. De la fracción infiltrada, una parte queda retenida en las capas superficiales del suelo y será evapotranspirada, abandonando en poco tiempo el suelo. Otra segunda puede alcanzar capas más profundas del suelo, pudiendo llegar al nivel freático, un acuífero, un estrato impermeable...

Otros conceptos de interés son:

- Velocidad de infiltración: Conocida también como intensidad o tasa de infiltración. Cantidad de agua que pasa a través de la superficie del suelo en un determinado instante.

En el supuesto de un suelo seco, éste permitirá la infiltración de las primeras precipitaciones a altas velocidades, cuando se vaya saturando, la velocidad de infiltración irá disminuyendo hasta que este valor se estabilice. A este valor se le conoce como velocidad de infiltración final (Campano, 2014) y aparecería representada como asíntota horizontal en la Figura 1. Un concepto relacionado con la velocidad de infiltración es el de Coefficiente de infiltración, pues lo relaciona mediante cociente con la intensidad de lluvia. Si este valor es igual a 1, no existirá escorrentía superficial, si es menor, significa que llueve más rápido de lo que el suelo es capaz de absorber y se producirá encharcamiento o escorrentía superficial.

Cuando el suelo queda saturado y alcanza su capacidad de campo, ésta puede seguir infiltrándose. En este caso la fuerza de capilaridad ya no actúa y sólo lo hace la gravitacional. A este fenómeno se le conoce como percolación.

- Capacidad de infiltración: Es la cantidad máxima de agua que puede introducirse en un suelo por unidad de tiempo y en un instante dado.

Si nos encontramos ante un suelo húmedo su capacidad será menor, cuando éste alcance la saturación de humedad diremos que el valor de capacidad de infiltración coincide con el de permeabilidad. La curva tipo descrita por este proceso puede verse en la Figura 1.

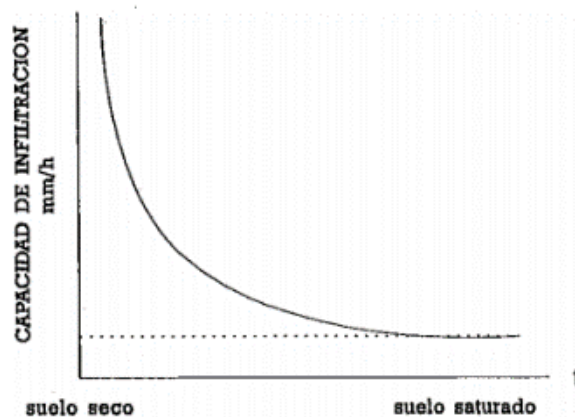


Figura 1. Variación del valor de capacidad de infiltración a lo largo del tiempo suponiendo un suelo de profundidad media y textura uniforme. Extraído de Martínez de Azagra y Navarro (1996).

La conductividad hidráulica se puede definir como la facilidad que presenta un medio poroso para transmitir el agua. Este medio, referido en este caso al suelo, puede encontrarse en condiciones de saturación o en condiciones de no saturación de agua, por lo que de éste se derivan otros dos conceptos:

Conductividad hidráulica saturada (K_{sat})

Cuando el suelo está saturado el agua se filtra por los macroporos, y al estar todos llenos de agua, la conductividad hidráulica es máxima.

En este caso el flujo de agua se describe mediante la Ley de Darcy de 1856: El agua en un medio poroso y en flujo laminar, se mueve en dirección contraria al gradiente de energía y a una velocidad proporcional al gradiente. La relación de proporcionalidad es la propia conductividad hidráulica y depende de la naturaleza del medio y de su grado de saturación (Donado, 2004).

$$q = -K \cdot \left(\frac{dh}{dz} \right)$$

Donde:

q= caudal

K= Conductividad hidráulica

dh/ dz= gradiente hidráulico

Conductividad hidráulica no saturada (K_{nosat})

En este caso el suelo no se encuentra saturado de agua, por lo que a la anterior ecuación de Darcy, se le deben incluir las variables humedad y succión. Así, en 1907 Edgar Buckingham propuso una modificación de la ley de Darcy para adaptarla a medios porosos no saturados. La diferencia es que la conductividad hidráulica ahora es función de la humedad del suelo y de la succión. La ecuación es la siguiente (Jury & Horton, 2004):

$$q = -K(\theta) \cdot \frac{d(\psi + z)}{dx}$$

Las nuevas variables son:

K (θ)= conductividad dependiente de la humedad

Ψ = Succión

2.4.2. Factores que afectan a la infiltración

- Precipitación

En este caso la existencia o no de escorrentía dependerá de la intensidad y duración de un aguacero. Un aguacero intenso puede limitar la infiltración si la capacidad de infiltración de un suelo es menor que el volumen precipitado. Por otra parte los aguaceros largos pueden encharcar suelos o producir infiltración, mientras que uno corto es más difícil.

También el tamaño de las gotas puede modificar las propiedades mecánicas del suelo compactando su parte superficial, recibiendo en éste la energía cinética del impacto del agua. Así por ejemplo, en un chubasco, el diámetro de las gotas puede alcanzar los 4mm y la velocidad de impacto puede ser de 9 m/s (Martínez de Azagra & Navarro, 1996) favoreciendo este proceso y por ende dificultando la infiltración. Este proceso afecta más drásticamente a suelos arcillosos.

- Superficie del suelo

Cobertura vegetal y uso del suelo afectan directamente a este estrato.

Un suelo encostrado o compactado reduce la infiltración. Así pues, terrenos con gran laboreo, transitados por ganado o maquinaria y desprovistos de vegetación son zonas propensas al encharcamiento o escorrentía.

Los suelos arcillosos también muestran facilidad al encharcamiento. Aunque se generan grietas que aumentan la infiltración, a la larga la expansión de las arcillas limita gravemente la permeabilidad del estrato.

- Vegetación

La implantación de vegetación en un terreno desnudo aumenta la infiltración. Los efectos principales de la cubierta vegetal son:

- Disminuye la velocidad de la escorrentía superficial y consecuentemente aumenta el tiempo de oportunidad de infiltración.
- Reduce y elimina el impacto de las gotas de lluvia.
- Aumenta la porosidad del suelo por los canalillos que crean las raíces.
- Mejora la estructura del suelo gracias al incremento de la materia orgánica.

Mongil y Navarro (2012) desarrollaron un estudio que demuestra el efecto de la vegetación sobre la infiltración.

Se realizaron tres ensayos en tres suelos diferentes de los páramos calizos de Valladolid. Las condiciones edáficas eran similares (limos y arcillas) pero la vegetación no, por lo que permitía comparar sus efectos. La comparación fue realizada entre un pinar de *Pinus halepensis* y dos zonas de matorrales con distinta fase de degradación. Los resultados demostraron que la parcela de *Pinus halepensis* presentaba una tasa de infiltración inicial 16 y 26,7 veces superior a la de las zonas de matorral. La tasa final era también superior, concretamente 8,4 y 23 veces mayor.

Otro estudio realizado por la Universidad de La Laguna en Tenerife (Neris *et al.*, 2012) realiza ensayos en suelos Andisoles con un infiltrómetro de doble anillo en un total de 32 puntos distribuidos en tres categorías de vegetación y uso del suelo: bosque húmedo, pinar y zonas cortadas.

Los resultados reflejan que la infiltración en bosque húmedo (796 mm/h) es mucho más rápida que en las otras dos categorías: pinar (188mm/h) y zonas cortadas (67 mm/h). También se observó que algunas características edáficas del suelo como estabilidad estructural, materia orgánica, agregados del suelo y densidad aparente jugaban un papel fundamental en la infiltración, pero éstas dependen del uso que se haga del suelo y por ende de la masa albergada.

2.4.1. Métodos de medida

Existen infinidad de estudios de conductividad hidráulica saturada y no saturada (K_{sat} y K_{nosat}) y con gran cantidad de instrumentos para su medición: Simuladores de lluvia, infiltrómetros de minidisco, Infiltrómetros de anillo simple, de doble anillo, permeámetros...

Algunos de ellos son métodos de elevado coste y difíciles de instalar por lo que requieren mucho tiempo para la toma de datos, por lo que algunos se descartaron de base como lisímetros, simuladores de lluvia, extracción de suelo y estudio en laboratorio...

Todos tienen sus pros y sus contras y cada experiencia muestra resultados diferentes en función de infinidad de variables, por lo que finalmente se escogieron los que presentaban mayor disponibilidad y eran más económicos de acuerdo con los objetivos del estudio.

Por ejemplo, el simulador de lluvia devuelve mejores resultados (Gifford, 1978 en Blanco, 1999), mientras que para suelos encostrados es más apto el infiltrómetro de anillo (Touma *et al.*, 1992 en Blanco, 1999). El simulador de lluvia deja caer gotas de agua desde una altura de unos 2 metros sobre un área de unos 8 m² (Subramanya, 2008) Se puede controlar también la intensidad y duración del aguacero simulado, pero generalmente estos aparatos simulan una intensidad de 50 mm/h, por lo que el periodo de retorno estudiado es bastante alto. Obviamente, requiere un complejo montaje que contrasta con la de por ejemplo los infiltrómetros de anillo. Éstos son de instalación bastante más sencilla y más económicos. Algunos infiltrómetros barajados para esta experiencia son:

2.4.1.1. Infiltrómetros de anillo

Dentro de este tipo de infiltrómetros, existen básicamente dos tipos, de anillo simple y de doble anillo. En este apartado primeramente se realiza una descripción del funcionamiento y las consideraciones comunes a ambos y posteriormente se destacarán algunas particularidades de cada uno.

El infiltrómetro de anillo es uno de los tipos más usados, puesto que son fáciles de instalar y de bajo coste de adquisición. La utilización del mismo no requiere excesiva formación y pese a otros inconvenientes desarrollados más abajo, diversos autores avalan la validez del método (Bower, 1986; Youngs, 1987; Amerman, 1983; Porta *et al.*, 1999; Ponce, 1989 en Blanco, 1999, Jordana, 2010).

- Inconvenientes de los infiltrómetros de anillo

Este método también cuenta con numerosos inconvenientes y limitaciones. Como todos ellos, tiene pros y contras. Por esto conviene conocer bien el instrumento que se va a utilizar, para corregir los posibles problemas derivados y conocer las limitaciones de los resultados obtenidos. Blanco (1999) enumera una serie de problemas y consideraciones que se sintetizan a continuación:

- La introducción de los anillos en el suelo puede modificar la naturaleza del mismo. Si el suelo es duro, la labor de clavado requerirá aplicar fuerza en el instrumento, con lo que se puede compactar la zona disminuyendo la infiltración. En cambio si nos encontramos en un suelo encostrado, el clavado puede romper la capa superficial, incrementando los valores de conductividad hidráulica.
- Presencia de flujos laterales en los experimentos. El suelo colindante puede absorber por capilaridad el agua vertida en el cilindro (Figura 2),

modificando el bulbo de humedad y sobredimensionando los resultados entre 3,5 y 11 veces según el diámetro del anillo (Bower, 1986).

- La representatividad de los datos obtenidos viene determinada por el diámetro del cilindro interno en el caso de ser de doble anillo. Valores mayores de 15 cm comienzan a aportar datos con errores razonables baremándolos con volúmenes plausibles de agua para cada repetición (Tricker, 1978 en Campano, 2014).
- Las condiciones de inundación de la zona estudiada no representan fielmente las condiciones en las que el suelo recibe el agua de forma natural. Además, como afirman algunos autores (Vivar *et al.*, 1993; Bower, 1986) la presión de la columna de agua sobre el suelo puede alterar el resultado, afirmando que debe ser lo más pequeña posible. Sin embargo Blanco (1999), afirma que este efecto no se debe sobredimensionar ya que no tiene una trascendencia excesiva en los resultados, siempre que se trabaje con valores de entre 0 y 30 cm de columna de agua.
- Se prescinde del efecto de las gotas de lluvia sobre la superficie, que en determinados aguaceros puede desempeñar un importante papel alterando la estructura de la capa superficial del suelo (Horton, 1940; Ponce, 1989; Martínez de Azagra & Navarro, 1996).
- El vertido del agua en el cilindro ha de llevarse a cabo tratando de mantener intacta la superficie, ya que alterando ésta se alteran también los resultados. Conviene utilizar una malla, tela o cualquier material de esta naturaleza que consiga disipar la energía del agua al chocar contra el suelo.
- Estos y otros parámetros como temperatura y composición del agua deberán tratarse siempre de asemejar lo más posible a las condiciones naturales del entorno en el que nos encontremos.

- Infiltrómetro de anillo simple

Los materiales de fabricación pueden ser muy diversos, los más frecuentes son metacrilato, PVC o diferentes metales. Una vez más los diámetros varían ampliamente en función de cada experiencia y autor. El principal problema que se asocia a este tipo de infiltrómetros es el sobredimensionado de la infiltración debido al flujo lateral. En el cilindro de doble anillo se supone que se reduce con el anillo exterior. En el caso del de anillo simple puede mitigarse este fenómeno rodeándolo de un surco de unos 5x5 cm e inundándolo de agua. Sin embargo, varios autores afirman que las diferencias entre éste y el de doble anillo son muy pequeñas (Swartzerdruber & Olson, 1961 a,b, en Decagon, 2015).

Godagnone *et al.* (2012) realizó un estudio con infiltrómetros de anillo simple con diámetros de 21 cm de diámetro interno y 12 cm de altura. Se insertaron 6 cm en el suelo y la columna de agua era de 1,5 cm. Tras una hora de experimento y otra de espera sin vertido de agua se observó el bulbo de agua. Los resultados mostraron que la pérdida promedio por flujo lateral era del 24,97% de la infiltración laminar sin corregir.

Este es una de las carencias más graves de este método. La única forma de reducir esta sobreestimación es incrementando el diámetro del infiltrómetro, pero entonces las dificultades logísticas entran en juego. Por ende, se debe ser consciente de esta sobreestimación y tenerla presente tras la toma de datos en campo.



Figura 2. Bulbo de humedad tras una hora de ensayo con un infiltrómetro de anillo simple. El flujo lateral es evidente. Extraído de Godagnone *et al.* (2012).

- Infiltrómetro de doble anillo

Está formado por dos cilindros abiertos que se introducen a una profundidad variable en el suelo. En la mayoría de los casos el material de fabricación es acero inoxidable.

El mecanismo y principio físico son muy sencillos. En primer lugar se llena de agua el cilindro exterior. Esto no tiene otro propósito que saturar el terreno circundante al anillo interior, para reducir el flujo lateral y conseguir datos más fiables de K_{sat} , que es la magnitud que se espera obtener con este infiltrómetro. En el anillo interior se realizarán las mediciones. Se anota la cantidad de agua que es infiltrada por unidad de tiempo, esto se puede conseguir mediante un pequeño flotador que ligado a un limnómetro muestra la distancia que ha descendido el nivel de agua.

El diámetro de cada uno puede variar en función de la disponibilidad de agua y del tipo de terreno a estudiar. En suelos con escasa pendiente o con baja pedregosidad los diámetros suelen ser más grandes, de hasta 57 cm, como en las experiencias de Vivar *et al.* (1993) en Blanco (1999). o de 15-20 cm en los casos de Porta *et al.* (1999) en Blanco (1999).

2.4.1.2. Infiltrómetro de minidisco

El infiltrómetro de minidisco es un infiltrómetro de tensión que mide la conductividad hidráulica del medio donde haya sido instalado. Es un tubo de plástico graduado, con las siguientes dimensiones (Decagon, Mini Disk Infiltrometer, 2014 a):

- Longitud total: 32,7 cm.
- Diámetro del tubo: 3,1 cm.
- Disco poroso de acero inoxidable: 4,5 cm de diámetro y 3 mm de espesor.
- Longitud del tubo regulador de succión: 10,2 cm.

- Rango de succión: 0,5 a 7 cm.
- Longitud del depósito de agua: 21,2 cm.
- Longitud del tubo de Mariotte: 28 cm.
- Volumen necesario de agua para la medición: 135 ml.

Este infiltrómetro es un instrumento de pequeñas dimensiones, sencillo y rápido en su uso. Como todos los métodos, éste tampoco está exento de inconvenientes, pero las ventajas derivadas de su utilización y dado que el Instituto Forestal Esloveno tiene uno de reciente adquisición, se escogió como uno de los instrumentos a utilizar. A continuación se hace una breve relación de ventajas e inconvenientes que se pueden encontrar en el infiltrómetro de minidisco Decagon (Ruiz Sinoga *et al.*, 2003).

Como ventajas se pueden destacar:

- Permite realizar varias mediciones en un periodo de tiempo corto. El suelo suele alcanzar una tasa estable de infiltración rápidamente.
- Fácil instalación y manejo.
- No hace falta ningún tipo de calibrado previo.
- Dado su tamaño es fácilmente transportable y muy ligero.
- Al no requerir una gran superficie de contacto con el suelo no es necesario realizar grandes labores de allanado en pendientes elevadas o con densa cobertura vegetal.
- El suelo permanece prácticamente inalterado puesto que no tiene que penetrar en el mismo.



Figura 3. Infiltrómetro de minidisco con las partes que lo componen. Extraído de Decagon (2014).

Algunos inconvenientes de este instrumento son:

- Cuando el contacto hidráulico con el suelo no es bueno, puede existir flujo superficial, provocando un aumento exagerado de la infiltración.
- En comparación con otros instrumentos la superficie en contacto con el suelo es muy pequeña, se obtiene una excesiva concrección de la k_{nosat} , por lo que requiere un número mayor de repeticiones en zonas próximas entre sí.
- Para una correcta interpretación de los datos es necesario conocer textura de los suelos que se van a estudiar. Se debe catalogar entre 12 clases de suelos existentes según la metodología del fabricante. Esta propiedad del suelo cobra demasiado protagonismo en los resultados finales.
- Este infiltrómetro consta de un tubo de ensayo cerrado en su parte superior por un tapón de goma. Éste está horadado por un tubo metálico graduado por centímetros con el que se regula la succión a utilizar en el experimento (tubo de control de succión). Mediante este sistema se puede escoger la velocidad de succión y en cierto modo el diámetro de poro del suelo que se pretende saturar puesto que no se llenarán aquellos que provoquen una tensión inferior a la succión de la cámara de burbujas.

La parte inferior que está en contacto con el suelo está cerrada por un disco poroso de acero por el cual el agua escapa al estar en contacto con el suelo.

El tubo queda separado en dos cámaras (Figura 3) por una placa de goma. La cámara superior, o de burbujas, controla la succión sobre la superficie de contacto entre el disco y el suelo. Su función es crear una succión constante sobre la superficie de contacto. La

cámara inferior está graduada por milímetros y contiene el agua que se va a emplear en la medición. Las dos cámaras están comunicadas entre sí por un tubo de Mariotte (Enríquez & Orozco, 2011).

Tanto el depósito de agua como la cámara de burbujas se llenan de agua, se escoge la presión a utilizar con el tubo de control de succión (de 0,5 a 7 cm de columna de agua) y se posa en una superficie lisa del suelo para comenzar la medición. Si la superficie no fuese lisa se puede utilizar un pequeño estrato de arena que ponga en contacto toda la superficie del disco con el suelo. Es recomendable el uso de la misma, puesto que debido al pequeño diámetro del tubo, el hecho de que una pequeña parte no esté en contacto con el suelo puede alterar significativamente el resultado.

Debido a que el infiltrómetro de minidisco es un infiltrómetro de tensión, éste mide la Knosat. El flujo a través de un suelo no saturado es más complejo que en un suelo con todos los poros saturados, debido a que los macroporos generalmente se llenan con aire, restringiendo el flujo hídrico a los poros más pequeños únicamente. Sin embargo, la conductividad hidráulica del suelo está firmemente ligada con la geometría de los poros, el contenido de agua y la diferencia en el potencial matricial.

Este infiltrómetro permite ajustar la capacidad de succión, por lo que permite recavar información más detallada sobre el tamaño de los poros que se se están saturando y sobre la porosidad general del suelo. El diámetro aproximado de los poros que se rellenan en función de la succión aparece reflejado en la Tabla 2.

Tabla 2. Relación entre los posibles niveles de succión en el infiltrómetro de minidisco y los poros que se saturan de agua. Fuente: (ICT Internacional, 2015).

| Succión (cm) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Diámetro de poros saturados (mm) | 2,90 | 1,45 | 0,97 | 0,73 | 0,58 | 0,48 | 0,41 |

La conductividad hidráulica saturada se produce cuando todos los poros se rellenan de agua. Sin embargo, esta magnitud es difícil de cuantificar puesto que fluctúa gravemente de un punto a otro. Como se ha dicho, con este instrumento se evita el llenado de esos poros, proporcionando unas mediciones menos variables y acordes con la naturaleza real del suelo.

2.4.2. Vegetación

La vegetación existente en un suelo juega un papel determinante en la cantidad de agua infiltrada en el mismo. Además, esta infiltración no depende únicamente del propio suelo y de la masa que lo protege, sino también del tipo, del estado natural y de la antigüedad de la misma (Bens *et al.*, 2007).

De esta antigüedad y tipo de masa dependen factores como la capa de materia orgánica o la cobertura vegetal. La primera favorece la retención e infiltración de agua. La segunda, mediante las copas se protege por interceptación, reduciendo la escorrentía y la erosión mecánica que producen las gotas de agua al impactar en el suelo (MAGRAMA, 2010).

Aparte de estos dos factores, existen muchos otros relacionados con la cobertura vegetal que afectan positivamente a la infiltración:

Existen numerosos trabajos que comparan la infiltración en suelos con y sin cobertura arbolada. Todos los consultados coinciden en una clara mejoría en suelos forestales con respecto a los otros.

Así por ejemplo Mongil y Navarro (2012) realizan un estudio de infiltración en las laderas de los páramos de Valladolid. Los suelos son entre francos y arcillosos, pero todos de geológicamente similares. Estas superficies difieren en la masa que albergan que son pinar y matorral. Se realizan las mediciones con un infiltrómetro simple de 8,4 cm.

Aunque se puntualiza que convendría aumentar el número de repeticiones, el estudio concluye con una clara mejoría en las condiciones generales del suelo, incluyendo la infiltración, conforme la vegetación es más densa y evolucionada. Concretamente el pinar tiene tasas de infiltración inicial 16 y 26,7 veces superior a las otras dos parcelas de matorral y 8,4 y 23 veces mayor en el caso de infiltración final.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivos generales

- Analizar el comportamiento de dos métodos de medida de la infiltración en parcelas de diferente naturaleza, realizando un sondeo inicial sobre parcelas que no han sido previamente estudiadas en este aspecto y dando pie a un análisis más focalizado y preciso en actuaciones futuras.
- Estudiar la infiltración en parcelas de bosque urbano englobadas en el Proyecto EMoNFUr, aportando así información adicional a la base de datos del mismo y del Instituto Forestal Esloveno.

3.2. Objetivos específicos

- Determinar la conductividad hidráulica no saturada mediante el uso de un infiltrómetro de minidisco Decagon en tres parcelas de bosque mixto en ladera, bosque de ribera y pradera desarbolada.
- Determinar la conductividad hidráulica saturada mediante el uso de un infiltrómetro de anillo simple de autoconfección en tres parcelas de bosque mixto en ladera, bosque de ribera y pradera desarbolada.
- Comprobar si existe una correlación entre los datos de conductividad hidráulica no saturada y conductividad hidráulica saturada en función de la zona analizada y sus características.
- Analizar las fortalezas y debilidades de los dos infiltrómetros empleados en los diferentes tipos de suelo estudiados.
- Clasificar los diferentes suelos estudiados en los grupos hidrológicos de NRCS (2007).

4. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

4.1. Localización geográfica

La zona de estudio se ubica en la República de Eslovenia, país ubicado en Europa Central. Limita al oeste con Italia y al suroeste con el mar Adriático, al norte con Austria y al noreste con Hungría. Las fronteras sur y este del país limitan con Croacia.

En la región central de este país (*Osrednjeslovenska*), se ubica Ljubljana, capital eslovena, bañada por los ríos Ljubljanica y Sava. En la ribera de este último se encuentran 2 de las parcelas a estudiar. Las otras dos se encuentran en una colina dentro del área metropolitana de Ljubljana llamada Rožnik.

La ubicación detallada de las parcelas en Europa se encuentra en el Anejo 1.

4.1.1. Parcela en el río Sava

El río Sava es el tercer afluente del río Danubio más grande en caudal y longitud. Sus 944 km de longitud abarcan desde la zona norte de Eslovenia hasta Belgrado, donde desemboca. El caudal medio es de 1.564 m³/s, aportando al Danubio alrededor del 25% de su caudal. Atraviesa cuatro países, que por orden son: Eslovenia, Croacia, Bosnia y Herzegovina y Serbia.

La cuenca tiene una superficie de 97.713 km² y abarca una gran parte de Eslovenia, Croacia, Bosnia y Herzegovina, Serbia, Montenegro y una pequeña parte de Albania (International Basin Sava River Commission, 2015).

En la ribera del río Sava, en la zona de *Gameljine*, es donde se ubica una de las parcelas estudiadas. Esta zona y la parcela estudiada se encuentran en la Red Natura 2000.

Bosque de ribera (Gpo) (Figura 4): Está situado en la margen izquierda del río Sava, entre éste y *Šmarna gora*, pasando el puente de la carretera Kranj-Ljubljana a unos 2,2 km de *Tacen*, la población más cercana. En esta parcela se recogen datos cada dos semanas de temperatura y humedad del suelo y del aire. Un estudio realizado en 2013 por Kutnar muestra la vegetación más representativa distribuida por estratos, se detalla en el epígrafe 4.7.



Figura 4. Bosque de ribera en el río Sava. Imagen previa a la proliferación de sustrato herbáceo. Imagen: Kutnar, L.

4.1.2. Parcelas en Rožnik

Rožnik es una colina en el oeste de la Ciudad de Ljubljana, en los distritos de Šiška y Rožnik. En esta colina se encuentra el parque de Tivoli, de gran afluencia con fines recreativos y deportivos para los habitantes de Ljubljana. Las parcelas que se van a estudiar en este punto están muy próximas al Instituto Forestal Esloveno, en la calle *Večna pot* con una altitud aproximada de 320 msnm. Es una ladera a pocos metros tras el edificio principal del Instituto. Las características de los dos puntos a estudiar son los siguientes:

- Bosque mixto (RF) (Figura 5): Es una ladera con cobertura forestal casi completa, alrededor del 80%. También en esta zona se han realizado diversos estudios del medio, detallados en 4.3. Resultados de estudios previos. También se ha realizado un estudio de vegetación en 2013, detallado en el epígrafe 4.7.



Figura 5. Parcela de bosque mixto en Rožnik. Imagen: Kutnar, L.

- Pradera (RG) (Figura 6): La parcela de estudio se encuentra desprovista de vegetación leñosa. Existen árboles con fines ornamentales en las proximidades pero la zona estudiada posee sólo césped. Se hace patente en algunas zonas la presencia de topos, que pueden alterar el resultado de los ensayos, pero se procura evitar estos puntos a la hora del muestreo.



Figura 6. Zona de pradera en Rožnik y estación meteorológica en la misma.

La ubicación aproximada de las parcelas aparece reflejada en la Tabla 3 y en el Anejo 1.

Las coordenadas exactas no se hacen públicas para proteger la integridad de las instalaciones y del experimento.

Tabla 3. Coordenadas de las parcelas estudiadas. Datum WGS 84. Fuente: (Vilhar, et al. 2013).

| Parcela | Zona | Longitud (°) E | Latitud (°) N | Altitud (m) |
|------------------|----------|----------------|---------------|-------------|
| Bosque de ribera | Gameljne | 14° 29' | 46° 07' | 296 |
| Bosque mixto | Rožnik | 14° 28' | 46° 03' | 321 |
| Pradera | Rožnik | 14°28' | 46° 03' | 306 |

4.2. Elección de parcelas

Para la elección de las parcelas se ha recurrido a zonas ya estudiadas en el proyecto EMoNFUr. De todas las estudiadas en este proyecto se escogen algunas de las que resulta interesante comparar, bien por su ubicación o por la masa que albergan. La caracterización detallada de las parcelas se encuentra en el epígrafe 4.1. Localización geográfica.

Una vez escogidas las zonas de estudio se definieron las parcelas. Éstas son de 5 metros de radio, próximas a las estaciones instaladas para el proyecto EMoNFUr. Se sitúan lo suficientemente lejos como para que los ensayos no puedan alterar las mediciones de las mismas. Además en algunos casos las zonas más cercanas a las estaciones se ven compactadas o pisadas debido al tránsito de los operarios que recogen los datos cada 15 días. Otro aspecto a valorar es la proximidad de alguna de las parcelas a zonas recreativas, éstas pueden ser atravesadas por senderos o caminos. En cualquiera de estos casos, se procura ubicar la parcela en zonas libres de impacto humano o modificaciones animales obvias como en el caso de las madrigueras de topos.

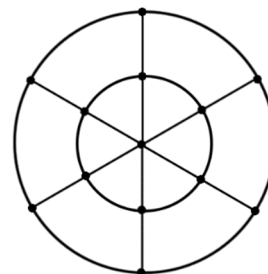


Figura 7. Esquema de los puntos orientativos de muestreo.

Los puntos de muestreo de humedad y los ensayos de infiltración se procuraron realizar en los puntos de intersección que aparecen representados en la Figura 7, siempre de la forma más representativa posible. En los casos en los que no era posible se realizaron en puntos apropiados cerca del mismo.

4.3. Resultados de estudios previos

Con motivo del proyecto EMoNFUr se han llevado a cabo diferentes estudios y acciones de monitorización en las zonas donde se encuentran las parcelas estudiadas.

Diferentes parcelas, entre las que se incluyen las de bosque de ribera y bosque mixto, han sido estudiadas durante dos años.

Biodiversidad de flora y fauna, crecimiento diametral de especies, observaciones meteorológicas, monitorización fitopatológica y edáfica, capacidad de retención del agua, calidad del aire, medición de elementos traza y polución por nitrógeno son los aspectos estudiados en el proyecto EMoNFUr.

Aquellos considerados de especial interés para una mejor comprensión del estudio aparecen destacados en las líneas inferiores.

• Marinšek y Kopal, en el año 2013 realizan un estudio de la variación de pH, carbono, nitrógeno, azufre y metales pesados, conforme profundizan en el suelo. La parcela de pradera queda fuera de estudio, por lo que sólo se muestran los datos de la zona de ribera y del bosque mixto en ladera.

En total, el proyecto EMoNFUr cuenta con 35 parcelas. Los datos de las parcelas de interés son los siguientes.

Tabla 4. Datos recogidos por estratos y zonas. Oi- Horizonte orgánico ligeramente descompuesto. Oh- Acumulación iluvial de materia orgánica. M- profundidades por centímetros. Extraído de gráficos en Marinšek y Kopal, 2013.

| | pH | | C org (g/100g) | | N (g/100g) | | S (g/100g) | |
|---------------------|-----|-----|----------------|-----|------------|------|------------|-------|
| | RF | Gpo | RF | Gpo | RF | Gpo | RF | Gpo |
| Oi | 5 | 4,2 | 51 | 43 | 1,7 | 1,55 | 0,12 | 0,14 |
| Oh | 4,1 | 3,3 | 37 | 24 | 1,75 | 1,4 | 0,18 | 0,16 |
| M (0-10 cm) | 3,2 | 3,2 | 6 | 8 | 0,35 | 0,45 | 0,05 | 0,07 |
| M (10-20 cm) | 4 | 4,1 | 4 | 5 | 0,2 | 0,2 | 0,025 | 0,035 |
| M (20-30 cm) | 4,1 | 4,2 | 2 | 2 | 0,1 | 0,15 | 0,03 | 0,04 |

En cuanto a pH, se puede generalizar que el bosque mixto de ladera es menos ácido que el bosque de ribera, registrando aun así valores de hasta 3,2. En cuanto al carbono orgánico, los horizontes orgánicos del bosque mixto presentan un mayor porcentaje que el del bosque de ribera. Tanto el carbono como el nitrógeno y el azufre siguen patrones similares relacionando parcelas y horizontes. Existe en la mayoría de los casos un porcentaje más alto de C, N y S en los horizontes orgánicos del bosque mixto de ladera pero los valores son iguales o mayores en los horizontes más profundos del bosque de ribera.

• En 2013 Vilhar y Žlindra monitorizaron varias parcelas de la zona de Rožnik (bosque mixto) y de Gameljne (bosque ribera) con el objetivo de cuantificar la capacidad de retención de agua. Se tomaron muestras de suelo, analizando en laboratorio el contenido de agua del suelo a presiones de 0,00; -1,00; -5,00; -10,00; -33,00; -100,00; -250,00 y -1500,00 KPa, realizando 4 o 5 repeticiones por cada estrato de suelo. También se determinó la densidad aparente realizando 4 o 5 repeticiones por estrato.

Los resultados de las parcelas objeto del presente estudio son los siguientes:

Tabla 5. Resultados de diferentes parámetros a diferentes profundidades en dos del bosque de ribera en Gameljne. Adaptado de Vilhar & Žlindra, 2013.

| Parcela | Profundidad de suelo (cm) | Capacidad de campo (-33kPa) (m ³ /m ³) | Punto de marchitamiento (-1500kPa) (m ³ /m ³) | Agua disponible (m ³ /m ³) |
|---------------|---------------------------|---|--|---|
| Bosque ribera | 0-5 | 0,43 | 0,16 | 0,27 |
| | 5-10 | 0,4 | 0,15 | 0,25 |
| | 10-20 | 0,41 | 0,15 | 0,26 |
| | 20-40 | 0,3 | 0,09 | 0,21 |
| | 40-60 | 0,28 | 0,03 | 0,24 |
| | 60-80 | 0,14 | 0,02 | 0,13 |

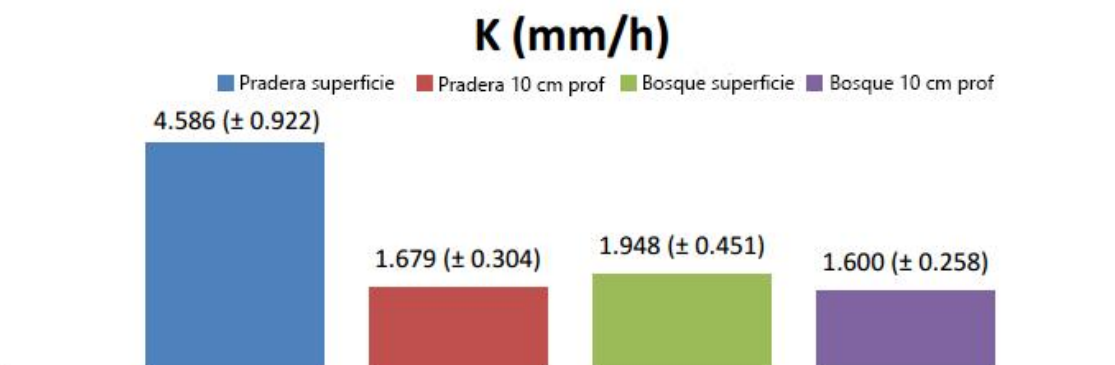
Tabla 6. Resultados de diferentes parámetros a diferentes profundidades en dos del bosque mixto en Rožnik. Adaptado de Vilhar & Žlindra, 2013.

| Parcela | Profundidad de suelo (cm) | Capacidad de campo (-33kPa) (m ³ /m ³) | Punto de marchitamiento (-1500kPa) (m ³ /m ³) | Agua disponible (m ³ /m ³) |
|--------------|---------------------------|---|--|---|
| Bosque mixto | 0-5 | 0,46 | 0,12 | 0,33 |
| | 5-10 | 0,35 | 0,14 | 0,21 |
| | 10-20 | 0,37 | 0,16 | 0,21 |
| | 20-40 | 0,32 | 0,16 | 0,16 |
| | 40-60 | 0,32 | 0,16 | 0,16 |
| | 60-80 | 0,35 | 0,16 | 0,19 |

Los datos de la tabla anterior serán útiles para comprender posteriormente los resultados obtenidos con los infiltrómetros de minidisco y anillo simple, pero de forma rápida se puede deducir que el bosque mixto posee una mayor cantidad de materia orgánica en los horizontes superficiales, por la menor densidad aparente y por la mayor cantidad de agua disponible. Los datos de los primeros centímetros serán especialmente interesantes en el caso del infiltrómetro de minidisco pues estudia la K_{nosat} de las capas más superficiales del suelo.

- También se han realizado experiencias de infiltración con infiltrómetros de minidisco a presiones de -2 cm y con cilindros de doble anillo en parcelas cercanas y de misma naturaleza que las estudiadas en este documento, como la de Jordan en 2010. Esta tesis recoge datos de pradera y bosque, dentro de tres suelos distintos. Además realiza mediciones en superficie y a 10 cm de profundidad. Los resultados a grandes rasgos son los siguientes:

En la zona más cercana y afín a Rožnik, donde se sitúan las parcelas de Bosque Mixto y de Pradera, se obtienen los siguientes resultados de conductividad hidráulica no saturada:

**Figura 8. Resultados de conductividad hidráulica no saturada con infiltrómetro de minidisco. Adaptado de Jordan, 2010.**

Se observa que los datos en superficie difieren bastante entre ellos. Los resultados en pradera son mucho mayores que los de bosque, como también postula Ward & Trimble, (2004) en Jordan (2010). Sin embargo, descartando el estrato superior, las mediciones son mucho más homogéneas. Posiblemente sea debido a que los suelos son de la

misma naturaleza pero la vegetación existente no, y ésta desempeña un papel fundamental en la infiltración.

4.4. Clima

En este apartado se comentan los datos más relevantes del clima de la zona estudiada. Los datos que dan pie a este resumen están recogidos en ANEJO 2. ANEJO CLIMATOLÓGICO

La estación más cercana y la que se tomará de referencia se encuentra en la zona de Bežigrad, casi a 3 km de las parcelas de Rožnik y a unos 6,40 km de Gameljne.

Las coordenadas de esta estación son Latitud 46,067 y Longitud 14,517 La altitud es de 299 msnm. La serie de datos de la que se dispone para este estudio es un periodo de 30 años entre 1981 y 2010.

Como síntesis de estos datos se puede destacar que registra unas precipitaciones de 1362 mm anuales, más del triple de las registradas en Palencia por ejemplo, y no existe un marcado periodo de lluvias. La estación más seca es el invierno, con 246 mm y la más lluviosa es el otoño con 423 mm.

En cuanto al régimen térmico, la temperatura media anual es de 10,9 °C, el mes más cálido es julio con 21,3 °C de media y el más frío enero con 0,3 °C. En este caso, haciendo un símil con Palencia, se puede concluir que posee temperaturas más extremas, puesto que la media del mes más frío es 3,2 °C más baja y la del mes más cálido es 0,8 °C más alta. Sin embargo las medias anuales resultan ser muy similares, puesto que la de Palencia es 0,4 °C más alta.

En cuanto al resto de temperaturas, aparecen reflejadas en la siguiente tabla:

Tabla 7. Temperaturas de la estación Bežigrad en Ljubljana. Datos extraídos de ARSO, 2014.

| Variable | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|----------|-------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| t (°C) | 0,3 | 1,9 | 6,5 | 10,8 | 15,8 | 19,1 | 21,3 | 20,6 | 16 | 11,2 | 5,6 | 1,2 |
| Tm (°C) | 3,4 | 6,4 | 11,4 | 16,1 | 21,4 | 24,6 | 27,3 | 26,7 | 21,6 | 15,9 | 8,8 | 3,8 |
| tm (°C) | -2,5 | -2 | 1,7 | 5,8 | 10,3 | 13,7 | 15,5 | 15,2 | 11,5 | 7,7 | 2,8 | -1,1 |
| Tma (°C) | 15,8 | 19,7 | 24,3 | 27,8 | 32,4 | 35,6 | 37,1 | 37,3 | 30,3 | 25,8 | 20,9 | 16,7 |
| tma (°C) | -20,3 | -18 | -14,1 | -3,2 | 0,2 | 3,8 | 7,4 | 5,8 | 3,1 | -5,2 | -14,5 | -14,5 |

Donde:

- t (°C): temperatura media mensual.
- Tm (°C): temperatura media de las máximas.
- tm (°C): temperatura media de las mínimas.
- Tma (°C): media de las temperaturas máximas absolutas.
- tma (°C): media de las temperaturas mínimas absolutas.

La representación gráfica de las mismas se muestra en la Figura 9.

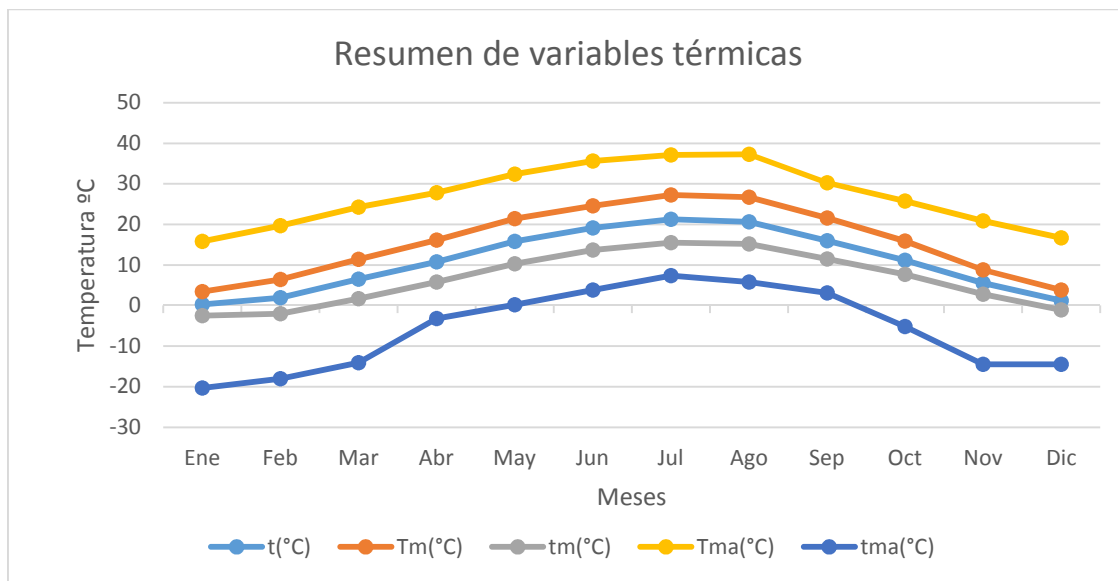


Figura 9. Resumen de temperaturas en la estación de Bežigrad, Ljubljana. t: Temperatura media mensual; Tm: Temperatura media de las máximas; tm: temperatura media de las mínimas; Tma: Media de las temperaturas máximas absolutas; tma: media de las temperaturas mínimas absolutas. Datos obtenidos de ARSO (2015).

Para relacionar los dos factores comentados previamente, se ha realizado un climodiagrama, en el que se representan la temperatura media en el eje derecho de ordenadas y la precipitación registrada en cada mes en el eje izquierdo, siempre una relación 2:1 de valores en el eje con respecto al de temperatura. Los valores utilizados y el climodiagrama se muestran a continuación.

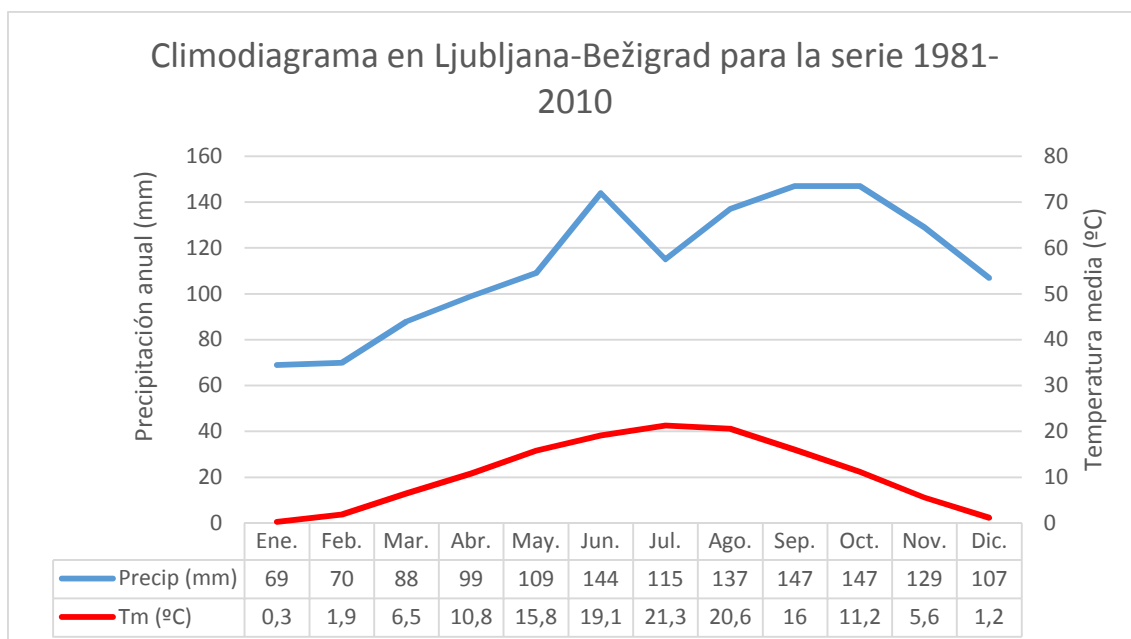


Figura 10. Climodiagrama de Ljubljana y tabla de datos empleados. Datos extraídos de ARSO, 2015.

4.5. Características edáficas

A continuación se ofrece una descripción de los datos recabados tanto en éste como en otros estudios con estas parcelas o con otras a pocos metros de la misma naturaleza (Vilhar & Žlindra, Soil water holding capacity monitoring, 2013), (Vilhar *et al*, 2013), (Jordan, 2010), (Marinšek & Vilhar, 2015).

Las parcelas de bosque mixto (RF) y bosque de ribera (Gpo) están bajo estudio con el proyecto EMO NFUr, 2015. La de pradera (RG) fue estudiada en 2010 por Jordan. Los datos recogidos en estas publicaciones servirán como complemento para una mejor comprensión de los resultados.

4.5.1. Bosque mixto

Se trata de un bosque mixto situado en la ladera de una zona recreativa. Tiene una pendiente aproximada media del 30%. Como se observa en la Figura 11, en 2013 se realizó una calicata para conocer la naturaleza del suelo.

Éste se ha descrito como Cambisol Dístrico. Cambisol proviene de *cambiare*, y hace alusión a unos horizontes bien diferenciados por el color, la estructura u otros factores. (Unex, 2015). Es el resultado de alteraciones físicas como congelación, proliferación de raíces, incrementos y decrementos de humedad, actividad animal... o químicas como hidrólisis primaria de minerales, formando arcillas, disolución y redistribución de carbonatos u otros procesos. También un suelo cámbico puede ser la mezcla de cualquiera de los procesos anteriores (USDA, 1999).



Figura 11. Calicata en suelo Cambisol dístrico, propio de la zona de Rožnik, donde se sitúa la parcela de bosque mixto. Fuente: (Emonfur, 2015).

Por otra parte la característica diagnóstico más importante de los suelos dístricos es que tiene una saturación de bases menor del 50% entre los 20 y 100 cm superiores.

El horizonte orgánico tiene una profundidad de unos 10 cm, que presenta materia orgánica sin descomponer y una cierta hidrofobicidad. La relación C/N es de 19,2. Es una cifra alta, distante del valor 10, que se considera adecuado en cuanto a velocidad de descomposición, sin embargo en zonas de coníferas y otras especies similares, estos valores suelen superar este valor con facilidad (Rodríguez Barreira, 2008) La profundidad total del suelo ronda los 130 cm.

Tabla 8. Densidades aparentes a diferentes profundidades en bosque mixto (RF). Adaptado de Vilhar y Žlindra (2013).

| Prof. del suelo (cm) | Densidad aparente (g/cm ³) |
|----------------------|--|
| 0-5 | 0,55 |
| 5-10 | 0,79 |
| 10-20 | 1,00 |
| 20-40 | 0,94 |
| 40-60 | 1,11 |
| 60-80 | 1,30 |
| Promedio | 1,03 |

En cuanto a la textura del suelo es franco arcillo arenoso con una pedregosidad del 17%.

4.5.2. Bosque de ribera

Se diagnosticó como suelo fluvisol. Éstos suelen estar desarrollados sobre depósitos aluviales, son áreas que se inundan con cierta periodicidad, como riberas, deltas... Suelen presentar estratificación de materiales debido a la erosión por arroyos o diversos flujos de agua. Su contenido de materia orgánica tiende a ser elevado (USDA, 1999).

Este suelo presenta un perfil de materia orgánica de 4 cm, más fino que la parcela anterior, y una profundidad edáfica total de 90 cm. El Atlas Esloveno (Atlas Okloja, 2015) considera el suelo calcáreo poco profundo. La pendiente de este terreno es prácticamente nula puesto que se encuentra en una llanura en la ribera del Sava. Su pedregosidad es del 21% y la densidad aparece reflejada en la Tabla 9.



Figura 12. Calicata realizada en el año 2013 en la zona de Gameljne, el bosque de ribera a orillas del río Sava. Fuente: Emonfur (2015).

La relación C/N es de 16,3, más baja que la parcela superior, pero siempre elevada con respecto a la relación C/N 10 antes citada, evidencia materia orgánica sin descomponer. La textura es arcillo limosa según Marinšek y Vilhar (2015).

Tabla 9. Densidades aparentes a diferentes profundidades en Bosque de ribera (Gpo). Adaptado de Vilhar y Žlindra (2013).

| Prof. del suelo (cm) | Densidad aparente (g/cm ³) |
|----------------------|--|
| 0-5 | 0,66 |
| 5-10 | 0,94 |
| 10-20 | 1,14 |
| 20-40 | 1,11 |
| 40-60 | 1,26 |
| 60-80 | 1,56 |
| Promedio | 1,20 |

4.5.3. Pradera

Esta parcela contiene una estación meteorológica del proyecto EMO NFUr, pero no ha sido objeto de estudio edafológico por el mismo. La pendiente de esta parcela es aproximadamente del 13%. Los análisis de textura de Jordan (2010) demuestran que posee una textura franco arenosa. Al carecer de arbolado, el aporte de materia orgánica es más bajo. También el sistema radicular es más superficial, dando pie a un horizonte

orgánico más reducido, de unos 2-3 cm. La pedregosidad también es menor en esta parcela y salvo zonas modificadas por fauna, la estructura del suelo es más homogénea. Esta parcela carece de información edafológica tan detallada como las anteriores por no incluirse en el proyecto EMonFUr.

4.6. Características hidrológicas

En cuanto a las condiciones hidrológicas de las parcelas, fluctúan mucho en función de la zona donde se encuentran.

Por un lado, las dos parcelas en Rožnik están distantes de cualquier corriente de agua, por lo que no tienen un régimen especial de inundación. Están ambas fuera del alcance del caudal con periodo de retorno de 500 años. Sin embargo, en momentos de fuerte precipitación las zonas inferiores a la ladera se inundan como producto de la escorrentía arrastrando también gran cantidad de sedimentos.

Con respecto a Gameljne, al encontrarse a orillas del río Sava, sí son frecuentemente inundadas. La Figura 13 muestra el río Sava y las superficies de inundación para los periodos de retorno Q10, Q100 y Q500. La parcela se ve afectada por la inundación con periodo de retorno de 10 años, y por ende de 100 y 500.

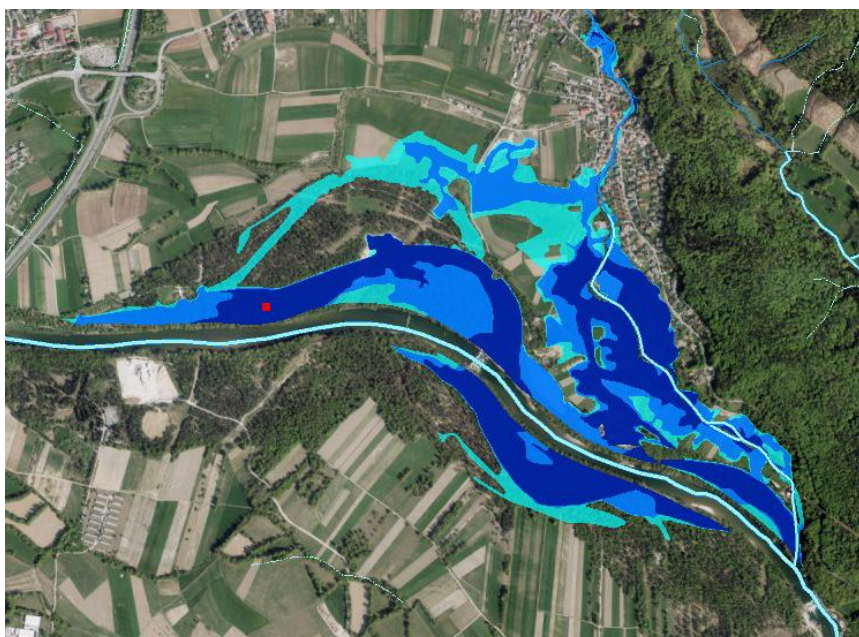


Figura 13. Periodos de retorno Q10 (azul oscuro), Q100 (azul) y Q500 (azul claro) en la zona de Gameljne (Bosque de Ribera). El punto rojo representa la localización aproximada de la parcela. Extraído de Atlas Okolja (2015).

4.7. Vegetación existente

En 2013 Kutnar, detalla en un estudio de monitorización de biodiversidad, flora, vegetación y hábitat, la metodología y resultados obtenidos aparecen descritos en este apartado.

Tanto para la zona de Rožnik como la de Gameljne, se tomaron 3 tipos de parcelas:

LVP (*Large Vegetation Plot*), de 50x50 metros. Dentro de ésta se tomó otra de 20x20 metros a la que se le denominó MVP (*Medium Vegetation Plot*) y dentro también de la mayor se escogieron 10 pequeñas parcelas de 2x2 metros distribuidas de forma aleatoria para identificar cambios de menos escala en la vegetación. La Figura 14 muestra un esquema de distribución de las parcelas del bosque de ribera.

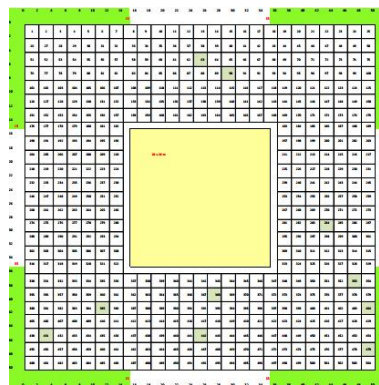


Figura 14. Parcelas para el estudio de la vegetación. La amarilla central es la MVP, y las 10 pequeñas sombreadas de alrededor representan las SVP. Fuente: Kutnar, 2013.

Las especies encontradas por zona y por estrato aparecen descritas en los siguientes epígrafes.

4.7.1. Vegetación en bosque mixto (Rožnik)

Las especies más frecuentes encontradas son:

Estrato arbóreo: *Quercus petraea*, *Picea abies*, *Castanea sativa*, *Robinia pseudoacacia*.

Estrato arbustivo: *Rubus hirtus*.

Estrato herbáceo: *Anemone nemorosa*, *Erythronium denscanis*, *Pteridium aquilinum*, *Crocus vernus* subsp. *vernus*, *Maianthemum bifolium*.

4.7.2. Vegetación en bosque de ribera (Gameljne)

Estrato arbóreo: *Acer pseudoplatanus*, *Alnus glutinosa*, *Salix elaeagnos*, *Fraxinus excelsior*.

Estrato arbustivo: *Rubus caesius*, *Cornus sanguinea*.

Estrato herbáceo: *Solidago gigantea*, *Galanthus nivalis*, *Allium unrsinum*, *Aegopodium podagraria*, *Fallopia japonica*, *Lamium orvala*, *Ranunculus ficaria*.

Especialmente en la ribera del río Sava, se encontró un gran número de especies alóctonas e invasivas, que proceden en su mayoría de parques y jardines de zonas urbanas y periurbanas. Aproximadamente el 8-9% de la flora estudiada es alóctona, y el 6% invasiva. Destaca de entre estas *Solidago gigantea* y *Fallopia japónica*. Estas forman un manto que recubre por completo la parcela estudiada y su porte puede alcanzar el metro y medio en este punto. Estas especies dificultaron tanto el transporte del material como el acceso a la parcela y el muestreo en sí, y suponen también un problema, además de para la flora, para el uso recreativo que se deriva de las zonas verdes periurbanas.

Otros nombres de especies invasivas en el bosque de ribera son: *Rudbeckia laciniatam*, *Erigeon annuus*, *Helianthus tuberosus*, *Impatiens glandulifera*, *Impatiens parviflora*, *Physocarpus opulifolius*.



Figura 15. Estado del estrato herbáceo en el bosque de ribera. La ubicuidad y densidad del *Solidago gigantea* dificultó las labores de medición. El palo indica el centro de la parcela estudiada. Imagen propia.

4.7.3. Vegetación en pradera

En la zona estudiada sólo se observaron césped y especies herbáceas de un máximo de 15 cm de altura. Esta zona se somete a corta periódicamente puesto que cumple función fundamentalmente ornamental. Cercanos a la parcela había ejemplares de *Picea abies* y *Cupressus spp.* entre otros, pero decorativos y fuera del área estudiada.

5. MATERIAL Y MÉTODOS

5.1. Toma de datos en campo

5.1.1. Infiltrómetro de anillo simple

Respecto al infiltrómetro de anillo, se han elaborado dos infiltrómetros de acero inoxidable a los que se les ha adherido una regla impresa y sellada contra el agua en la pared interior del cilindro. Las dimensiones del mismo son de 10 cm de diámetro interior con un espesor de 1,5 mm de pared. La altura del infiltrómetro es de 22 cm. El diámetro empleado permite versatilidad en el transporte del mismo y reduce el volumen de agua requerido. Autores como Cerdá (1995) o Mongil y Navarro (2012) han trabajado con diámetros similares con buenos resultados.

A este cilindro está marcado en su parte exterior a 5 centímetros de la base, para indicar hasta dónde clavar el infiltrómetro en el suelo.

La metodología consiste en cortar la vegetación de la superficie a medir y clavar el infiltrómetro hasta la marca de 5 cm. Durante el clavado se procura modificar lo menos posible la estructura del suelo. En el caso de zona de ladera se clavará siempre perpendicular a la horizontal y no a la pendiente del suelo. Tras esto, y para reducir en la medida de lo posible el flujo lateral, se realiza una pequeña zanja de unos 5 cm de ancho y profundidad dejando un pequeño espacio entre ésta y el infiltrómetro. Antes del comienzo del ensayo se inunda la zanja para humedecer la zona circundante.

Se comienza el ensayo llenando el infiltrómetro casi completamente, procurando verter el agua afectando lo menos posible la estructura del suelo. Tras esto se pone en marcha el cronómetro. La cadencia de llenado depende de las características del suelo. Por lo general se deja infiltrar 5 cm de agua y se vuelve a llenar, pero si la infiltración es lenta, la medición de tiempo se realiza cada 2 cm. Este proceso se repite hasta que el tiempo transcurrido entre llenados sea constante o tras haber transcurrido aproximadamente 3 horas desde el inicio del ensayo. Durante este proceso se procura mantener la zanja húmeda en todo momento.

Se consideran suficientes 4 repeticiones en cada parcela de 5 metros de radio.



Figura 16. Instalación del infiltrómetro de anillo simple y detalle de la escala de medida.



Figura 17. Instalación del cilindro en pendiente. Siempre perpendicular a la horizontal y no al terreno.

5.1.2. Infiltrómetro de minidisco

Para la instalación de este infiltrómetro en primer lugar se limpia de vegetación con unas tijeras de podar la zona a medir evitando tirar de las raíces que sobresalgan puesto que se abrirían macroporos. Si la presencia de macroporos es excesiva, el infiltrómetro no libera agua y el experimento no comienza. Para evitar esto se retira la capa de materia orgánica de la parte superior así como la hojarasca, con el mayor cuidado posible de alterar lo mínimo posible las características del suelo.

El diámetro del tapón permeable es de 4,5 cm, una superficie pequeña, por lo que resulta de gran importancia asegurarse que toda ella está en contacto con el suelo. Para asegurarnos se administra una pequeña capa de arena fina en la superficie donde se va a instalar el infiltrómetro (Ruiz Sinoga, *et al.*, 2003), (Jordan, 2010), (Enríquez & Orozco, 2011). Para compensar el exceso de absorción de agua debido a la arena, se descartan los 30 primeros segundos de medición, tiempo que se considera suficiente como para que la arena se humedezca por completo. En los ensayos piloto previos a los definitivos no se aplicó la capa de arena y tras el experimento se observaba que algunas partes del círculo no habían llegado a humedecerse, por lo que se optó por este sistema. En caso de que el instrumento presente inestabilidad se mantiene en pie con un soporte de laboratorio. Se llenan ambos compartimentos de agua, se escoge la presión con la que se va a trabajar, se posa sobre el punto elegido e inmediatamente se pone en marcha el cronómetro. El funcionamiento y el proceso de preparación en detalle pueden encontrarse en el epígrafe 2.4.1. Métodos de medida.



Figura 18. El primer paso para la instalación del minidisco es retirar la vegetación y añadir una fina capa de arena.

Las mediciones se realizarán cada 30 segundos, anotando la altura de la columna de agua dentro del tubo. El ensayo se da por terminado cuando se vacía el tubo o pasados 15 minutos, ya que tras este periodo no se aprecian variaciones en el experimento. Las experiencias en campo pueden devolver ensayos nulos. Se considerará una repetición como no válida cuando no se empleen más de 15-20 ml como dice el manual del usuario del infiltrómetro (Decagon, 2014) o cuando el volumen de agua en el infiltrómetro se detenga. Esto puede deberse a irregularidades próximas a la superficie o poros que no pueden ser llenados por el minidisco.



Figura 19. Detalle de montaje del infiltrómetro de minidisco en la pradera de Rožnik.

La presión seleccionada variará en función de las condiciones del suelo. Por lo general se ha medido a una presión de 1 cm, pero en la parcela del bosque mixto en Rožnik en puntos concretos se ha tenido que reducir a 0,5 para iniciar el experimento. Puede ser debido al exceso de materia orgánica y macroporos en algunos puntos.

5.1.3. Humedad y temperatura

La toma de datos de humedad ha sido realizada con un instrumento de medición TDR, siglas de *Time-Domain Reflectometer*. Para la medición, la metodología desarrollada es la siguiente:

Se clavan las sondas de 10 o 20 cm a una distancia siempre constante.

Se conectan mediante cables con pinzas al núcleo de medición TDR 100 *Campbell Scientific*, que a su vez está conectado a una batería.



Figura 20. Instalación y medición de la humedad del suelo con el equipo TDR.

Este núcleo recibe la información de

humedad del suelo y la envía a un pequeño ordenador de campo que interpreta la señal mediante el software del fabricante, devolviendo el porcentaje de humedad del suelo. Paralelamente se mide también la temperatura del suelo, con un termómetro de clavado de 15 cm.

En los momentos de medición con **infiltrómetro de minidisco** se tomaron 5 puntos en la parcela para medir la humedad con la sonda de 10 centímetros. Para localizar los 5 puntos de ensayo se trazó una cruz en la parcela con dos diámetros perpendiculares y

se tomaron el centro del círculo y los 4 puntos de intersección de los diámetros con la circunferencia. Se realizaron 2 ó 3 repeticiones en cada uno para evitar posibles errores por parte del aparato o en la metodología. También se midió la temperatura en cada punto. El promedio de los 2 valores más similares de cada punto da una idea de la humedad presente en toda la parcela.

Para los ensayos con el **infiltrómetro de anillo simple** la metodología fue diferente. Se tomaron 4 puntos alrededor de la zona donde se iba a instalar el infiltrómetro, aproximadamente a 7 cm. Por cada uno de estos 4 puntos se realizan 2 ó 3 repeticiones a profundidades de 10 y 20 cm. Con esto se conoce la humedad relativa del suelo antes del experimento.

Un aspecto importante concerniente a este tipo de infiltrómetros es la infiltración lateral que pueda existir. Por esto se realizan mediciones antes y después del ensayo a diferentes alturas (10 y 20 cm). Si existe gran diferencia de humedad entre antes y después significa que la infiltración lateral es alta y por tanto los valores que se recojan estarán sobredimensionados. Otro caso posible es que la humedad final fluctúe demasiado en alguno de los 4 puntos medidos. Esto puede significar que existe alguna fuga de agua (grietas, hoquedades...) bajo la superficie. En este caso también se estaría sobredimensionando la infiltración real. Además, después del ensayo, al retirar el cilindro, se tomó la humedad a 10 y 20 cm de profundidad donde había sido instalado el infiltrómetro. En este punto cabe esperar que el suelo esté completamente saturado, y comparando éste con los demás de los alrededores del experimento podemos ser conscientes, al menos a nivel cualitativo, de la cantidad de infiltración lateral que se ha producido.

También hay que tener en cuenta que en el desarrollo del experimento pueden darse situaciones que alteren estas mediciones, como por ejemplo el derrame accidental de agua cerca del mismo o el desbordamiento puntual de la zanja en alguna de las partes del perímetro. En cualquiera de los casos, se ha procurado tomar los datos de las zonas que mejor reprodujesen las condiciones que se buscaban, por lo que alguno de los puntos de toma de humedad ha tenido que ser desplazado.

5.2. Tratamiento de datos

5.2.1. Infiltrómetro de anillo simple

Con los datos recogidos en campo se calcula directamente la tasa de infiltración final, que es el fin último de estas mediciones. Este valor es la velocidad a la que infiltra el agua en el suelo, por lo que se divide los mm de columna de agua infiltrada entre el tiempo que ha precisado para infiltrar, los resultados se muestran en mm/h.

La tasa final de infiltración se calcula tomando de referencia la metodología empleada por (Cerdá, Factores y variaciones espacio-temporales de la infiltración en los ecosistemas mediterráneos, 1995) calcula la tasa final de infiltración como el promedio de los valores de los 5 últimos minutos del ensayo, teniendo en cuenta que sus ensayos tienen una duración de 60. Campano Fernández (2014), siguiendo esta metodología, realiza el promedio de la última media hora de ensayo.

El criterio de este estudio para calcular la tasa final de infiltración es la media de los datos cuando se considera estable el experimento. Por esto se ha realizado el promedio

de los seis últimos valores tomados en campo, que corresponde en la mayoría de los casos a los últimos 20-30 minutos, intervalo que se considera estable y representativo en todos los ensayos realizados.

5.2.2. Infiltrómetro de minidisco

Recopilados los datos de las repeticiones en campo se introducen en la hoja de cálculo proporcionada por el fabricante Decagon (datos en verde de la Tabla 10). Los datos de entrada necesarios son los intervalos de tiempo estudiados, los niveles de agua en los mismos, la textura del suelo y la presión utilizada.

Tabla 10. Ejemplo de datos en la hoja de cálculo. Las columnas en verde son los resultados en campo. (Decagon, 2014 b).

| Time (s) | sqrt (t) | Volume (mL) | Infil (cm) |
|----------|----------|-------------|------------|
| 0 | 0,00 | 95 | 0,00 |
| 30 | 5,48 | 89 | 0,38 |
| 60 | 7,75 | 86 | 0,57 |
| 90 | 9,49 | 83 | 0,75 |
| 120 | 10,95 | 80 | 0,94 |
| 150 | 12,25 | 77 | 1,13 |
| 180 | 13,42 | 75 | 1,26 |
| 210 | 14,49 | 73 | 1,38 |
| 240 | 15,49 | 71 | 1,51 |
| 270 | 16,43 | 69 | 1,63 |
| 300 | 17,32 | 67 | 1,76 |

Con esto la hoja de cálculo devuelve la curva que relaciona la infiltración acumulada y la raíz cuadrada del tiempo empleado (Figura 21). El eje vertical relaciona el volumen que se ha infiltrado en cada intervalo con la superficie permeable del infiltrómetro.

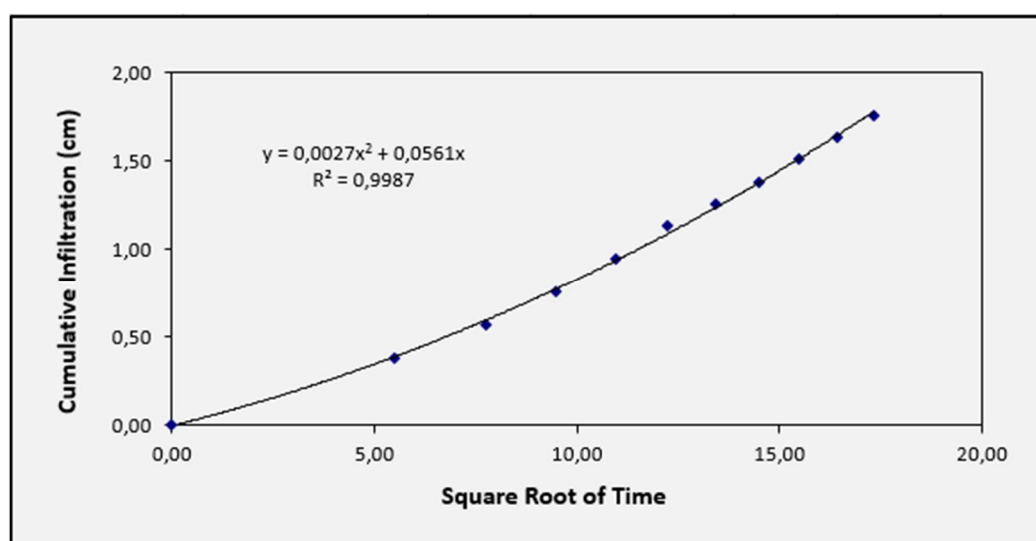


Figura 21. Curva ejemplo de infiltración extraída de la hoja de cálculo. Decagon (2014 b).

Los datos reales de las repeticiones del estudio aparecen reflejados en el ANEJO 3. DATOS EN CAMPO

El método de cálculo de la conductividad hidráulica se lleva a cabo mediante el método de Zhang propuesto en 1997, tal y como indica el fabricante. La función es la siguiente:

$$I = C_1 t + C_2 \sqrt{t}$$

Donde C_1 está relacionado con la conductividad y C_2 con la sortividad del suelo. La conductividad hidráulica del suelo K , viene definida por:

$$K = \frac{C_1}{A}$$

En esta ecuación el parámetro A es una relación entre el ratio de succión del suelo y el radio del disco del infiltrómetro. Se calcula mediante las siguientes ecuaciones:

Si $n \geq 1,9$, entonces:

$$A = \frac{11,65(n^{0,1} - 1)\exp[2,92(n - 1,9) \alpha h_0]}{(\alpha r_0)^{0,91}}$$

Si $n < 1,9$, entonces:

$$A = \frac{11,65(n^{0,1} - 1)\exp[7,5(n - 1,9) \alpha h_0]}{(\alpha r_0)^{0,91}}$$

Donde n y α son los diferentes parámetros de Van Genuchten para el suelo (Tabla 11), r_0 es el radio del disco y h_0 es la succión en la superficie del disco.

El infiltrómetro de minidisco puede infiltrar agua de -0,5 a -6 cm y su radio es de 2,25 cm. Los parámetros de van Genuchten para las 12 clases de textura que se deben escoger son obtenidos de Carsel and Parrish (1988) en Decagon (2014 a).

Tabla 11. Valores de A en función de la presión (h_0) y la textura del suelo para un radio de 2,25 cm. Extraído de 2014 a.

| α | n/ h_0 | h_0 | | | | | | | |
|------------|----------|-------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| | | -0.5 | -1 | -2 | -3 | -4 | -5 | -6 | |
| Texture | | A | | | | | | | |
| Sand | 0.145 | 2.68 | 2.84 | 2.40 | 1.73 | 1.24 | 0.89 | 0.64 | 0.46 |
| Loamy Sand | 0.124 | 2.28 | 2.99 | 2.79 | 2.43 | 2.12 | 1.84 | 1.61 | 1.40 |
| Sandy Loam | 0.075 | 1.89 | 3.88 | 3.89 | 3.91 | 3.93 | 3.95 | 3.98 | 4.00 |
| Loam | 0.036 | 1.56 | 5.46 | 5.72 | 6.27 | 6.87 | 7.53 | 8.25 | 9.05 |
| Silt | 0.016 | 1.37 | 7.92 | 8.18 | 8.71 | 9.29 | 9.90 | 10.55 | 11.24 |
| Silt Loam | 0.020 | 1.41 | 7.10 | 7.37 | 7.93 | 8.53 | 9.19 | 9.89 | 10.64 |
| Sandy Clay | 0.059 | 1.48 | 3.21 | 3.52 | 4.24 | 5.11 | 6.15 | 7.41 | 8.92 |
| Loam | 0.019 | 1.31 | 5.86 | 6.11 | 6.64 | 7.23 | 7.86 | 8.55 | 9.30 |
| Silty Clay | 0.010 | 1.23 | 7.89 | 8.09 | 8.51 | 8.95 | 9.41 | 9.90 | 10.41 |
| Loam | 0.027 | 1.23 | 3.34 | 3.57 | 4.09 | 4.68 | 5.36 | 6.14 | 7.04 |
| Sandy Clay | 0.005 | 1.09 | 6.08 | 6.17 | 6.36 | 6.56 | 6.76 | 6.97 | 7.18 |
| Silty Clay | 0.008 | 1.09 | 4.00 | 4.10 | 4.30 | 4.51 | 4.74 | 4.98 | 5.22 |
| Clay | | | | | | | | | |

Tras cada repetición en campo, los datos se vuelcan en la hoja de cálculo y se obtiene un valor de conductividad hidráulica y una curva de tendencia. Para realizar una comparativa de este parámetro en las tres parcelas estudiadas, con los 12 ensayos realizados se construirá una única gráfica. Para la realización de la misma se toman intervalos de un minuto y se calculan las medias de los valores de los 12 ensayos en cada minuto. Para hacer más homogénea esta comparativa, se ha supuesto que todos los ensayos terminan en volumen cero. De este modo se han modificado los valores iniciales de volumen de los ensayos pero no su intervalo, permaneciendo intacta la curva de tendencia y los valores de conductividad hidráulica.

5.3. Determinación del grupo hidrológico del suelo

Las tres parcelas estudiadas se tratarán de clasificar en grupos hidrológicos conforme al método del Número de Curva. Éste permite predecir la escorrentía superficial generada por un aguacero, atendiendo a diferentes características del suelo como textura, profundidad, permeabilidad, conductividad hidráulica a saturación, etc.

Los estudiados son parcelas y bosques perirbanos o urbanos, por lo que los datos obtenidos mediante esta clasificación deben considerarse en futuras actuaciones en el ámbito de la planificación del territorio.

Esta clasificación originalmente es descrita en 1955 por Musgrave. Posteriormente se han ido modificando las definiciones y delimitaciones (SSDS, 1993; NRCS, 2007 en Mongil & Navarro, 2013). Según NRCS (2007), los cuatro grupos hidrológicos de suelo son:

- Grupo A. Suelos con gran capacidad de infiltración aun estando húmedos. Tienen menos del 10% de arcilla y más del 90% de arena y/o gravas. Pueden tener texturas más finas si el suelo presenta una buena estructura de los agregados, baja densidad aparente y/o más del 35% de fragmentos rocosos.

En todos los horizontes la K_{sat} es mayor de 144 mm/h, si la capa impermeable se encuentra a más de 50 cm o el nivel freático se encuentra a más de 60 cm. Si el suelo tiene más de 100 cm de profundidad debe tener una K_{sat} superior a 36,1 mm/h.

- Grupo B. Son suelos con moderada capacidad de infiltración en condiciones de saturación. Poseen texturas más finas, entre un 10 y un 20% de arcilla y entre 50 y 90% de arena. Las texturas del grupo B son generalmente franco-arenosa o arenoso-franca. También se incluyen texturas más finas si la estructura presenta buenos agregados, baja densidad aparente y/o más del 35% de fragmentos rocosos. La conductividad hidráulica a saturación del horizonte más impermeable, a una profundidad de hasta 50 cm, está entre los 36,1 y 144 mm/h. La profundidad del suelo hasta una capa impermeable es superior a 50 cm o el nivel freático se encuentra a más de 60 cm. Los suelos de profundidad mayor a 100 cm hasta el nivel freático o hasta la capa impermeable deben registrar una K_{sat} entre 14,5 y 36,1 mm/h.
- Grupo C. A saturación estos suelos poseen escasa capacidad de infiltración. Tienen entre un 20 y un 40% de arcilla y menos del 50% de arena. Las texturas son franca, franco-limosa, franco-arcillo-arenosa, franco-arcillosa y franco-arcillo-limosa; o texturas más finas como arcillosa, arcillo-limosa o arcillo-arenosa, si la estructura presenta buenos agregados, baja densidad aparente y/o más del 35% de fragmentos rocosos. La K_{sat} del horizonte más impermeable de no más de 50 cm de profundidad está entre 3-6 y 36,1 mm/h. La profundidad a una capa impermeable es mayor de 50 cm o el nivel freático se encuentra a más de 60 cm. Aquellos suelos con más de 100 cm de profundidad hasta el nivel freático o hasta la capa impermeable deben tener una conductividad hidráulica a saturación mayor de 1,5 mm/h en todo el perfil, pero menor de 14,5 mm/h.
- Grupo D. Poseen gran potencial de escorrentía en condiciones de saturación. Tienen más de un 40 % de arcilla y menos de un 50% de arena, por tanto son suelos de textura arcillosa. Pueden presentar fenómenos de expansión-contracción. El nivel freático se encuentra a menos de 60 cm o el estrato impermeable a menos de 50. Los suelos con una capa impermeable a profundidades comprendidas entre los 50 y los 100 cm, la conductividad hidráulica será menor de 3,6 mm/h. Los suelos con profundidades superiores a 100 cm hasta la capa impermeable o el nivel freático deben tener una K_{sat} inferior a 1,5 mm/h en todo el perfil.

5.4. Análisis estadístico

Los análisis realizados son resúmenes estadísticos de los datos de cada factor y parcela y ANOVA con Statgraphics Centurion XVI.

En definitiva son comparativas de los diferentes factores entre parcelas. Los datos resultantes de todas las mediciones son comparados, en primer lugar para tratar de conocer si existe alguna relación entre los valores de conductividad hidráulica y el tipo de parcela estudiado. Por otra parte también existen valores de humedad, antes de las mediciones, después, y por ende el incremento de humedad que ha sufrido el suelo en

los alrededores. Comprobaremos, mediante ANOVA, en los casos posibles, la correlación de todos estos datos con los valores de infiltración obtenidos.

6. RESULTADOS

En este epígrafe se recogen todos los datos sintetizados y resumidos, como producto final de los datos en bruto tomados en campo, que pueden encontrarse en el ANEJO 3. DATOS EN CAMPO.

La nomenclatura tomada para abreviar los nombres de las parcelas son:

Bosque Mixto en Rožnik= RF (Rožnik Forest)

Bosque de ribera en Gameljne= GPo (Gameljne Poplar)

Pradera en Rožnik= RG (Rožnik Grass)

6.1. Datos con infiltrómetro de minidisco (Knosat)

Las 12 repeticiones por parcela, se han sintetizado gráficamente en una, como se describe en el epígrafe 5.2.2. Infiltrómetro de minidisco. La Figura 22 da una idea de la evolución de los ensayos realizados en cada una de las parcelas y de la cantidad de agua infiltrada como promedio. Los datos finales de K_{nosat} para cada una de las mismas aparecen en la Tabla 13.

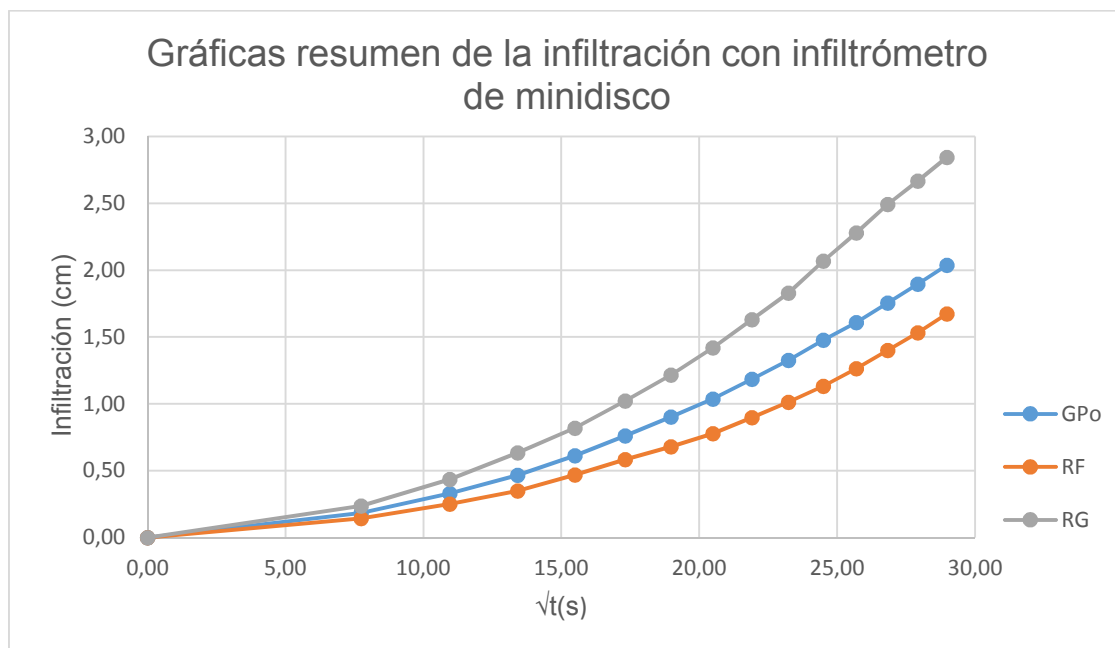


Figura 22. Gráfica resumen de los ensayos con infiltrómetro de minidisco.

Los datos utilizados para la realización de la Figura 22 aparecen en la siguiente tabla:

Tabla 12. Datos resumen de las repeticiones del infiltrómetro de minidisco. Las columnas en negrita son los datos representados en la gráfica superior.

| Time (s) | sqrt (s) | GPo | | RF | | RG | |
|----------|--------------|--------|-------------|--------|-------------|--------|-------------|
| | | V (ml) | Infilt (cm) | V (ml) | Infilt (cm) | V (ml) | Infilt (cm) |
| 0 | 0,00 | 32,4 | 0,00 | 26,6 | 0,00 | 45,3 | 0,00 |
| 60 | 7,75 | 29,5 | 0,18 | 24,4 | 0,14 | 41,5 | 0,24 |
| 120 | 10,95 | 27,2 | 0,33 | 22,6 | 0,25 | 38,3 | 0,43 |

| | | | | | | | |
|-----|--------------|------|-------------|------|-------------|------|-------------|
| 180 | 13,42 | 25,0 | 0,47 | 21,1 | 0,35 | 35,2 | 0,63 |
| 240 | 15,49 | 22,7 | 0,61 | 19,2 | 0,47 | 32,3 | 0,82 |
| 300 | 17,32 | 20,3 | 0,76 | 17,4 | 0,58 | 29,0 | 1,02 |
| 360 | 18,97 | 18,1 | 0,90 | 15,8 | 0,68 | 25,9 | 1,22 |
| 420 | 20,49 | 15,9 | 1,04 | 14,3 | 0,78 | 22,7 | 1,42 |
| 480 | 21,91 | 13,6 | 1,18 | 12,4 | 0,90 | 19,3 | 1,63 |
| 540 | 23,24 | 11,3 | 1,33 | 10,5 | 1,01 | 16,2 | 1,83 |
| 600 | 24,49 | 8,9 | 1,48 | 8,6 | 1,13 | 12,3 | 2,07 |
| 660 | 25,69 | 6,8 | 1,61 | 6,5 | 1,26 | 9,0 | 2,28 |
| 720 | 26,83 | 4,5 | 1,76 | 4,4 | 1,40 | 5,6 | 2,49 |
| 780 | 27,93 | 2,3 | 1,90 | 2,3 | 1,53 | 2,8 | 2,67 |
| 840 | 28,98 | 0,0 | 2,04 | 0,0 | 1,67 | 0,0 | 2,85 |

Mediante el método de Zhang de 1997, descrito en el epígrafe 5.2.2. Infiltrómetro de minidisco, los datos finales resultantes de conductividad hidráulica no saturada para las diferentes parcelas son los reflejados en la Tabla 13.

Tabla 13. Datos finales de conductividad hidráulica no saturada.

| | Bosque de ribera | Bosque mixto | Pradera |
|-----------------|-------------------------|---------------------|----------------|
| K (mm/h) | 13,4188 | 21,0967 | 32,2931 |

Las humedades medias y la temperatura en las parcelas los días de medición son las siguientes:

Tabla 14. Humedades medias para infiltrómetro de minidisco.

| Parcela | Bosque de Ribera | Bosque Mixto | Pradera |
|--------------------|-------------------------|---------------------|----------------|
| Humedad (%) | 32,2 | 14,7 | 41,3 |
| T (° C) | 14,9 | 15,8 | 18,0 |

6.2. Datos con infiltrómetro de anillo simple (K_{sat})

En cuanto al infiltrómetro de anillo simple, se han realizado cuatro repeticiones por parcela. Por cada repetición se han tomado datos de la conductividad hidráulica saturada, humedad del suelo antes y después del ensayo en los márgenes de la zanja y temperatura del suelo. En este apartado se describen sólo los datos que se han empleado para la estadística. Éstos suelen derivar del promedio de varias repeticiones realizadas en campo. Los datos tomados *in situ* pueden encontrarse en el Anejo 3.

Las tablas inferiores muestran un resumen de todos los datos tomados en campo y valorados para la estadística.

En primer lugar aparece la infiltración en mm/h. Por un lado la infiltración desde el inicio, es decir, la columna de agua que se ha infiltrado desde el comienzo del experimento, dividido entre el tiempo transcurrido hasta ese momento. Por otro, es la infiltración en cada intervalo, que es la columna de agua que se infiltra en el suelo al final del experimento. La curva “en cada intervalo” muestra en su parte final el agua que se infiltra cuando el suelo está ya totalmente saturado, es decir, el valor de K_{sat} definitivo. La curva

“desde el inicio” representa el proceso de llenado de todos los poros y grietas del suelo desde su inicio, es por esto que los valores siempre son más elevados y por tanto los valores finales de su curva no son estrictamente conductividad hidráulica saturada, puesto que incluyen periodos de la curva de K_{nosat} .

En cuanto a la humedad, es el porcentaje medido antes y después del experimento en el suelo. También se incluye el incremento de humedad, que da una idea aproximada de la infiltración lateral que se ha producido.

Para entender el desarrollo de cada repetición, se incluyen también gráficas de los valores de infiltración y la evolución de la altura infiltrada a lo largo del experimento. El dato final de K_{sat} correspondería con el final de la curva.

6.2.1. Bosque Mixto

Tabla 15. Datos de K_{sat} y humedad para la parcela de Bosque Mixto (RF). N° rep= Número de repetición en campo; Prof= Profundidad a la que se realiza la medición.

| BOSQUE MIXTO (RF) | | Humedad (%) | | | | | | |
|-------------------|---------------------|-------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| N° rep | Infiltración (mm/h) | | Antes | | Después | | Incremento | |
| | Desde el inicio | En cada intervalo | Prof 10 cm | Prof 20 cm | Prof 10 cm | Prof 20 cm | Prof 10 cm | Prof 20 cm |
| 1 | 4328,20 | 2325,99 | 10,93 | 16,01 | 13,75 | 19,51 | 2,82 | 3,51 |
| 2 | 2054,21 | 1257,78 | 12,44 | 15,41 | 14,25 | 19,58 | 1,82 | 4,17 |
| 3 | 780,65 | 582,26 | 12,52 | 17,82 | 13,89 | 20,78 | 1,37 | 2,96 |
| 4 | 767,83 | 664,65 | 11,26 | 14,19 | 18,68 | 20,19 | 7,42 | 6,00 |

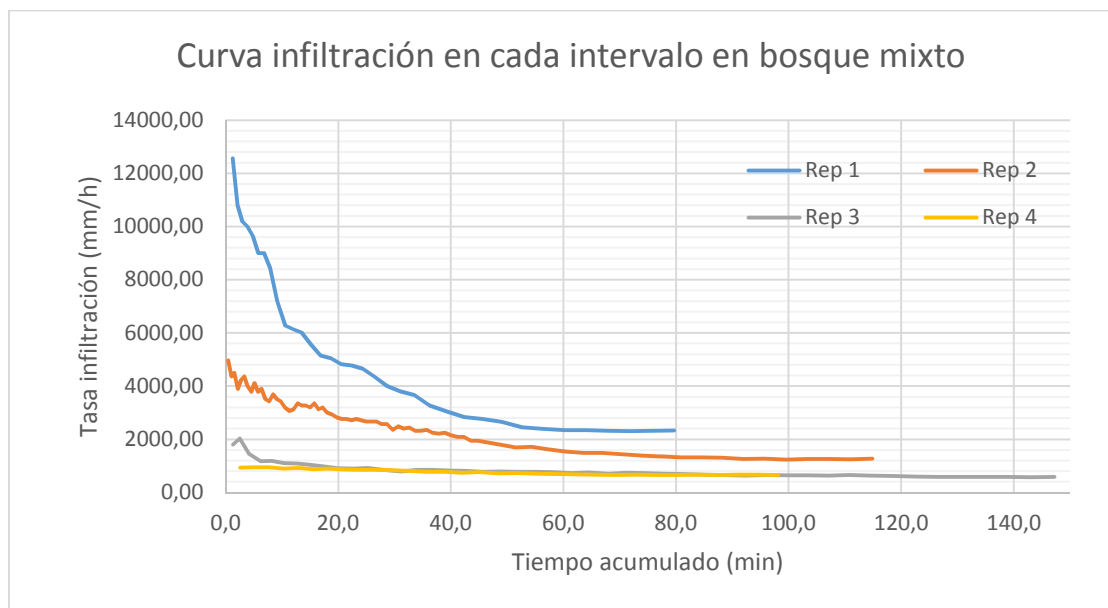


Figura 23. Curvas de infiltración (mm/h) en cada intervalo para bosque mixto (RF).

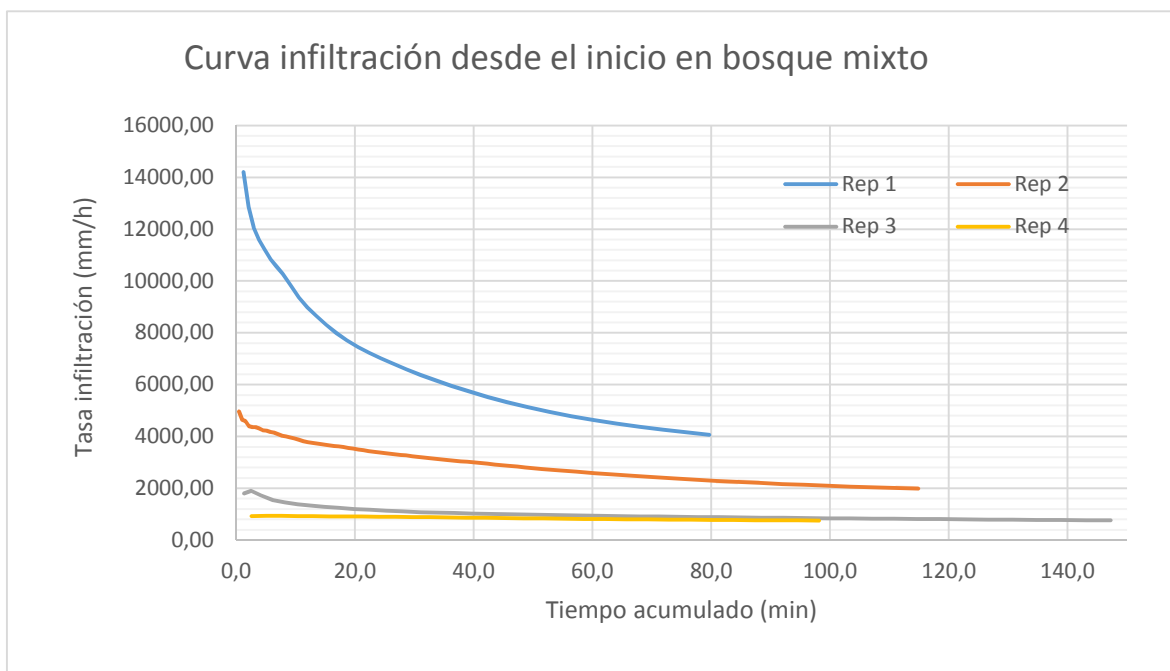


Figura 24. Curva de infiltración (mm/h) desde el inicio en Bosque Mixto (RF).

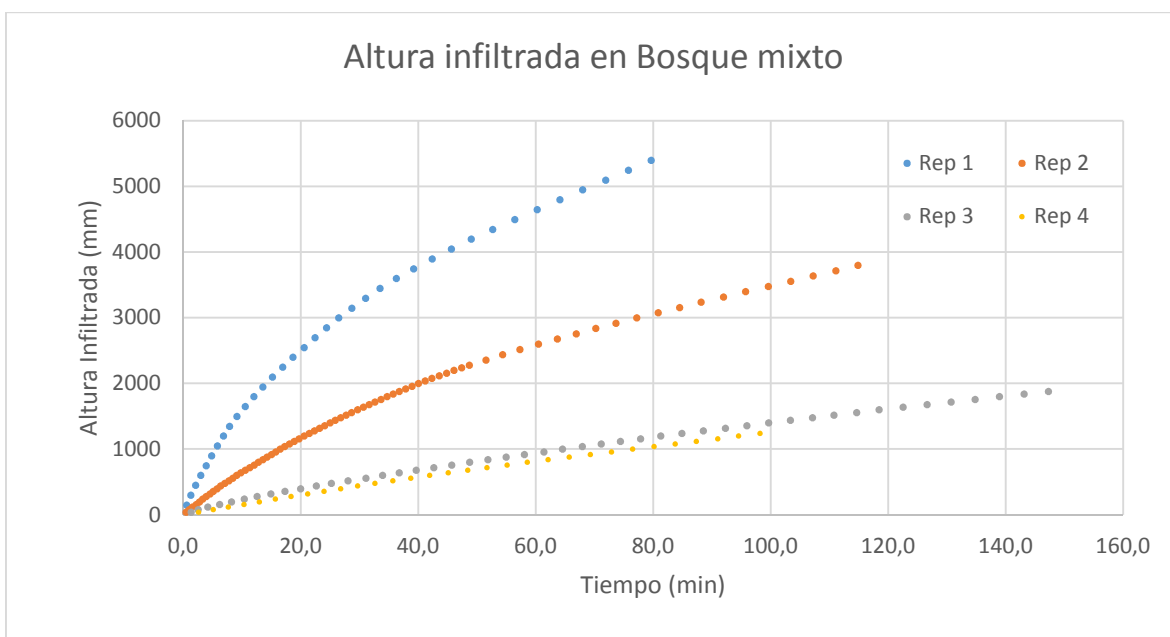


Figura 25. Evolución de la columna de agua infiltrada a lo largo de las experiencias en el Bosque Mixto (RF).

6.2.2. Bosque de Ribera

Tabla 16. Datos de Ksat y humedad para la parcela de Bosque de Ribera (GPo). N° rep= Número de repetición en campo; Prof= Profundidad a la que se realiza la medición.

| BOSQUE DE RIBERA (GPo) | | Humedad (%) | | | | | | |
|------------------------|---------------------|-------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| N° rep | Infiltración (mm/h) | | Antes | | Después | | Incremento | |
| | Desde el inicio | En cada intervalo | Prof 10 cm | Prof 20 cm | Prof 10 cm | Prof 20 cm | Prof 10 cm | Prof 20 cm |
| 1 | 640,79 | 373,14 | 29,92 | 27,89 | 40,18 | 34,21 | 10,26 | 6,32 |
| 2 | 786,90 | 587,96 | 32,59 | 25,41 | 41,41 | 38,55 | 8,82 | 13,14 |
| 3 | 195,49 | 192,14 | 19,2 | 21,84 | 27,07 | 29,35 | 7,87 | 7,51 |
| 4 | 786,86 | 681,17 | 19,32 | 18,07 | 27,45 | 31,22 | 8,13 | 13,15 |

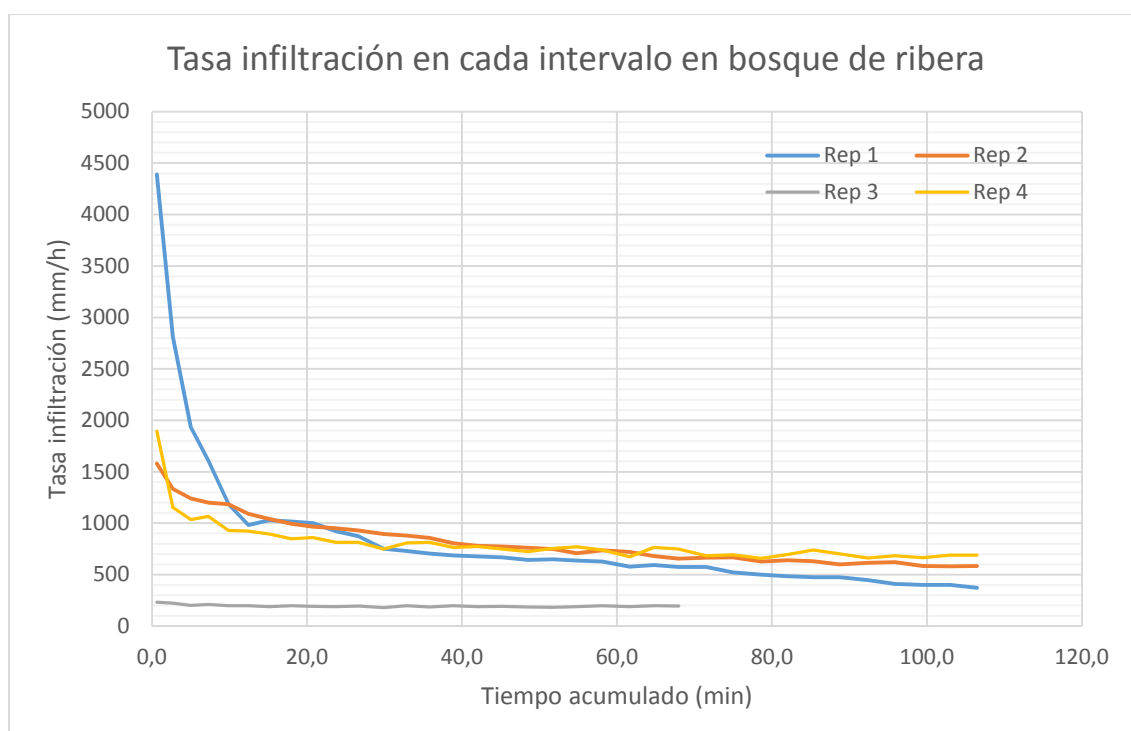


Figura 26. Infiltración (mm/h) en cada intervalo para la parcela de Bosque de Ribera (GPo).

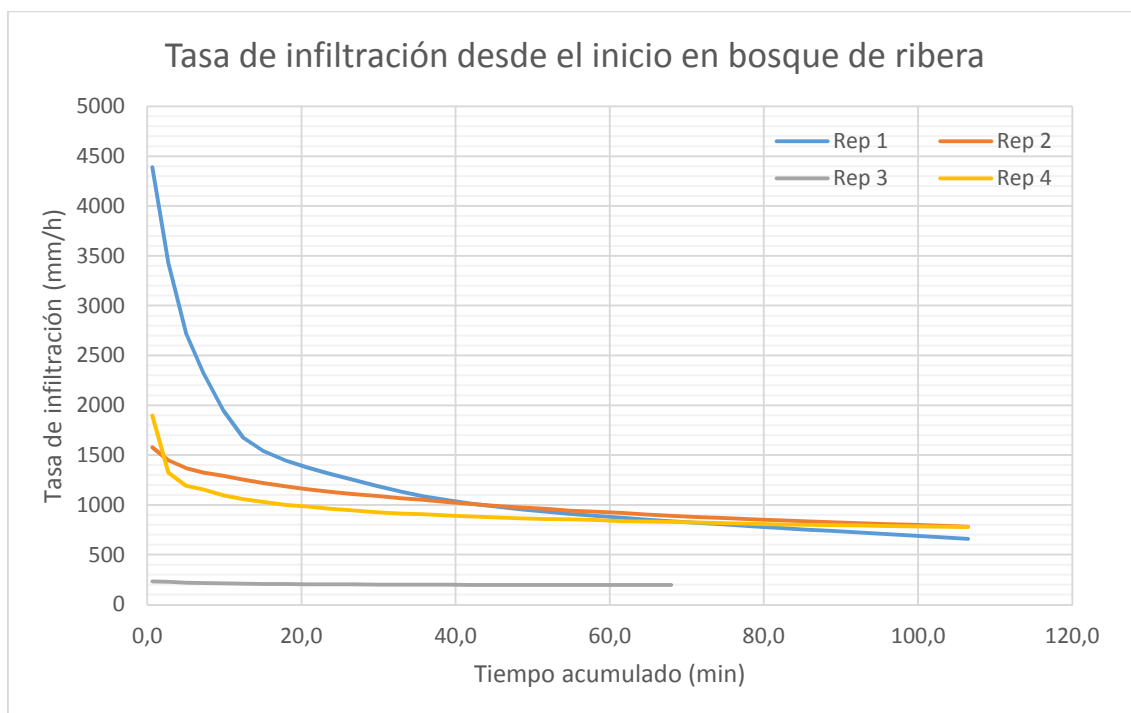


Figura 27. Infiltración (mm/h) desde el inicio para la parcela de Bosque de Ribera (Gpo).

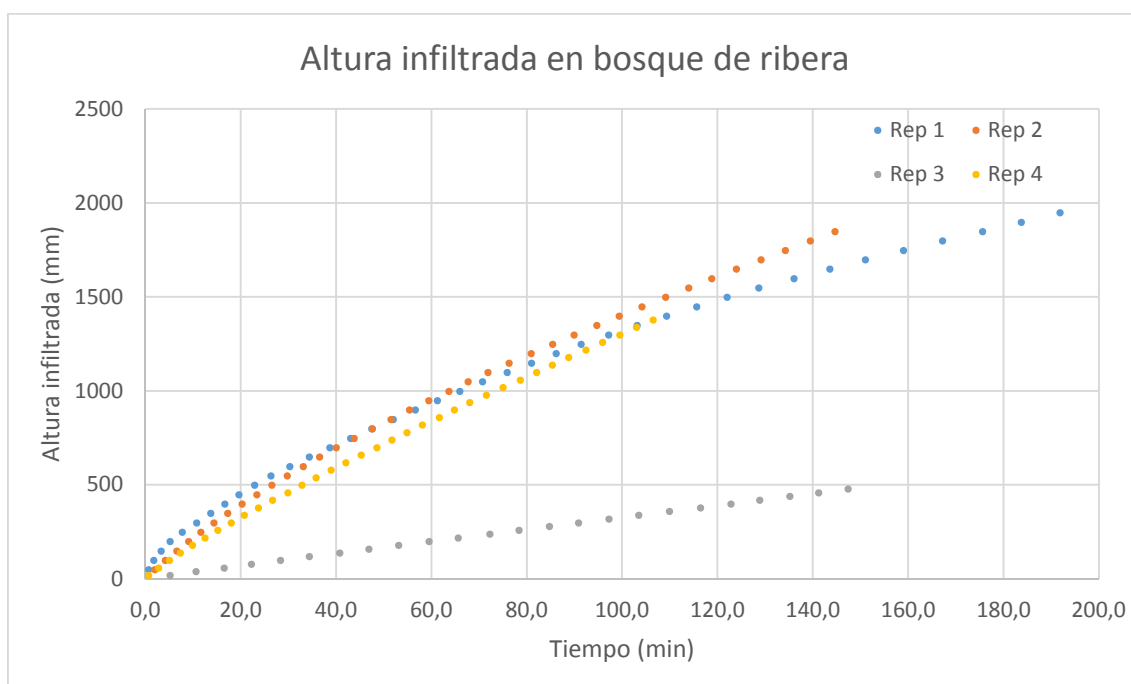


Figura 28. Columna de agua infiltrada para las repeticiones en la parcela de Bosque de Ribera (Gpo).

6.2.3. Zona de Pradera

Tabla 17. Datos de Ksat y humedad para la parcela de Pradera (RG). N° rep= Número de repetición en campo; Prof= Profundidad a la que se realiza la medición.

| PRADERA (RG) | | Humedad (%) | | | | | | |
|--------------|---------------------|-------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| N° rep | Infiltración (mm/h) | | Antes | | Después | | Incremento | |
| | Desde el inicio | En cada intervalo | Prof 10 cm | Prof 20 cm | Prof 10 cm | Prof 20 cm | Prof 10 cm | Prof 20 cm |
| 1 | 293,74 | 205,35 | 16,16 | 18,30 | 28,28 | 27,55 | 12,12 | 9,25 |
| 2 | 333,75 | 273,78 | 19,94 | 21,56 | 31,69 | 34,11 | 11,75 | 12,55 |
| 3 | 373,83 | 303,38 | 16,06 | 18,52 | 28,94 | 29,48 | 12,88 | 10,96 |
| 4 | 1316,74 | 751,60 | 19,03 | 19,61 | 29,65 | 33,07 | 10,62 | 13,46 |

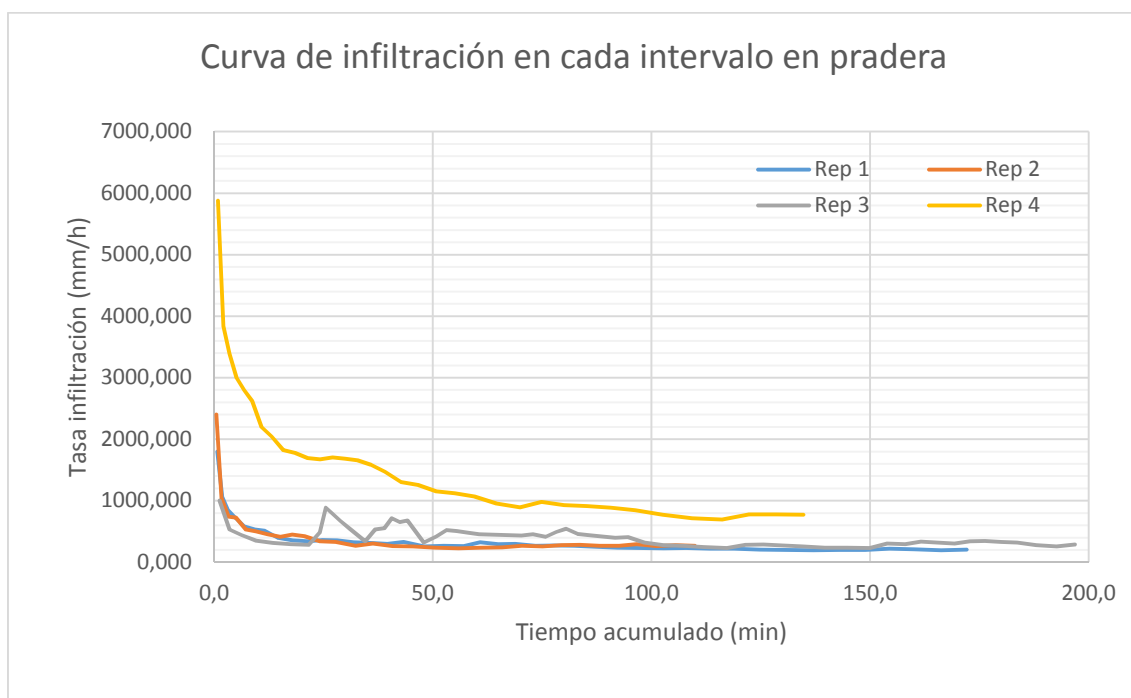


Figura 29. Infiltración en cada intervalo para la zona de pradera (RG).

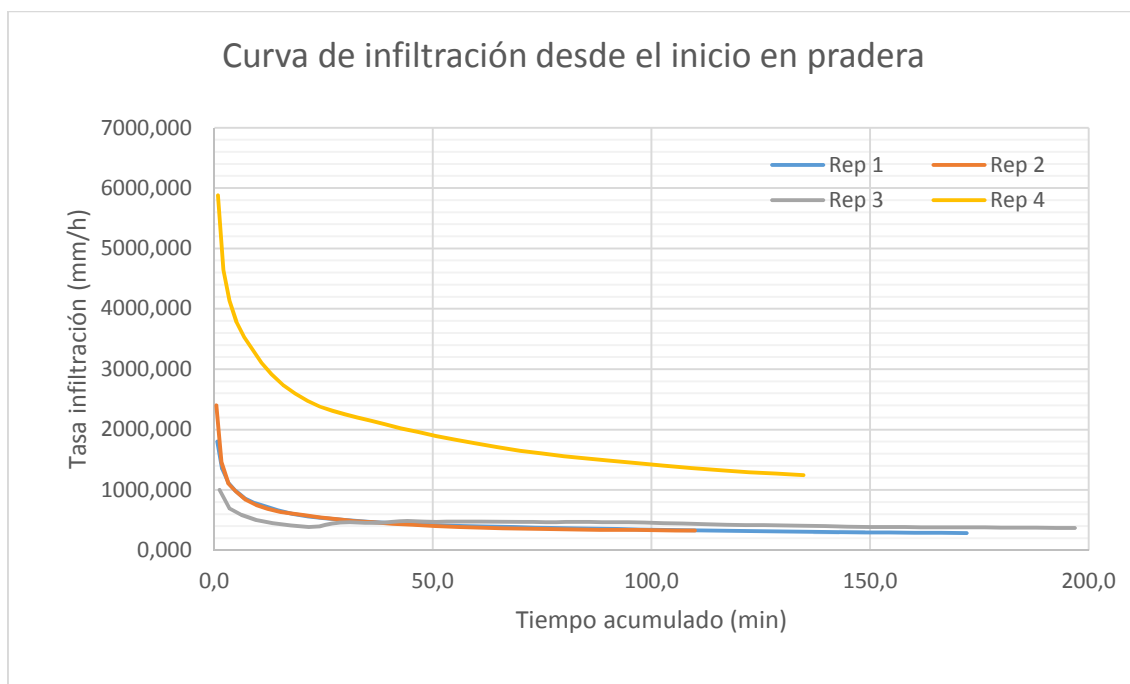


Figura 30. Curvas de infiltración desde el inicio en la zona de Pradera (RG).

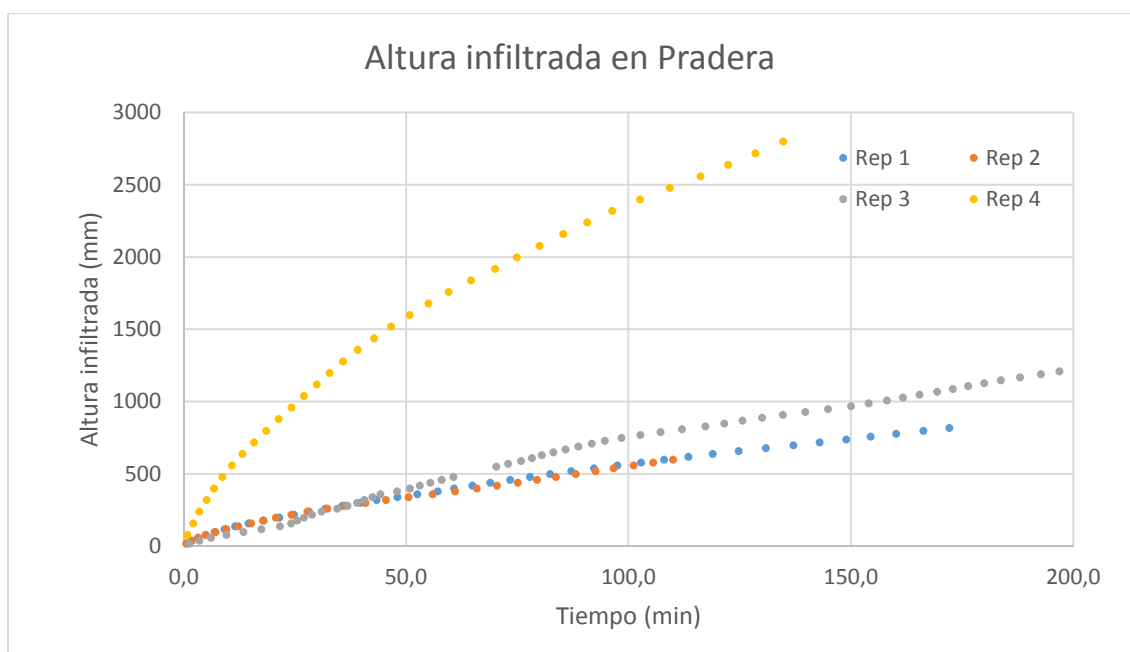


Figura 31. Altura infiltrada en la zona de pradera (RG) a lo largo de las repeticiones.

6.3. Análisis estadístico de datos

6.3.1. Resumen infiltrómetro de minidisco (K_{nosat})

El análisis de la variable K_{nosat} en las tres parcelas estudiadas en Statgraphics devuelve los siguientes resúmenes:

- Bosque mixto.

Tabla 18. Resumen Estadístico para Bosque Mixto (RF).

| | |
|---------------------------|----------|
| Recuento | 11 |
| Promedio | 21,0967 |
| Desviación Estándar | 12,6405 |
| Coefficiente de Variación | 59,9167% |
| Mínimo | 5,00422 |
| Máximo | 49,7554 |
| Rango | 44,7512 |
| Sesgo Estandarizado | 1,62013 |
| Curtosis Estandarizada | 1,03919 |

Los valores de Sesgo Estandarizado y Curtosis Estandarizada están dentro del intervalo -2 a +2. Esto sugiere que los valores no presentan desviaciones significativas de la normalidad. Ambos datos están dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal.

El **valor definitivo de K_{nosat} (mm/h)** para el **bosque mixto** es de:

- Para la media: 21,0967 \pm 8,49201 [12,6047; 29,5888].
- Para la desviación estándar el rango es de [8,83212; 22,1832].

La repetición número 11 realizada en el bosque mixto se considera valor aberrante y queda descartada del experimento. El porqué de este valor queda sujeto probablemente a condiciones especiales en el suelo o un error en la instalación del infiltrómetro de minidisco.

- Bosque de ribera

Tabla 19. Resumen Estadístico para el Bosque de Ribera (GPo).

| | |
|---------------------------|-----------|
| Recuento | 12 |
| Promedio | 13,4188 |
| Desviación Estándar | 2,69107 |
| Coefficiente de Variación | 20,0545% |
| Mínimo | 8,77122 |
| Máximo | 16,3093 |
| Rango | 7,53808 |
| Sesgo Estandarizado | -1,09058 |
| Curtosis Estandarizada | -0,521919 |

Lo mismo sucede con los datos de Sesgo Estandarizado y Curtosis Estandarizada para el bosque de ribera. Al encontrarse entre -2 y +2, no presenta desviaciones significativas de la normalidad.

El **valor definitivo de Knosat (mm/h)** para la zona de **Bosque de Ribera** es de:

- Para la media: $13,4188 \pm 1,70983$ [11,7089; 15,1286].
- Para la desviación estándar el rango es de [1,90634; 4,56911].

- Pradera

Tabla 20. Resumen Estadístico para la parcela de Pradera (RG).

| | |
|---------------------------|----------|
| Recuento | 12 |
| Promedio | 32,2931 |
| Desviación Estándar | 18,6711 |
| Coefficiente de Variación | 57,8176% |
| Mínimo | 12,0462 |
| Máximo | 73,869 |
| Rango | 61,8228 |
| Sesgo Estandarizado | 1,82883 |
| Curtosis Estandarizada | 0,924318 |

El **valor definitivo de Knosat (mm/h)** para la **zona de pradera** es de:

- Para la media: $32,2931 \pm 11,8631$ [20,43; 44,1561].
- Para la desviación estándar el rango es de [13,2265; 31,7012].

El gráfico de caja y bigotes, comparando las diferentes parcelas aparece a continuación:

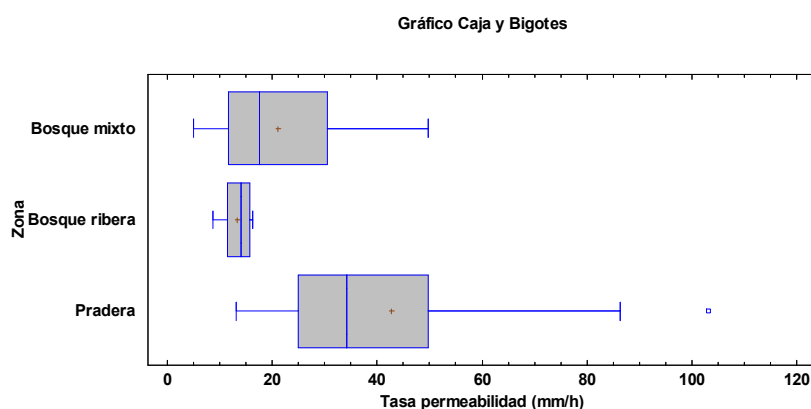


Figura 32. Distribución de las repeticiones con infiltrómetro de minidisco en las tres parcelas.

6.3.2. Resumen infiltrómetro de anillo simple (Ksat)

Para cada parcela existen 4 repeticiones y algunas difieren notablemente de otras de la misma parcela. Tras un análisis estadístico preliminar se concluye que el número de repeticiones es demasiado bajo como para obtener diferencias relevantes y por lo tanto es más conveniente analizar estos resultados a nivel de discusión.

6.3.3. Comparativas por ANOVA en minidisco

Mediante este análisis se pretende relacionar la Knosat y el factor zona. Los resultados son los siguientes:

Tabla 21. Análisis de varianza entre Knosat y zona estudiada.

| Fuente | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| Entre grupos | 2160,77 | 2 | 1080,39 | 6,27 | 0,0050 |
| Intra grupos | 5512,18 | 32 | 172,256 | | |
| Total (Corr.) | 7672,95 | 34 | | | |

El valor-P de la última columna es menor de 0,05, por lo que existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de la Knosat de una zona y otra con un intervalo de confianza del 95%. El siguiente paso es comprobar qué medias difieren estadísticamente de las otras. Para esto se realiza el Test de Múltiples Rangos, descrito a continuación.

Tabla 22. Método 95,0 porcentaje LSD. Knosat en función de la Zona.

| Zona | Casos | Media | Grupos Homogéneos |
|---------------|-------|---------|-------------------|
| Bosque ribera | 12 | 13,4188 | X |
| Bosque mixto | 11 | 21,0967 | X |
| Pradera | 12 | 32,2931 | X |

En primer lugar, la Tabla 22 muestra los grupos homogéneos resultantes. La interpretación es que aquellas zonas que compartan X en la última columna de la tabla superior están dentro del mismo grupo homogéneo y por tanto mantienen diferencias estadísticamente significativas con los otros grupos. Esta discriminación de grupos se ha realizado mediante el procedimiento de diferencia mínima significativa LSD de Fischer. Se observa por tanto dos grupos homogéneos, por un lado las zonas arboladas, y por otro la zona de pradera.

Tabla 23. Contraste de pares de medias de Knosat.

| Contraste | Sig. | Diferencia | +/- Límites |
|------------------------------|------|------------|-------------|
| Bosque mixto - Bosque ribera | | 7,67797 | 11,1594 |
| Bosque mixto - Pradera | * | -11,1963 | 11,1594 |
| Bosque ribera - Pradera | * | -18,8743 | 10,9141 |

En la Tabla 23 se comparan por pares las medias de las 3 zonas. Aquellos pares de medias que muestren diferencia estadísticamente significativa, han sido marcados con un asterisco.

En este caso, si se comparan las medias de las zonas arboladas con la de la zona de pradera, ambas muestran una diferencia estadísticamente significativa con un intervalo de confianza del 95%. En cambio el bosque de ribera y el mixto no mantienen dicha diferencia.

6.3.4. Comparativas en Infiltrómetro de cilindro simple

Como se puede comprobar en la Figura 33 y en la Figura 34, algunos datos son dispares, incluso dentro de la misma parcela.

Para comprender mejor la naturaleza de estos datos se comprueba la humedad previa y posterior del suelo alrededor del punto medido, puesto que uno de los grandes factores que pueden afectar es la infiltración lateral.

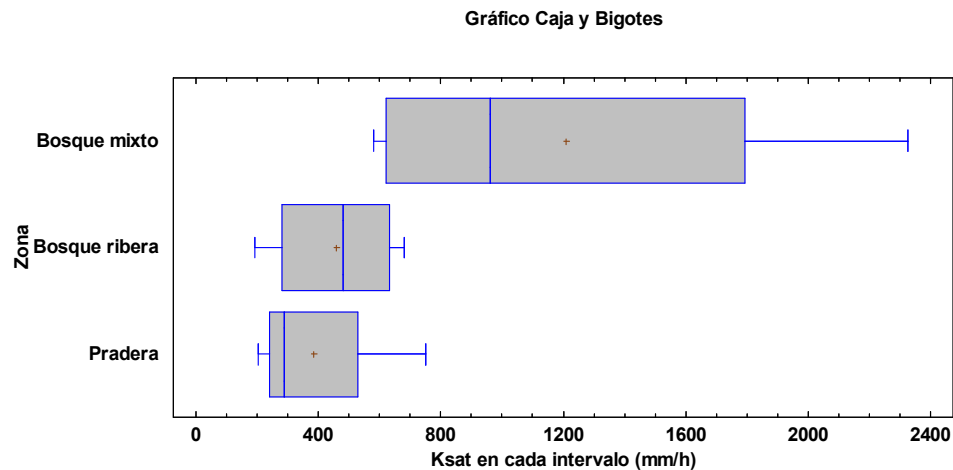


Figura 33. Diagrama de caja y bigotes para los datos de conductividad hidráulica saturada medida en cada intervalo.

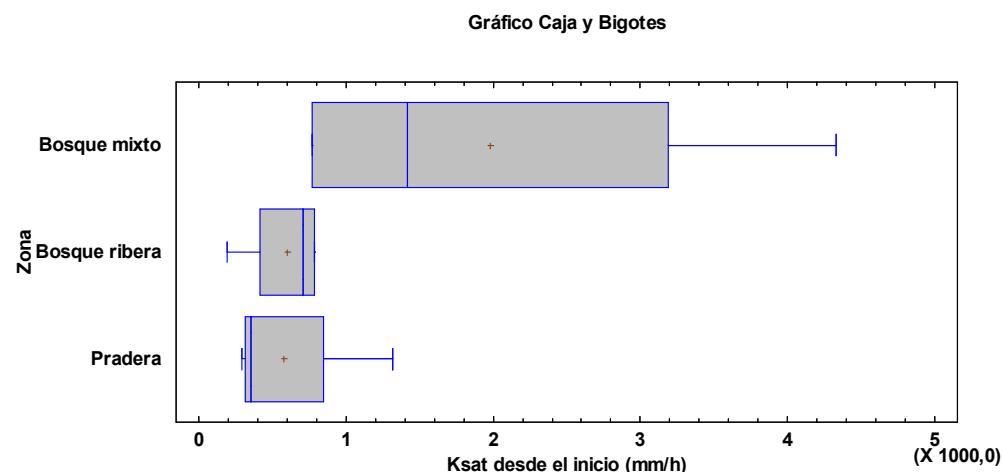


Figura 34. Caja y bigotes para los datos de conductividad hidráulica saturada medida desde el inicio.

Los datos de conductividad hidráulica saturada, parecen ser más parejos entre las parcelas de Bosque de Ribera y la zona de Pradera. A grandes rasgos, la infiltración en el bosque mixto es unas tres veces más alta. La discusión de estos datos y las posibles explicaciones son desarrolladas en el epígrafe 7. Discusión de Resultados.

Para comprobar la correlación entre infiltración y humedad del suelo, se realiza un gráfico de dispersión entre las diferentes repeticiones y los datos de humedad recogidos en cada una de ellas.

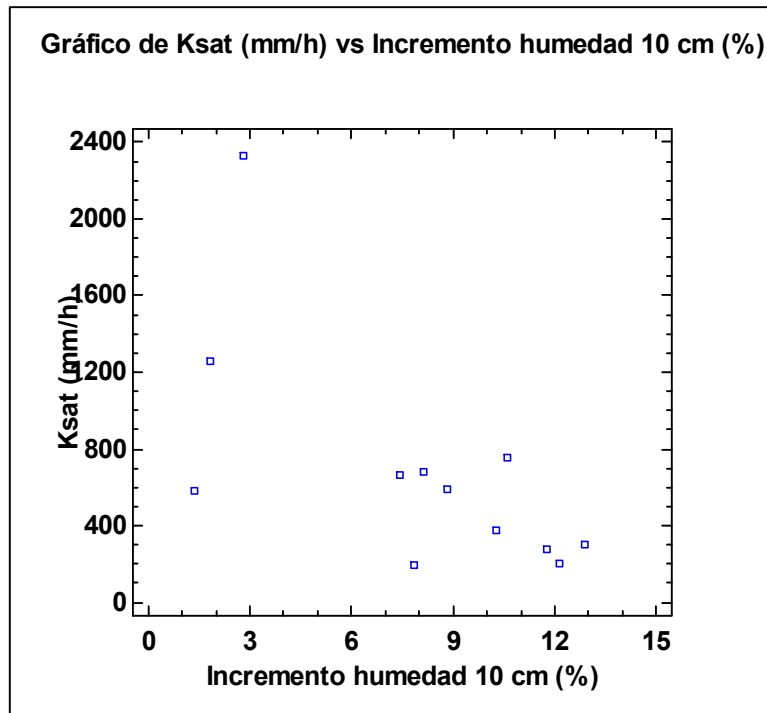


Figura 35. Gráfico de dispersión entre el incremento de humedad a 10 cm de profundidad y el valor de Ksat en cada repetición.

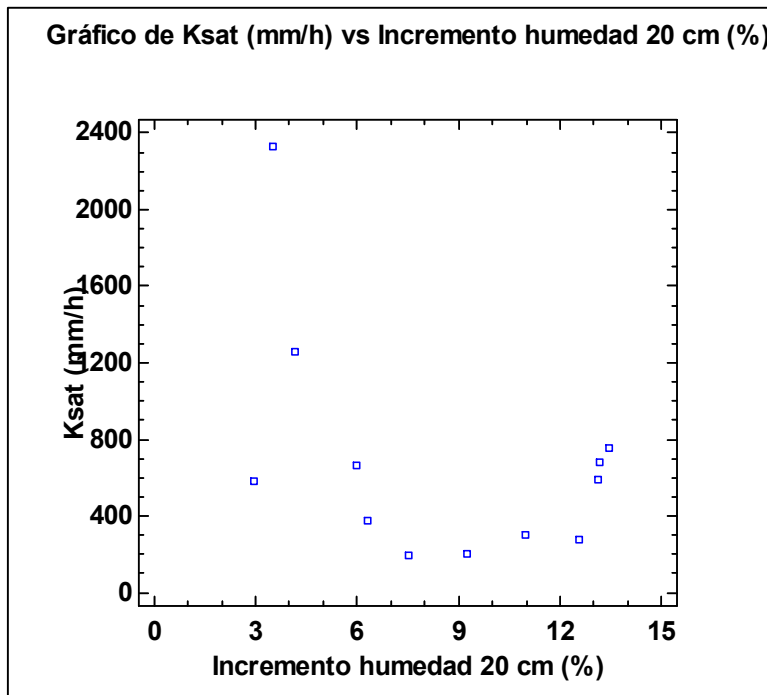


Figura 36. Gráfico de dispersión entre el incremento de humedad a 20 cm de profundidad y el valor de Ksat en cada repetición.

Los gráficos superiores no muestran una correlación directa entre los pares de datos.

El interés de comparar estos datos es buscar una correlación que defina, de una forma aproximada, la infiltración lateral que se hubiese podido producir. De esta forma, si las repeticiones que registrasen mayor valor de Ksat presentasen también los valores más

altos de incremento de humedad en los alrededores del ensayo, podría suponerse que se ha producido mayor infiltración lateral y los datos estarían sobredimensionados.

Sería altamente conveniente e interesante aumentar el número de repeticiones y realizar un estudio más exhaustivo de la estructura del suelo para alcanzar alguna correlación y poder estimar en futuros estudios este fenómeno.

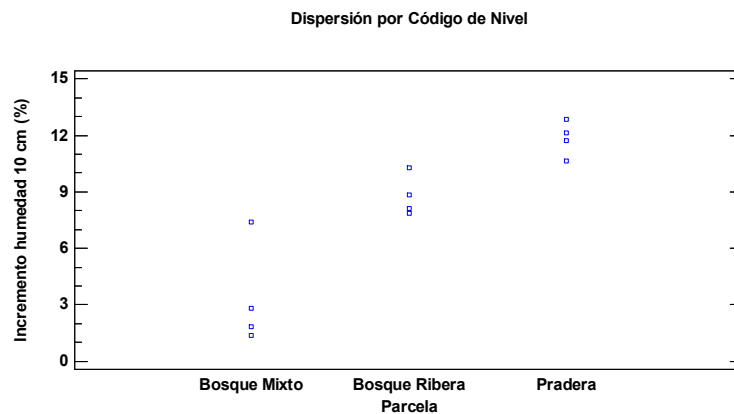


Figura 37. Incremento de humedad a 10 cm en las repeticiones segregados por parcela.

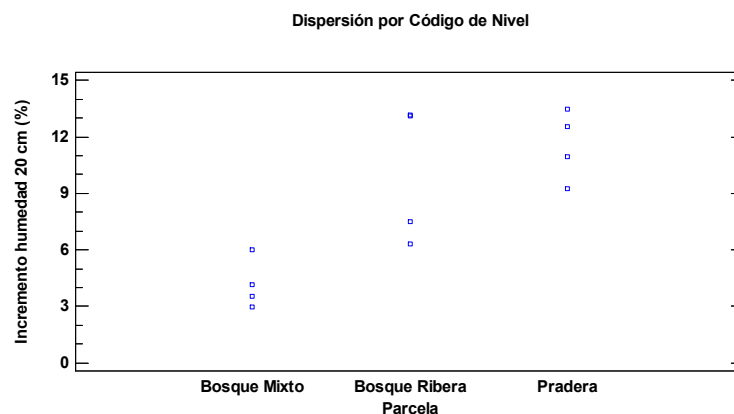


Figura 38. Incremento de humedades a una profundidad de 20 cm en las repeticiones separadas por parcela.

Las figuras superiores muestran los incrementos de humedad por parcela. Tanto a la profundidad de 10 cm como a la de 20 cm, los patrones se repiten. A la vista de estos datos se puede concluir que la zona de Pradera tiene una mayor tendencia a la infiltración lateral que el Bosque Mixto, que muestra un incremento menor, aunque no puede concluirse que los datos de infiltración estén sobredimensionados siguiendo la misma tendencia.

6.4. Clasificación de grupos hidrológicos del suelo

Este es el primer paso para establecer el Número de Curva, mencionado en el epígrafe 5.3. También se describen las características de los cuatro grupos en los que se puede clasificar cada suelo. En base a estos criterios se intenta incluir a cada una de las parcelas estudiadas en un grupo.

En cuanto a la parcela de Bosque Mixto. El suelo es profundo, sin encontrar horizontes impermeables evidentes. Los datos de textura lo clasifican en un grupo C, pero tanto la superficie como los otros horizontes poseen una muy baja densidad y los datos de infiltración son bastante elevados. Por esto se le ha incluido en el grupo mixto **grupo A**.

La parcela en la ribera del río Sava presenta densidades algo más altas (1200 kg/m^3) que el Bosque Mixto, pero siempre bajas en comparación con otros suelos. La textura es propia del grupo B. En cuanto a la profundidad edáfica es de unos 90 cm, pero encontrándose en la ribera de un río, el nivel freático puede llegar a cotas cercanas a la superficie, afectando a la infiltración. Sin embargo los datos recogidos de infiltración son bastante elevados en todas las repeticiones. Se clasifica dentro de un **grupo mixto A/B**.

En cuanto a la parcela de pradera de Rožnik, posee una textura Franco arenosa propia del grupo B. Aunque se desconocen los datos de profundidad del suelo y horizontes impermeables, los datos de conductividad hidráulica saturada son bastante más elevados que los datos mínimos del grupo A, por lo tanto se le incluye como **grupo A/B**.

En todos los casos estudiados, las cifras de K_{sat} superan sobradamente el valor de 144 mm/h que NRCS (2007) propone como valor mínimo para catalogar un suelo en el grupo A. Sin embargo los datos de textura discrepan con este grupo A. Por esto se ha decidido crear un grupo mixto. Una explicación más detallada de los resultados puede encontrarse en el epígrafe 7.

7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

7.1. Experiencias en campo

Tras las experiencias realizadas con ambos infiltrómetros se pueden extraer diversas conclusiones y matizaciones.

En cuanto al infiltrómetro de minidisco, resulta un aparato muy cómodo y fácil de transportar. La carga de agua necesaria es mínima y los ensayos son rápidos, por lo que permite un gran número de repeticiones. Sin embargo, como se ha experimentado comporta ciertas dificultades en terrenos forestales, sobre todo con pendiente.

Para la instalación del mismo, pese a ser fácil, requiere en muchas ocasiones una modificación más o menos significativa de las condiciones originales del suelo.

Debido a la poca base y elevada altura del instrumento, la pendiente en la zona a estudiar puede llegar a ser un inconveniente. En algunos casos se debe modificar el terreno ligeramente para una correcta instalación. También es un instrumento poco estable por lo que es recomendable aportarle estabilidad con un soporte de laboratorio.

El ensayo da comienzo cuando la membrana entra en contacto con la superficie, pero si los macroporos son abundantes, la presión negativa no los rellenará por lo que el ensayo no comienza. Sucede lo mismo si hay por ejemplo hojarasca o pequeñas raíces: la membrana no contacta directamente con el suelo y, o bien no comienza a infiltrar o lo hace sólo por una parte de la membrana, resultando un ensayo nulo. Para un ensayo correcto, la superficie sobre la que se instale el infiltrómetro de minidisco debe ser muy regular, por lo que en suelos forestales con materia orgánica sin descomponer como es el caso del bosque mixto de Rožnik se desaconseja el uso del mismo. Estas condiciones no siempre se dan en el suelo en la naturaleza, por lo que las zonas de los ensayos realizados tampoco representan siempre la totalidad de la parcela.

Este instrumento sin embargo, tiene otras posibilidades que pueden extraer datos interesantes del suelo, como trabajar a diferentes presiones y conocer mejor el diámetro y porcentaje de los poros. Autores como Enríquez & Orozco (2011), Ruiz Sinoga *et al.* (2003) o Belmonte *et al.* (2014), miden la infiltración con diferentes presiones entre -6 y -0,5 para estudiar el comportamiento del agua al penetrar en diferentes diámetros de poro.

En esta experiencia se valoró esta posibilidad, pero ensayos pilotos con el minidisco en las parcelas del bosque mixto de Rožnik y la ribera del Sava, resultaron ser nulas, puesto que a presiones superiores comprendidas entre -2 y -6 el infiltrómetro no comenzaba a liberar el agua, o lo hacía tan lentamente que el ensayo resultaba excesivamente largo. Jordan (2010) también encuentra problemas a presión de 2 cm en los suelos más saturados o de grano fino, ya que muchos de las repeticiones finalmente eran consideradas nulas o se prolongaban durante demasiado tiempo.

Otra apreciación que cabe destacar es que en determinados puntos, la excesiva sequedad del suelo parecía evitar el comienzo del ensayo. Al instalar el infiltrómetro, éste liberaba unas pocas gotas, que quedaban bajo el infiltrómetro o adherido al mismo entre la membrana y el suelo y la medición no continuaba. Al retirar el infiltrómetro, se observaba como las gotas de agua reposaban sobre la superficie en lugar de infiltrar en el suelo.

En ensayos piloto en los que ha sucedido este fenómeno, el hecho de humedecer la superficie y dejar que las primeras gotas infiltren, permitía al infiltrómetro proseguir con el ensayo.

A simple vista, esto parece ser debido a que el suelo puede poseer cierta hidrofobicidad, de modo que la propia capilaridad de las gotas de agua no permitía el flujo de las mismas hacia el interior del suelo. Este era también una causa frecuente de ensayo nulo, sobre todo en el bosque mixto de Rožnik, discriminando en algunos casos zonas de la parcela que no han podido ser analizadas y también alargando la toma de datos en campo.

Una aplicación interesante del infiltrómetro de minidisco es la posibilidad de realizar mediciones de hidrofobicidad. El manual del fabricante sugiere la posibilidad de calcular el Índice de Repelencia de Agua y calcular la sortividad con alcohol y con agua en el mismo terreno. Ésta es una experiencia interesante y recomendable para futuros estudios en la zona.

En cuanto a los datos que se recogen con el minidisco corresponden a la conductividad hidráulica no saturada de los primeros centímetros del suelo, aportando información independiente con respecto al resto de horizontes. Este infiltrómetro de minidisco aporta el agua necesaria para rellenar los macroporos del primer estrato, por lo que en estos ensayos no existe agua gravitacional. Este tipo de ensayos corresponderían con el comportamiento del suelo en los primeros momentos del infiltrómetro de cilindro simple o con precipitaciones de menor entidad. Tras las observaciones en campo, una de las impresiones recogidas es que debido a la hidrofobicidad antes citada, se podría llegar a generar algo de escorrentía en precipitaciones de poca intensidad. Hay que destacar que con el infiltrómetro de minidisco se descarta del ensayo la energía cinética de las gotas de agua al chocar con el suelo, pero al retirar una pequeña parte de la superficie del suelo para instalar el minidisco, esta carencia podría quedar compensada.

En cuanto al infiltrómetro de anillo simple no se han encontrado demasiadas apreciaciones que no se hayan descrito ya en Material y Métodos. Merece ser destacado un detalle en cuanto al llenado del cilindro. Al verter el agua, en mayor o menor medida, se modifica la estructura y características del suelo. Se ha observado que si se realizan las mediciones durante los primeros centímetros del infiltrómetro y se rellena sin dejar que se vacíe, el suelo se ve menos afectado por la energía cinética del agua, igualando también así la posible influencia de la columna de agua sobre los datos de infiltración.

También se ha visto en algunos casos cierta hidrofobicidad en la zanja, al rellenarla por primera vez, pero este problema se soluciona facilitando la infiltración al agua de forma manual. No parece que sea un factor que afecte a las mediciones.

Los datos finales de conductividad hidráulica saturada muestran un gran coeficiente de variación y por lo general valores más altos que otras experiencias consultadas, se valora como posible causa algún paso en la metodología. Es posible que la profundidad a la que se clava el cilindro, unos 5 cm, sea demasiado pequeña, sobre todo en casos de suelos con horizontes superficiales más espesos. Sin embargo profundizar más en el clavado suele implicar airear o compactar más el medio. En determinadas repeticiones el clavado a 5 cm no resultaba suficiente, puesto que se observaban filtraciones entre el cilindro y la zanja, teniendo que repetir la instalación en otra ubicación cercana hasta encontrar cierta estabilidad en el montaje.

Como es el caso, conviene que todas las mediciones las realice la misma persona en ambos instrumentos, para homogeneizar la interpretación del menisco de agua y del

resto de factores que influyen en la medida, como la instalación del instrumento o pequeños factores que en el caso del infiltrómetro de minidisco pueden dar lugar a ciertas discrepancias.

7.2. Datos obtenidos

- En cuanto a **conductividad hidráulica no saturada**, la parcela que mayor valor presenta es la de Pradera (32,2931 mm/h \pm 11,8631), seguida del Bosque Mixto (21,0967 mm/h \pm 8,4920) y por último el Bosque de Ribera (13,4188 mm/h \pm 1,7098). Al realizar el test de múltiples rangos para las repeticiones en cada parcela se obtiene que existe un grupo homogéneo formado por las dos parcelas que poseen arbolado, el Bosque Mixto y el de Ribera. Dada las características del infiltrómetro de minidisco y de la metodología empleada, cabe esperar mayor similitud entre los horizontes orgánicos de dos zonas arboladas que entre éstas y una zona de pradera con ausencia de vegetación leñosa.

- Una experiencia realizada por Ruiz Sinoga *et al.* en 2003, en zonas arbustivas y de vegetación leñosa mediterránea obtiene resultados de 61,0 mm/h para suelos franco-arcillosos y 34 y 35 mm/h en suelos franco arenosos, a presiones de 0,5 cm y el mismo método de Zhang (1997). En el caso de la parcela franco arenosa, se obtienen valores muy similares a los obtenidos en este estudio, pero casi se duplica el valor en el suelo con tendencia arcillosa.

- Otro estudio realizado por Enríquez y Orozco (2011), estudia zonas de pradera y bosque con diferentes texturas. Las zonas más similares a las estudiadas en este documento devuelven valores de 41,24 mm/h en pradera, o 15,72 mm/h en bosque arcillo-limoso como nuestro Bosque de Ribera. Los demás resultados de las otras parcelas no tan similares muestran siempre valores mayores en pradera que en bosque. Estos resultados son similares a los obtenidos, si se comparan siempre con presiones de 0,5 y 1 cm de succión.

Este estudio también concluye que existe una correlación entre la Knosat y la cantidad de materia orgánica presente a presiones de succión bajas como las estudiadas. A mayor cantidad de materia orgánica, el porcentaje de poros es mayor, aumentando el valor de conductividad hidráulica resultante. Sin embargo, en el caso del Bosque Mixto, con un horizonte orgánico de unos 10 cm, se registran los valores más bajos que en el de pradera, donde se observa menos cantidad de materia orgánica.

Esta cantidad de materia orgánica afecta a la estructura y a la uniformidad del horizonte. Como determinó el examen visual de la estructura del horizonte orgánico, la zona de pradera formaba una matriz más continua y homogénea que en las otras dos parcelas. Ésta poseía menor espesor de materia orgánica, pero a su vez menor cantidad de materia orgánica sin descomponer y por tanto más uniformidad. Estas separaciones entre los elementos del horizonte orgánico generan poros que demandan de mayor presión en el infiltrómetro de minidisco para ser saturados de agua. La consecuencia es que éstos se saturan más lentamente o no lo hacen, ralentizando el ensayo y proporcionando valores más bajos de conductividad hidráulica no saturada. La metodología empleada retira los elementos que puede evitar un ensayo negativo, tales como raíces sobresalientes u hojas sin descomponer, que evitan un adecuado contacto

entre la malla del infiltrómetro y la superficie del suelo, pero la estructura del suelo permanece inalterada, siendo ésta un factor determinante en el cálculo de la infiltración.

Dadas las características del infiltrómetro de minidisco y analizando las experiencias realizadas, puede que este aparato no sea apto para todo tipo de suelos y superficies. En el caso particular del Bosque Mixto el número de ensayos nulos era bastante elevado, descartando aquellos puntos del estudio, y que sin embargo son igual de representativos que los estudiados. Jordan (2010) también encuentra dificultades en suelos con arbolado, en este caso de roble, aumentando el tiempo empleado para la toma de datos y sesgando en parte los resultados promedios de la parcela.

Puede resultar interesante también el estudio de la conductividad hidráulica no saturada a lo largo del año, o al menos en las épocas de mayor precipitación de la zona estudiada para un estudio más detallado. No se ha encontrado una correlación entre los datos de humedad y los datos de conductividad hidráulica no saturada, aunque realizar una medición de humedad por cada repetición con el infiltrómetro puede ayudar a individualizar las condiciones y encontrar correlaciones con el medio.

- Además, la conductividad hidráulica no saturada parece estar directamente correlacionada con la hidrofobicidad que presentan los primeros estratos de diferentes coberturas vegetales (Lichner *et al.*, 2007). En este estudio se comparan parcelas con similares condiciones edáficas y diferencias en cuanto a vegetación. Por una parte una zona boscosa, por otra una pradera y por otra una zona de claro sin tanta vegetación. Los resultados fueron que la zona de bosque presentaba un menor valor de conductividad hidráulica no saturada, mientras que las otras dos zonas registraban valores similares. Asegura que guarda una relación directa con la hidrofobicidad de los estratos medidos. Sin embargo, a nivel erosivo, el efecto de la hidrofobicidad en zonas arboladas tiende a ser pequeño, viéndose incrementado en zonas taladas, incendiadas o sometidas a labores agrícolas como el mulching. (Mataix-Solera *et al.*, 2013).

En el presente estudio, y como se comenta en el epígrafe anterior, también se han registrado evidencias de hidrofobicidad, sobre todo en la zona de Bosque Mixto. Por esto sería conveniente repetir los mismos ensayos con el minidisco pero con etanol en lugar de agua y así determinar cuánto afecta la hidrofobicidad del suelo.

Para ahondar más en el conocimiento de la infiltración de una parcela concreta, puede ser conveniente realizar mediciones a diferentes profundidades y horizontes, como realiza Jordan (2010) o Lichner *et al* (2007), aumentando a su vez el número de repeticiones para obtener resultados más concluyentes.

- Con el infiltrómetro de minidisco no se puede olvidar que independientemente de los datos que se obtienen en campo también es determinante el método con el que se interpreten los mismos. En nuestro caso particular, la Figura 22 con las curvas medias de infiltración muestra que por orden decreciente, las parcelas que más agua han infiltrado, son la de Pradera, la de Bosque de Ribera y por último la de Bosque Mixto, sin embargo el orden no es el mismo para los datos finales de infiltración. Esto es debido al método aplicado, que en este caso es el de Zhang de 1997, el recomendado por Decagon. Éste tiene en cuenta la textura del suelo para el cálculo de los datos finales y autores como Ruiz Sinoga *et al.* (2003) afirman que el peso de la textura del suelo puede resultar excesivo en el dato final, sobre todo en el caso de suelos con texturas muy diversas. Sánchez (2009) concluye en su trabajo que el valor de la K_{nosat} obtenida por el método de Akenky *et al.* (1991) duplica a los tratados con el método de Zhang (1997).

Como ampliación de este estudio sería interesante valorar otros métodos como la ecuación de Wooding, sobre todo en suelos con discrepancias edáficas como los presentes, u otros muchos como White, Ankeny, Weir, Gardner-Wooding, Simunek-Wooding... como se estudia en Fatehnia *et al.* (2014).

- En lo referido a la **conductividad hidráulica saturada**, los patrones difieren con respecto a los de no saturada, discutidos en las líneas superiores. Los datos obtenidos son bastante altos en comparación con otras publicaciones consultadas. La parcela con mayor valor de conductividad hidráulica saturada en mm/h es el Bosque Mixto ($1207,67 \pm 1279,32$), posteriormente el Bosque de Ribera ($458,603 \pm 349,315$) y finalmente la zona de Pradera ($383,529 \pm 395,886$). La altura de agua infiltrada también sigue un patrón similar al antes citado. Los datos resultantes son 3080 mm para el Bosque Mixto, 1415 mm para el Bosque de Ribera y 1357,5 mm para la Pradera.

Para ser conscientes de la magnitud de los datos, se ejemplifican otras experiencias de similares características.

- Por ejemplo, Mongil y Navarro en 2012, realizan con un infiltrómetro de similares dimensiones un estudio de infiltración, en éste se obtiene para el caso de un pinar con material geológico de limos y arcillas en textura franca una infiltración de 184 mm/h, bastante inferior a cualquiera de las dos parcelas de masas arboladas medidas en este estudio.

- Cerdá (1997) emplea un infiltrómetro de 7 cm de diámetro, para el cálculo de infiltración en función de las 4 estaciones del año. Se produce una gran diferencia estacional, que fluctúa entre los 782 mm/h y los 29 mm/h ajustando con el modelo de Horton. Esta fluctuación encuentra su correlación con las estaciones y también con el terreno. Además los datos obtenidos con simulador de lluvia ajustado a 55 mm/h, ofrecen datos hasta 8,5 veces menor que con el infiltrómetro de anillo. Este estudio da una idea de la diversidad de resultados en función de las condiciones del estudio, evidenciando la importancia de un número de repeticiones suficiente y de continuar la medición a lo largo del año.

Los datos obtenidos en el presente estudio dan una idea aproximada de los valores tomados, pero el coeficiente de variación entre las repeticiones en ocasiones es cercano al 85% para el Bosque de Ribera y la Pradera y con cuatro repeticiones por parcela no tiene demasiado sentido ahondar en estadística. En este caso se valora la posibilidad de la influencia de la infiltración lateral. El surco inundado alrededor del ensayo es una forma de reducir este efecto, sin embargo conviene revisar los datos de humedad en busca de alguna correlación. Tras revisar las repeticiones de cada parcela que difieren más del resto, se trata de encontrar o descartar como posible causa la infiltración lateral. Por esto se comprueban los datos de incremento de humedad en el suelo, pero no se halla una correlación directa entre éste y los datos de infiltración. Al haberse tomado diversos puntos alrededor del ensayo, podría identificarse la existencia de alguna fuga de agua en alguna dirección concreta, pero en el caso de haberse sucedido, las mediciones no evidencian una paridad entre estos dos factores.

A pesar de no encontrarse paridad, sí existe diversidad entre los puntos medidos, evidenciando la heterogeneidad del terreno. Para alcanzar resultados más precisos, puede ser interesante aumentar el número de repeticiones por parcela.

Por falta de medios no ha podido realizarse, pero sin duda sería deseable llevar a cabo un mapeo tridimensional del bulbo de humedad generado durante y tras la medición,

para conocer la naturaleza del ensayo y comprender la sobredimensión de los datos en la medida de lo posible.

También se tomaron datos del punto donde se instaló el cilindro, justo después de finalizar el ensayo. Con el dato de lo que se supone es el porcentaje de agua en un suelo totalmente saturado, se puede comprobar el grado de saturación de los alrededores comparando los valores fuera y dentro del cilindro. Sí que es cierto que el promedio de esta diferencia resulta más elevado en el Bosque Mixto, coincidiendo con el valor más alto de infiltración, pero revisando las repeticiones por separado, tampoco se mantiene un patrón determinante.

Como han evidenciado autores como Godagnone *et al.* (2012) o Bower (1986), el diámetro del anillo empleado tiene un gran peso en el valor de infiltración final. A menor diámetro de cilindro, el error relativo aumenta debido a la infiltración lateral, pudiendo sobredimensionarse hasta 11 veces. Según Tricker (1978) para un infiltrómetro de 10 cm el error puede ser del 65%. No obstante en muchas ocasiones, la presencia de raíces y pedregosidad, o la no disponibilidad de una fuente de agua limitan el uso de diámetros de gran tamaño. Por esto, en algunos casos se emplean infiltrómetros de pequeñas dimensiones como Cerdá (1995) que trabaja con diámetros de 7 cm, o Mongil y Navarro (2012), con diámetros de 8,3 cm.

Dentro de las zonas arboladas, al comparar las características particulares de cada una, se comprueba que el Bosque Mixto posee mayor espesor de horizonte orgánico, y menor densidad, por lo que se puede encontrar justificación a los datos recogidos. Aunque no existen grandes diferencias entre los datos de estas parcelas, diferentes estudios como Neris *et al.*, (2012) determinan que existe una correlación entre la infiltración y propiedades como la estabilidad de los agregados, la materia orgánica y la densidad aparente.

Otros estudios avalan el efecto positivo de la vegetación sobre la infiltración controlando y laminando mejor las escorrentías superficiales producidas por precipitaciones, MAGRAMA (2010) y Emilia Arcos (2010) entre muchos otros.

El espesor del estrato de materia orgánica parece tener correlación directa con la infiltración. Un espesor aceptable de este estrato se consigue en masas relativamente maduras, por lo que la reforestación de zonas periurbanas no asegura un aumento de la infiltración a corto plazo. Conviene por tanto reforestar zonas que no lo estén, pero considerar la posibilidad de añadir al suelo materiales que incrementen la capacidad de absorción. Otra medida a llevar a cabo es llevar a cabo medidas de protección en los bosques que ya presenten un estrato orgánico evolucionado, ya sea en materia de prevención de incendios o de conservación.

8. CONCLUSIONES

- El infiltrómetro de minidisco es una herramienta útil y eficiente para la comparación de Knosat en parcelas con similitudes edáficas y texturales. Además, el cálculo de Knosat con otros métodos y ecuaciones diferentes al de Zhang (1997) puede aportar información adicional sobre la conductividad del suelo.
- En lo relativo a la conductividad hidráulica no saturada de los primeros centímetros de suelo, las parcelas arboladas de Bosque de Ribera (13,42 mm/h \pm 1,71) y Bosque Mixto (21,10 mm/h \pm 8,49) muestran un grupo homogéneo estadísticamente significativo con respecto a la de Pradera (32,29 mm/h \pm 11,86), siendo ésta última la de valor superior.
- La repetición de las mediciones en los diferentes estratos del suelo podrían aportar información relevante sobre el comportamiento de los diferentes suelos durante el proceso de saturación.
- El infiltrómetro de minidisco es cómodo de transportar, requiere poco agua y fácil de utilizar, pero comporta cierta dificultad en cuanto a instalación y medición en las parcelas forestales.
- Tras las experiencias en campo, se recomienda un estudio de hidrofobicidad, para calcular el Índice de Repelencia de agua sobre todo en el Bosque Mixto de Rožnik, que es donde más se ha observado este fenómeno.
- En cuanto a Ksat, los resultados obtenidos son bastante elevados con respecto a otras publicaciones comparadas. Las zona de arbolado registran valores más altos que los de la zona de pradera, siendo sensiblemente superior el de Bosque Mixto (1207,67 mm/h \pm 1279,32) frente a las otras dos de Bosque de Ribera (458,603 mm/h \pm 349,315) y Pradera (383,529 mm/h \pm 395,886).
- Se cumple que la conductividad hidráulica saturada aumenta con el espesor del estrato de materia orgánica presente en el suelo, esto evidencia la importancia de las cubiertas vegetales desarrolladas en la regulación de la escorrentía y las inundaciones.
- Se recomienda mantener y aumentar la protección de bosques periurbanos bien desarrollados, e incluir materiales que incrementen la infiltración del suelo en obras posteriores de reforestación.
- No se ha encontrado una correlación directa entre el incremento de humedad del suelo antes y después del experimento alrededor del mismo con los datos de Ksat finales.

- El infiltrómetro de anillo simple ha resultado ser una herramienta muy económica y accesible, no mostrando contraindicaciones graves en las diferentes condiciones estudiadas.
- Los grupos hidrológicos de las parcelas muestran una buena aptitud de los suelos a la infiltración, siendo el grupo mixto A/B para las parcelas de Pradera y Bosque de Ribera y A para el Bosque Mixto de Rožnik, marcando así una primera pauta para la modelización hidrológica de las zonas estudiadas.
- Se recomienda, tanto en el caso del infiltrómetro de anillo simple como en el de minidisco un aumento de las repeticiones en cada parcela, comparándolas con suelos de similares características, en orden a determinar con mayor precisión qué factores afectan a los parámetros estudiados en este documento.

Jaime Martínez Varela

En Palencia, a 15 de diciembre de 2015.

9. BIBLIOGRAFÍA

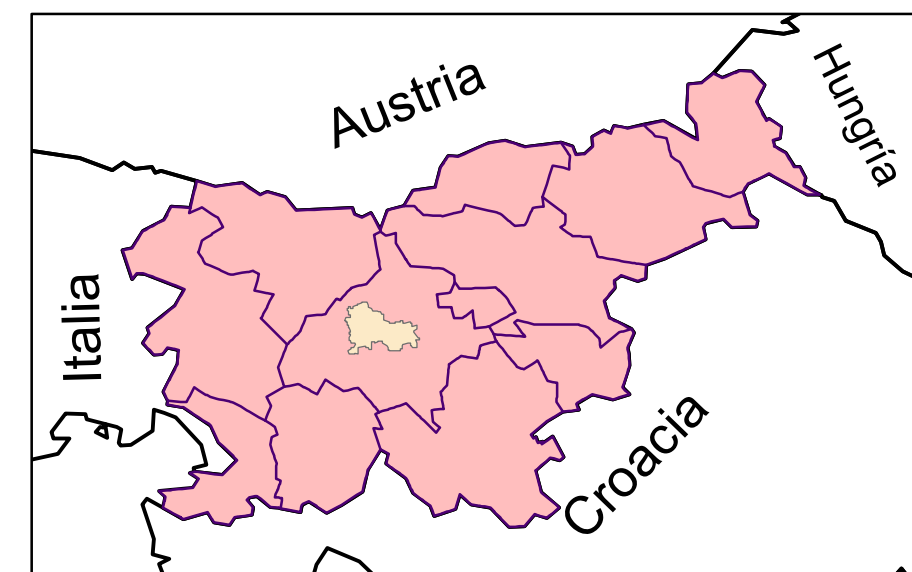
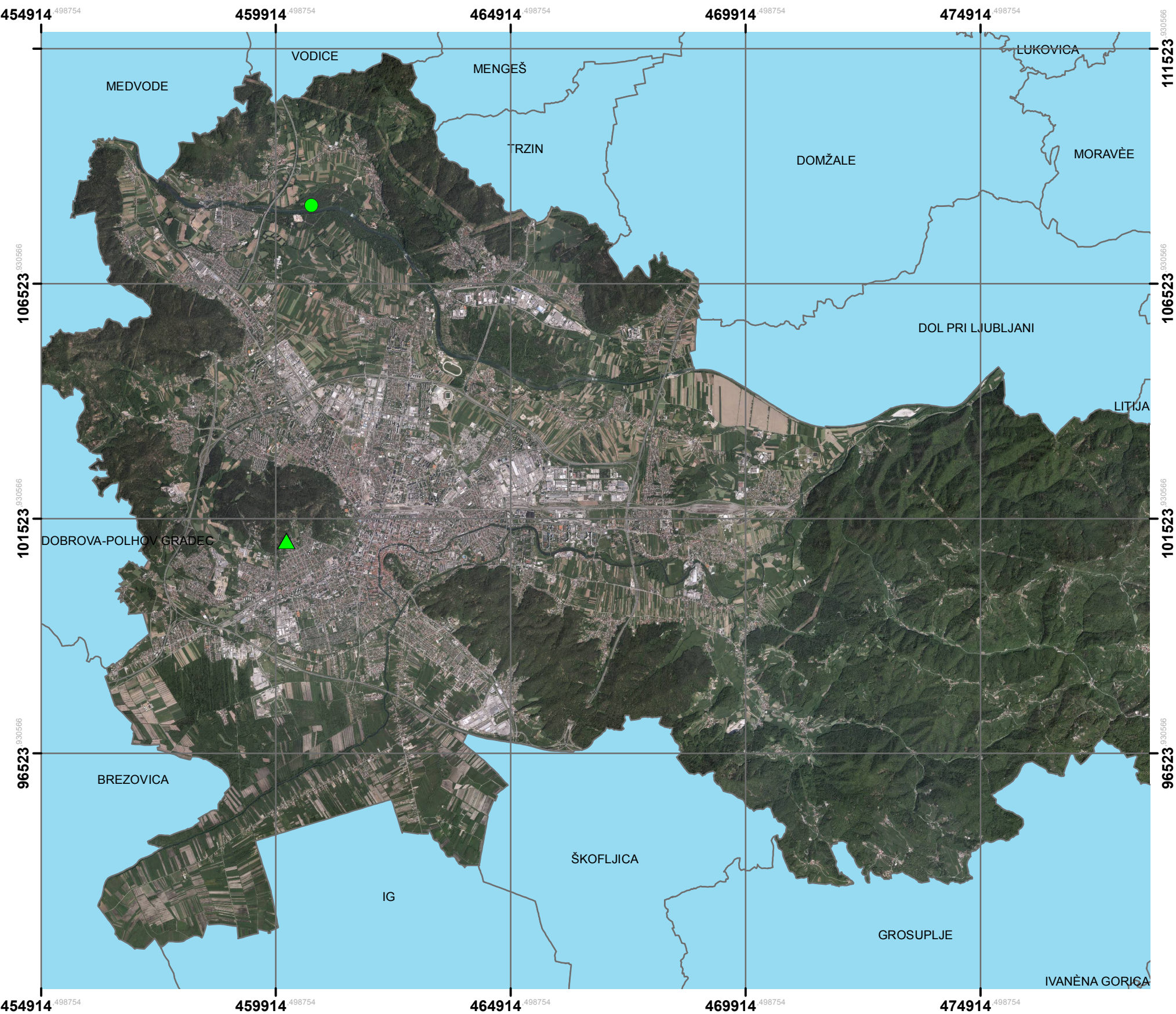
- Amerman, C. (1983). *Infiltration measurement Proc. Conf. On advances in infiltration*. Chicago: ASAE Publication.
- ARSO. (2006). *Condiciones climáticas en Eslovenia (Período 1971-2000)*. Ljubljana: Agencia de Medio Ambiente de la República de Eslovenia.
- ARSO. (26 de marzo de 2015). *Agencia de Medio Ambiente de la República de Eslovenia*. Obtenido de Ministerio de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio: <http://www.arso.gov.si/>
- Atlas Okolja. (2015). Agencia Nacional de Medio Ambiente. *Atlas Okolja*. Eslovenia: <http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/>.
- Barbante, E. (2014). *Urban and periurban forests. Management, monitoring and ecosystem services. EMoNFUr Life+ project experiences*. Milán: EMoNFUr.
- Belmonte Serrato, F., Ruiz Sinoga, J., Romero Díaz, A., Martínez Hernández, C., & Robledano Aymerich, F. (2014). *Medida de la conductividad hidráulica mediante infiltrómetros de minidisco en suelos agrícolas cultivados y en abandono (Región de Murcia)*. Murcia: Departamento de Geografía, Universidad de Murcia.
- Bens, O., Arne Wahl, N., Fischer, H., & Hüttl, R. (2007). Water infiltration and hydraulic conductivity in sandy cambisols: Impacts of forest transformation on soil hydrological properties. *European Journal of Forest Research* (126.1), 101-109.
- Blanco, R. (1999). *El infiltrómetro de cilindro simple como método de cálculo de la conductividad hidráulica de los suelos. Experiencias de campo en ámbitos de montaña mediterránea*. Málaga: Universidad de Málaga.
- Bower, H. (1986). Intake rate: cylinder infiltrometer. Page, A.L.; Miller, R.H. y Keeney, D.R. (ed.): *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. Second Edition. Madison, Wisconsin: Agronomy 9.
- Campano, A. (2014). *Estudio comparativo de la infiltración en áreas degradadas y naturales de la localidad de Saldaña (Palencia)*. Palencia: Universidad de Valladolid.
- Carsel, R., & Parrish, R. (1988). Developing joint probability distributions of soil water retention characteristics. *Water Resource research* (24), 755-769.
- Cerdá, A. (1995). *Factores y variaciones espacio-temporales de la infiltración en los ecosistemas mediterráneos*. Logroño: Monografías científicas nº 5. Geoforma ediciones.
- Cerdá, A. (1997). Seasonal changes of the infiltration rates in a Mediterranean scrubland on limestone. (198), 209-225. *Journal of Hydrology*.
- Decagon. (2014 a). *Mini Disk Infiltrimeter*. Pullman, Washington: Decagon Devices, Inc.

- Decagon. (2014 b). *Decagon Devices, Inc.* Obtenido de <http://www.decagon.com/support/new-mini-disk-infiltrrometer-macro/>
- Decagon. (2015). *DualHead Infiltrrometer. Operator's manual.* Pullman, Washington: Decagon Devices, Inc.
- Dolinar, M. (2015). *Precipitation. Climate of Slovenia 1971-2000.* Ljubljana: Ministry of the Environment and Spatial Planning. Slovenian Environment Agency. Obtenido de <http://www.arso.gov.si/en/Weather/climate/>
- Donado, L. D. (2004). *Modelo de conductividad hidráulica en suelos.* Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Emilia Arcos, M. (2010). *Influencia de la cobertura vegetal en la capacidad de infiltración de agua en suelos de páramo.* Quito: Universidad San Francisco de Quito.
- Emonfur. (2015). Obtenido de <http://www.emonfur.eu/>
- Enríquez, R. A., & Orozco, O. A. (2011). *Conductividad hidráulica en diferentes suelos del municipio de San José de los Remates, Boaco 2009.* Managua, Nicaragua: Universidad Nacional Agraria. Facultad de Agronomía. Departamento de Ingeniería Agrícola.
- Fatehnia, M., Tawfiq, K., & Abichou, T. (2014). Comparison of the Methods of Hydraulic Conductivity Estimation from Mini Disk Infiltrrometer. *The Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, (19). 1049-1062.
- Gifford, G. (1978). Hydrologic impact of grazing on infiltration: a critical review. *Water Resources Research*, (14.2), 305-313.
- GIS. (10 de junio de 2015). *Geodetic Institute of Slovenia.* Obtenido de <http://www.gis.si/>
- Godagnone, R., Iruiria, C., Holzmann, R., & Cuenca, M. (2012). Pérdidas de agua por flujo lateral en un infiltrómetro de anillo simple. *XIX Congreso latinoamericano de la ciencia del suelo. Latinoamérica unida protegiendo suelos.* Mar de la Plata.
- Hawkings, R., Ward, T., Woodward, D., & Van Mullem, J. (2009). *Curve Number Hydrology. State of the Practice.* American Science of Civil Engineering. Reston.
- Horton, R. (1940). An approach toward a physical interpretation of infiltration capacity. *Proc. Soil Sci. Am* (5), 399-417.
- ICT International. (02 de 06 de 2015). *ICT International.* Obtenido de <http://www.ictinternational.com/products/s-mini-disk/minidisk-infiltrrometer/>
- Instituto Geográfico Esloveno. (02 de 06 de 2015). *Research centre of the Slovenian Academy of Science and Arts.* Obtenido de <http://www.zrc-sazu.si/en>
- International Basin Sava River Commision. (08 de 04 de 2015). *International Sava River Basin Commision.* Obtenido de <http://www.savacommission.org/>
- Jordan, J. (2010). *Mediciones experimentales de la infiltración en diferentes tipos de suelo con un infiltrómetro de minidisco.* Ljubljana: Facultad de Ingeniería Civil y Geodesia.
- Jury, W. A., & Horton, R. (2004). *Soil physics.* Hoboken, NJ.

- Konijnedijk, C. (2003). A decade of urban forestry in Europe. *Forest Policy and Economics*, (5), 173-186.
- Kutnar, L. (12 de 12 de 2013). Biodiversity monitoring activities- Flora, vegetation and habitat. *EMoNFUr Project. Report of activities. Action 12. Monitoring data analysis and processing*. Eslovenia: EMoNFUr.
- Lichner, L., Orfanus, T., Nováková, K., Sir, M., & Tesar, M. (2007). The Impact of Vegetation on hydraulic Conductivity of Sandy Soil. *Soil & Water Res.*,(2) 59-66.
- MAGRAMA. (2010). *Actuaciones de Restauración Hidrológico Forestal en el Principado de Asturias (2002-2010)*. Gobierno del Principado de Asturias.
- Marinšek, A., & Kobal, M. (2013). Soil monitoring. En *Action 12: Monitoring data analysis and processing* (pp. 50-56). Ljubljana: EMoNFUR.
- Marinšek, A., & Vilhar, U. (26 de mayo de 2015). Slovenian Forestry Institute Database. Ljubljana, Eslovenia: SFI.
- Martínez de Azagra, A. (2006). Aproximación al conocimiento de la infiltración a través del análisis dimensional. *Ecología* (20), 471-491.
- Martínez de Azagra, A., & Navarro, J. (1996). *Hidrología Forestal: El ciclo hidrológico*. Palencia: Universidad de Valladolid.
- Mataix-Solera, J., Zavala, L., Arcenegui, V., Jordán, A., Lozano, E., Gordillo-Rivero, A., . . . García-Moreno, J. (2013). *La repelencia al agua en el suelo: Una propiedad más común de lo que pensábamos*. Mallorca: Sociedad Española de la Ciencia del Suelo.
- Mongil, J., & Navarro, J. (2012). Infiltración y grupos hidrológicos de suelos en las laderas de los páramos (Valladolid). *Cuadernos de investigación geográfica. Universidad de La Rioja*. (38)
- Neris, J., Jiménez, C., Fuentes, J., Morillas, G., & Tejedor, M. (2012). Vegetation and land-use effects on soil properties and water infiltration of Andisols in Tenerife (Canary Islands, Spain). *Catena*, (98). pp 55-62.
- NRCS. (2007). *Hydrology. National Engineering Handbook*. Part 630. Washington D.C.
- Ponce, V. (1989). *Engineering hydrology. Principles and practices*. New Jersey: Prentice Hall.
- Porta, J., López-Acevedo, M., & Roquero, C. (1999). *Edafología. Para la agricultura y el medio ambiente*. Madrid: Ed. Mundi-Prensa.
- Rodríguez Barreira, S. (2008). *Crecimiento del arbolado, producción de pasto y efectos edáficos en sistemas silvopastorales fertilizados con lodos de depuradora. Efecto residual*. Universidad de Santiago de Compostela. EPS.
- Ruiz Sinoga, J., Lucas Santamaría, B., Romero Lopera, A., Noguera Robles, M., Gallegos Reina, A., Márquez Carrero, J., & Martínez Murillo, J. (2003). *Determinación de la conductividad hidráulica en laderas mediante el uso de infiltrómetros de minidisco a lo largo de un gradiente pluviométrico mediterráneo*. Departamento de Geografía. Universidad de Málaga.

- Sánchez, A. (2009). *Conductividad Hidráulica en diferentes suelos en el Departamento de Boaco*. Managua, Nicaragua: Facultad de Agronomía. Departamento de Ingeniería Agrícola.
- SSDS. (n.d.). Soil survey manual. *Handbook 18. Soil Survey Division Staff*. Washington, D.C.: Soil Conservation Service (USDA).
- Subramanya, K. (2008). *Engineering Hidrology. Third edition*. Nueva Dehli: Tata McGraw-Hill.
- Swartzendruber, D., & Olson, T. (1961 b). *Model study of the double ring infiltrometer as affected by depth of wetting and particle size*. *Soil Science* (92), 219-225.
- Swartzendruber, D., & Olson, T. (1961 a). Sand-model study of buffer effects in the double-ring infiltrometer. *Soil Science Society of American Journal* (25), 5-8.
- Touma, J., & Albergel, J. (1992). Determining soil hidrologic properties from rain simulator or double ring infiltrometer experiments: a comparison. *Journal of Hidrology* (135), 73-86.
- Tricker, A. (1978). The infiltration cylinder: some comments in its use. *Journal of hydrology*,(36), 383-391.
- Unex. (2015). *Departamento de Biología y Producción de los Vegetales*. Obtenido de Área de Edafología y Química agrícola: <http://www.eweb.unex.es/eweb/edafo/>
- USDA. (1999). *Soil Taxonomy: A basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*. Agriculture Handbook.
- Verlič, A. (2013). *Action 12: Monitoring data analysis and processing*. EMoNFUr Project Life+.
- Vilhar, U., & Žlindra, D. (2013). Soil water holding capacity monitoring. En *Action 12: Monitoring data analysis and processing* (pp. 57-60). EMoNFUr.
- Vilhar, U., Čarni, A., & Božič, G. (2013). *Características y crecimiento del álamo negro europeo (Populus nigra L.) en los bosques y llanuras de inundación a lo largo del río Sava y medición de incremento de temperatura en las parcelas seleccionadas*. Ljubljana: Eslovenia. Instituto Forestal Esloveno.
- Vivar, A. (1993). Aplicación del modelo de Green-Ampt para infiltrometría de doble anillo con carga variable sobre suelos alterados por labores de preparación para la repoblación. *Actas XII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo: El estudio del suelo y de su degradación en relación con la desertificación*. (págs. 142-150.). Salamanca: MAPA. SECS.
- Ward, A., & Trimble, S. (2004). *Environmental Hydrology*. Florida, USA: CRC Press LLC.
- Youngs, E. (1987). Estimating hydraulic conductivity values from ring infiltrometer measurements. *Journal of Soil Science*. (38), 623-632

ANEJO 1. MAPAS



Divisiones administrativas

- Eslovenia y regiones **Zonas de estudio**
- Ljubljana
- Municipios
- Gameljne
- Roznik



| | |
|---|--|
|  | Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias |
| | Universidad de Valladolid |
| Título del Plano: | |
| Localización de las zonas de Roznik y Gameljne | |
| Escala: Varias Escalas | Proyección UTM |
| | Sistema de Coordenadas: MGI Slovenian Grid |
| | Datum: MGI |
| Plano nº 1 | Unidad: Metro |
| | Fuente de datos: MKGP |
| Firma: | Jaime Martínez Varela |

ANEJO 2. ANEJO CLIMATOLÓGICO

Al final de este anejo se encuentra el documento resumen de buena parte de las variables climáticas de la estación de referencia Bezigrad.

El clima en Eslovenia varía drásticamente en función de la geográfica, altitud, orientación y proximidad al mar entre otros factores. Todas estas variables divergen notablemente a lo largo de la heterogénea extensión eslovena. Los climas principales que podemos encontrar son tres (Figura 39):

- Submediterráneo: Extremo oeste del país. En la zona de costa y ligeramente hacia el interior en la parte sur.
- Clima alpino: Esta zona del país es la que recibe mayor cantidad de precipitaciones, sobre todo los meses de octubre y noviembre. Se encuentra casi exclusivamente en la zona norte del país. En los Alpes Julianos (zona noroeste), *Kamniško- Savinjske alpe* y *Pohorje* (norte) y *Javorniki* (sur).
- Continental templado: Oeste y sur de Eslovenia. Este es el clima propio de Ljubljana y de las parcelas de estudio.

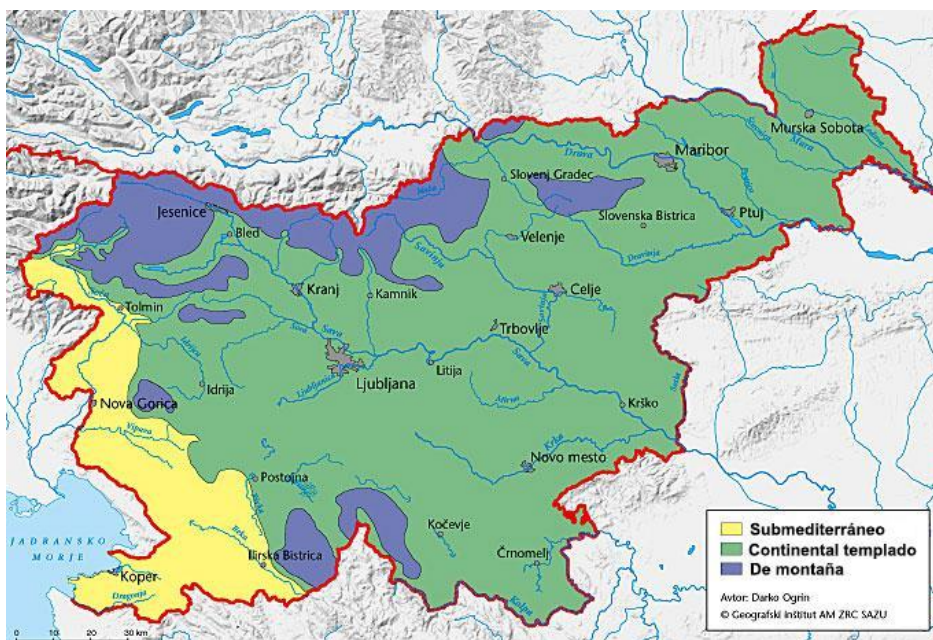


Figura 39. Distribución de los diferentes climas en Eslovenia. Adaptado de Geografski Inštitut (2015).

- **Precipitaciones:**

La distribución espacial de las precipitaciones en Eslovenia está fuertemente ligada a la orografía del terreno. La Figura 41 muestra las zonas con mayor precipitación. Como se puede apreciar se encuentran próximas a la costa y en cadenas montañosas, buena parte en forma de nieve que suele permanecer hasta junio y julio en los puntos más altos de la geografía eslovena. Si se compara la Figura 40 y la Figura 41 se observa la estrecha relación entre altitud y precipitación. El efecto Foehn y la altitud favorecen las lluvias en la zona occidental del país, apreciándose un claro gradiente que va desde los

3500 mm hasta los escasos 800 mm de la zona oriental (Dolinar, 2015). La zona de Ljubljana registra unos 1360 mm anuales.

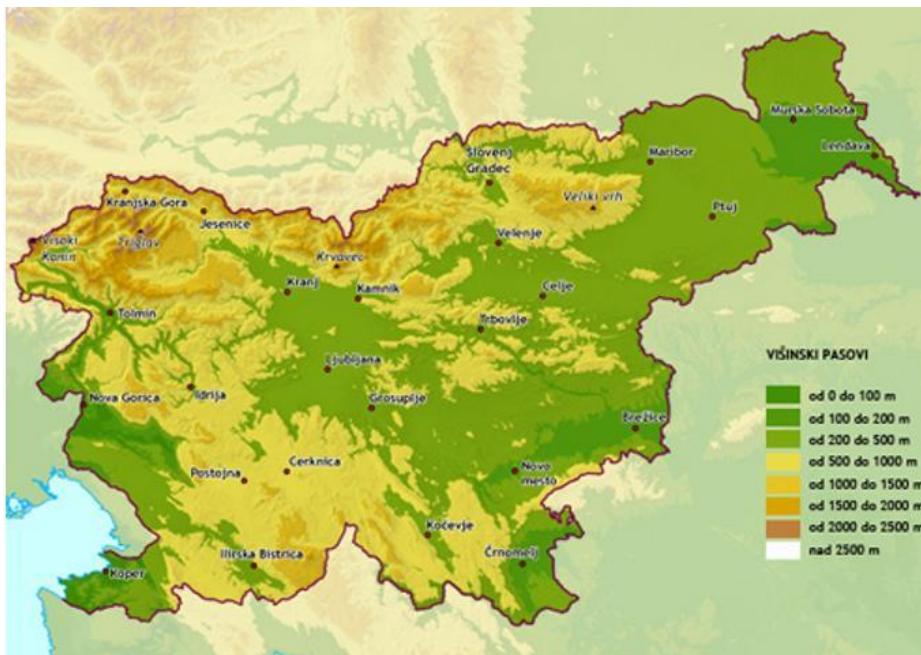


Figura 40. Mapa relieve de Eslovenia. Fuente: GIS (2015).

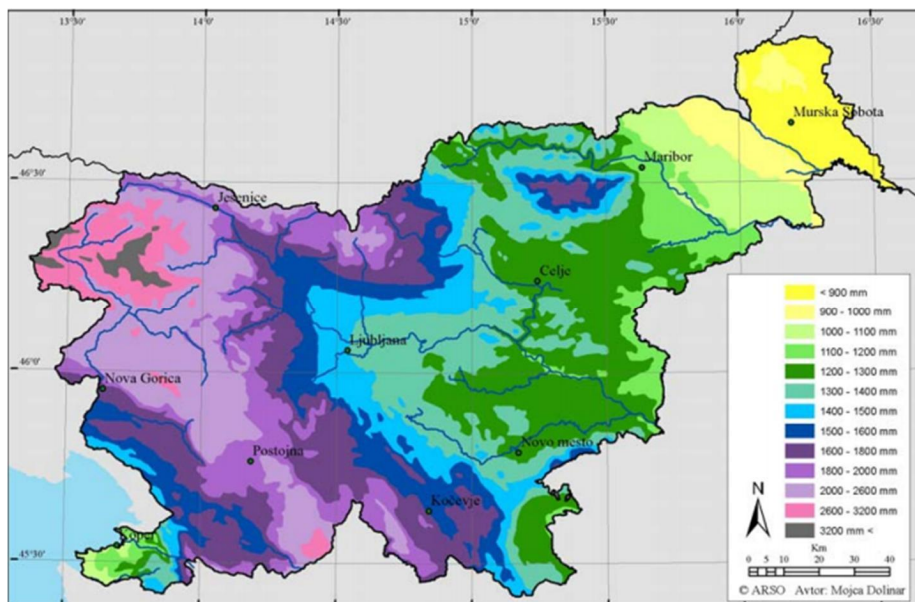


Figura 41. Mapa de precipitaciones de Eslovenia. Fuente: ARSO (2006).

La variación a anual de las precipitaciones a lo largo del año muestra diferentes comportamientos en función de la zona que se valore. Así pues, los puntos máximos de precipitación en la zona mediterránea van a ser a finales de primavera y otoño, en la zona alpina durante el otoño y conforme nos desplazamos hacia el este la precipitación se va a manifestar en forma de tormentas de verano.

También cabe destacar que tanto las precipitaciones como el número de días en los que se registran lluvias fluctúan bastante a lo largo del periodo estudiado, entre 1971 y 2000 Figura 43 y Figura 42.

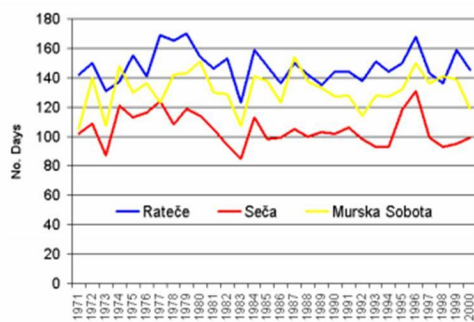


Figura 42. Días de precipitación en Ratece (NO), Seča (SO) y Murska Sobota (NE). Fuente: Dolinar (2005).

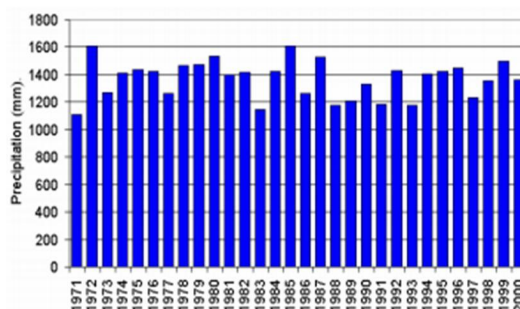


Figura 43. Precipitación entre 1971 y 2000. Fuente: Dolinar (2005).

- **Temperaturas:**

Las temperaturas también guardan un patrón bastante similar al del relieve. Las zonas más calurosas son la zona de costa y la más oriental, que coincide con la de menor altitud. Un dato que conviene puntualizar es el incremento de la media anual de temperatura en Eslovenia. En ARSO (2006) se estudia la evolución de la misma y como se observa en la Figura 44 ha aumentado más de dos grados centígrados en los treinta últimos años.

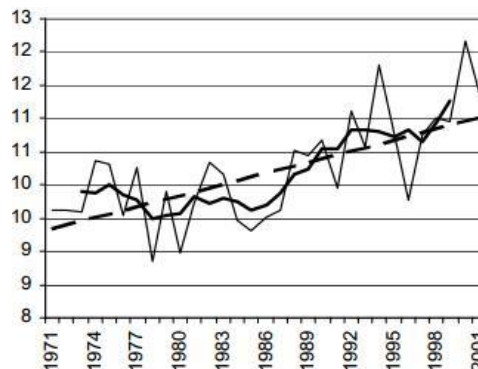


Figura 44. Tendencia de crecimiento de la temperatura media anual entre los años 1971 y 2001. Extraído de ARSO, 2006.

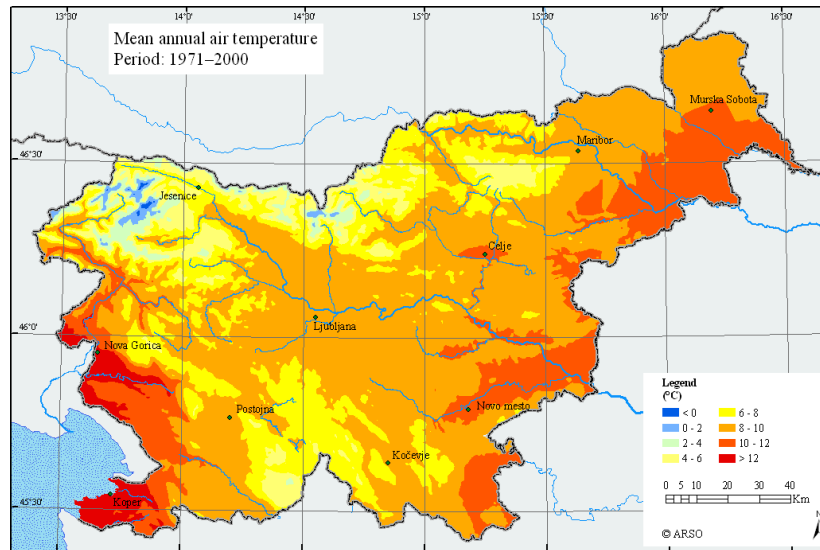


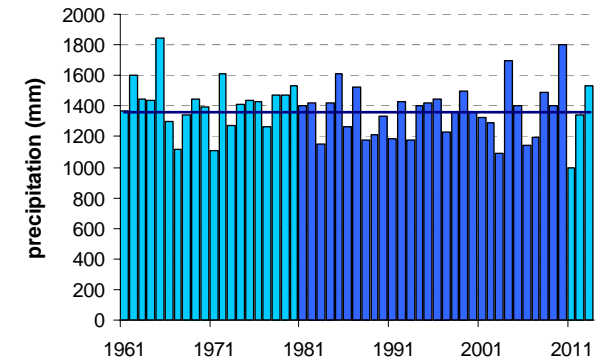
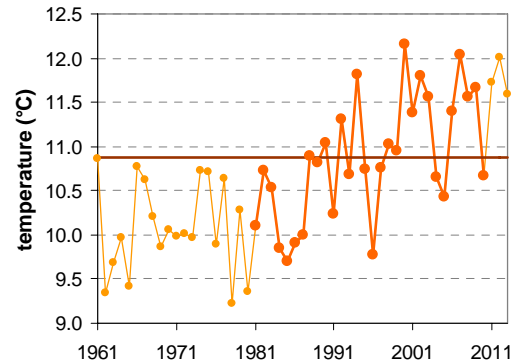
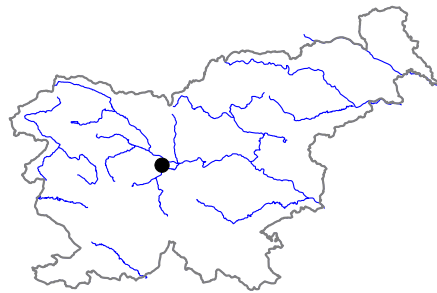
Figura 45. Temperaturas medias anuales durante los años 1971-2000.
Fuente: (ARSO, 2006).

LJUBLJANA BEŽIGRAD

Latitude: 46° 4'

Longitude: 14° 31'

Elevation a. s. l.: 299 m



| | JAN | FEB | MAR | APR | MAY | JUN | JUL | AUG | SEP | OCT | NOV | DEC | YEAR |
|--|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| mean monthly temperature (°C)* | 0.3 | 1.9 | 6.5 | 10.8 | 15.8 | 19.1 | 21.3 | 20.6 | 16.0 | 11.2 | 5.6 | 1.2 | 10.9 |
| mean daily maximum for a month (°C)* | 3.4 | 6.4 | 11.4 | 16.1 | 21.4 | 24.6 | 27.3 | 26.7 | 21.6 | 15.9 | 8.8 | 3.8 | 15.6 |
| mean daily minimum for a month (°C)* | -2.5 | -2.0 | 1.7 | 5.8 | 10.3 | 13.7 | 15.5 | 15.2 | 11.5 | 7.7 | 2.8 | -1.1 | 6.6 |
| absolute monthly maximum (°C) | 15.8 | 19.7 | 24.3 | 27.8 | 32.4 | 35.6 | 37.1 | 37.3 | 30.3 | 25.8 | 20.9 | 16.7 | 37.3 |
| absolute monthly minimum (°C) | -20.3 | -18.0 | -14.1 | -3.2 | 0.2 | 3.8 | 7.4 | 5.8 | 3.1 | -5.2 | -14.5 | -14.5 | -20.3 |
| number of days with max. temperature < 0 °C | 8 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 6 | 18 |
| number of days with min. temperature < 0 °C | 23 | 19 | 10 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 9 | 20 | 83 |
| number of days with max. temperature > 25 °C | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 15 | 23 | 21 | 6 | 0 | 0 | 0 | 73 |
| number of days with max. temperature > 30 °C | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 8 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 19 |
| bright sunshine duration (in hours)* | 71 | 114 | 149 | 178 | 235 | 246 | 293 | 264 | 183 | 120 | 66 | 56 | 1974 |
| mean monthly relative humidity at 7 a.m. (%) | 90 | 89 | 88 | 87 | 85 | 84 | 84 | 90 | 94 | 93 | 92 | 91 | 89 |
| mean monthly relative humidity at 2 p.m. (%) | 74 | 62 | 55 | 51 | 50 | 52 | 48 | 50 | 57 | 65 | 73 | 79 | 60 |
| mean monthly relative humidity at 9 p.m. (%) | 84 | 77 | 69 | 68 | 69 | 70 | 69 | 75 | 84 | 87 | 87 | 87 | 77 |
| mean cloud amount at 7 a.m. (in tenths) | 8.2 | 7.1 | 7.0 | 6.8 | 6.1 | 6.0 | 5.0 | 5.7 | 7.8 | 8.6 | 8.6 | 8.5 | 7.1 |
| mean cloud amount at 2 p.m. (in tenths) | 6.9 | 5.8 | 6.3 | 6.6 | 6.2 | 5.8 | 5.0 | 4.9 | 5.5 | 6.1 | 7.2 | 7.4 | 6.2 |
| mean cloud amount at 9 p.m. (in tenths) | 6.8 | 5.6 | 5.8 | 5.7 | 5.4 | 5.5 | 4.5 | 4.0 | 4.8 | 5.8 | 7.0 | 7.5 | 5.7 |
| number of clear days (cloudiness < 2/10) | 2 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 5 | 6 | 2 | 1 | 1 | 2 | 37 |
| number of cloudy days (cloudiness > 8/10) | 16 | 11 | 12 | 11 | 8 | 7 | 4 | 5 | 8 | 13 | 17 | 19 | 130 |
| total amount of precipitation (mm)* | 69 | 70 | 88 | 99 | 109 | 144 | 115 | 137 | 147 | 147 | 129 | 107 | 1362 |
| number of days with precipitation 0.1 mm or more | 11 | 9 | 11 | 14 | 14 | 15 | 12 | 12 | 12 | 13 | 14 | 14 | 153 |
| number of days with precipitation 1 mm or more | 8 | 7 | 8 | 10 | 10 | 11 | 9 | 9 | 9 | 10 | 10 | 9 | 110 |
| number of days with precipitation 10 mm or more | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 5 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 4 | 44 |
| number of days with snow cover at 7 a.m. | 15 | 14 | 6 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 11 | 50 |
| mean snow cover depth at 7 a.m. (cm)* | 7 | 8 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 1.8 |
| maximum snow cover depth at 7 a.m. (cm) | 89 | 67 | 41 | 14 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 37 | 40 | 89 |
| mean new snow cover depth (cm)* | 24 | 25 | 8 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 17 | 86 |

* homogenised values

Time period: 1981–2010

ANEJO 3. DATOS EN CAMPO

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

En este anejo se recopilan los datos tomados en campo. En primer lugar se presentan los datos con infiltrómetro de minidisco en cada una de las parcelas y después los ensayos con el cilindro simple divididos por parcelas también.

1. Datos tomados con infiltrómetro de minidisco

Los datos de tiempo y volumen tomados en campo son introducidos en una hoja de cálculo proporcionada por el fabricante Decagon. Esta hoja devuelve una gráfica de la evolución de la infiltración a lo largo del experimento relacionando el cuadrado del tiempo y el volumen infiltrado. En cada experimento realizado se presenta la tabla de datos, la gráfica obtenida y el valor final de infiltración.

1.1. Infiltrómetro de minidisco en Bosque Mixto de Rožnik (RF)

1.1.1. Datos de humedad en suelo

Tabla 24. Datos de humedad para las repeticiones con minidisco en la parcela de bosque mixto.

| Punto muestreado | Profundidad (cm) | Temperatura del suelo (°C) | K calc | Humedad (%) |
|------------------|------------------|----------------------------|--------|-------------|
| 1 | 10 | 16 | 9,92 | 18,67 |
| | 10 | | 9,79 | 18,42 |
| 2 | 10 | 15,3 | 8,31 | 15,42 |
| | 10 | | 8,26 | 15,32 |
| 3 | 10 | 16 | 12,23 | 22,97 |
| | 10 | | 10,69 | 20,15 |
| | 10 | | 13,72 | 25,53 |
| 4 | 10 | 15,8 | 5,77 | 9,8 |
| | 10 | | 6,28 | 10,98 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| | | | | |
|---|----|------|------|-------|
| | 10 | | 6,62 | 11,74 |
| 5 | 10 | 15,8 | 5,57 | 9,34 |
| | 10 | | 4,45 | 6,65 |
| | 10 | | 4,45 | 6,65 |

1.1.2. Datos de conductividad hidráulica no saturada

- Repetición 1

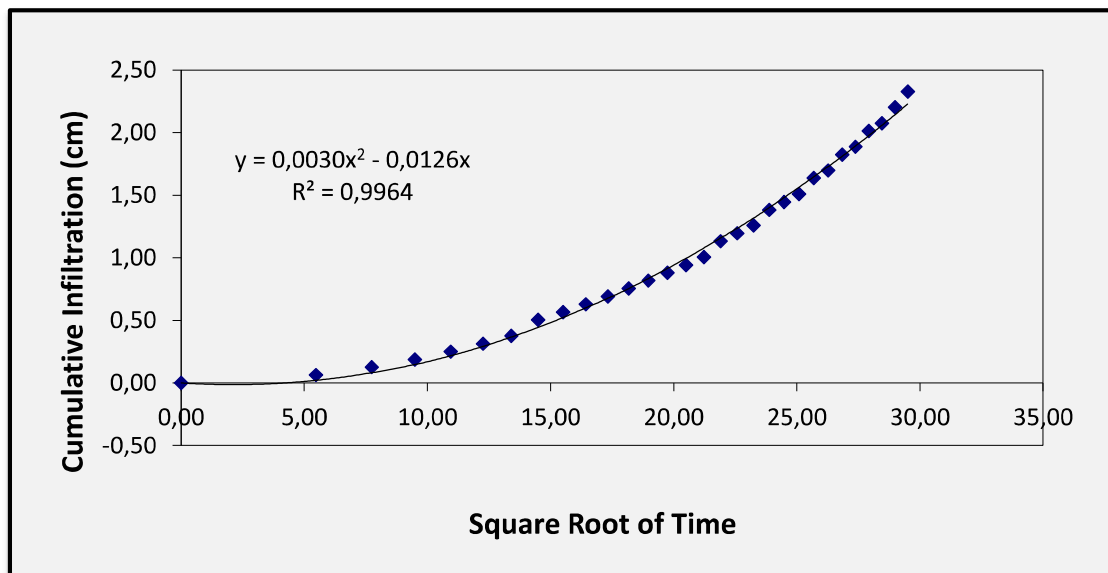


Figura 46. Gráfica de conductividad hidráulica no saturada con infiltrómetro de minidisco. Repetición 1 bosque mixto.

Tabla 25. Datos de campo (en verde), datos empleados para la gráfica (en blanco) y dato final de Knosat para repetición 1.

| Time (s) | sqrt (t) | Volume (mL) | Infilt (cm) |
|----------|----------|-------------|-------------|
| 0 | 0,00 | 82 | 0,00 |
| 30 | 5,48 | 81 | 0,06 |
| 60 | 7,75 | 80 | 0,13 |
| 90 | 9,49 | 79 | 0,19 |
| 120 | 10,95 | 78 | 0,25 |
| 150 | 12,25 | 77 | 0,31 |
| 180 | 13,42 | 76 | 0,38 |
| 210 | 14,49 | 74 | 0,50 |
| 240 | 15,49 | 73 | 0,57 |
| 270 | 16,43 | 72 | 0,63 |
| 300 | 17,32 | 71 | 0,69 |
| 330 | 18,17 | 70 | 0,75 |
| 360 | 18,97 | 69 | 0,82 |
| 390 | 19,75 | 68 | 0,88 |
| 420 | 20,49 | 67 | 0,94 |
| 450 | 21,21 | 66 | 1,01 |
| 480 | 21,91 | 64 | 1,13 |
| 510 | 22,58 | 63 | 1,19 |
| 540 | 23,24 | 62 | 1,26 |
| 570 | 23,87 | 60 | 1,38 |
| 600 | 24,49 | 59 | 1,45 |
| 630 | 25,10 | 58 | 1,51 |
| 660 | 25,69 | 56 | 1,63 |
| 690 | 26,27 | 55 | 1,70 |
| 720 | 26,83 | 53 | 1,82 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| | | | |
|----------|-------|------------------------|------|
| 750 | 27,39 | 52 | 1,89 |
| 780 | 27,93 | 50 | 2,01 |
| 810 | 28,46 | 49 | 2,07 |
| 840 | 28,98 | 47 | 2,20 |
| 870 | 29,50 | 45 | 2,33 |
| K | | 0,00084684 cm/s | |

- Repetición 2

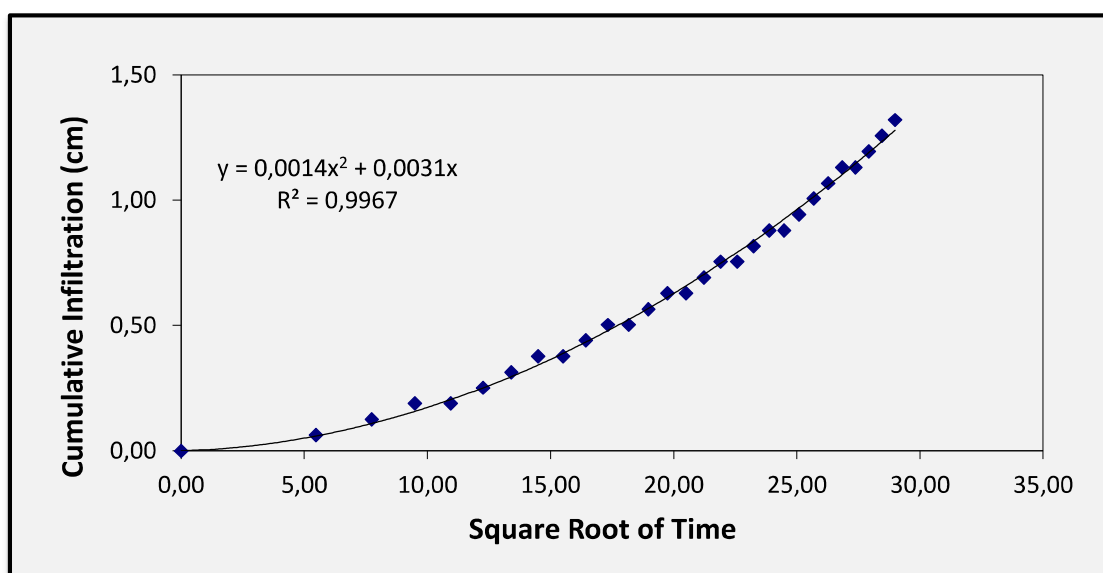


Figura 47. Gráfica de conductividad hidráulica no saturada con infiltrómetro de minidisco. Repetición 2 bosque mixto.

Tabla 26. Datos de campo (en verde), datos empleados para la gráfica (en blanco) y dato final de Knosat para repetición 2.

| Time (s) | sqrt (t) | Volume (mL) | Infilt (cm) |
|----------|----------|-------------|-------------|
| 0 | 0,00 | 83 | 0,00 |
| 30 | 5,48 | 82 | 0,06 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| | | | |
|----------|------------------------|----|------|
| 60 | 7,75 | 81 | 0,13 |
| 90 | 9,49 | 80 | 0,19 |
| 120 | 10,95 | 80 | 0,19 |
| 150 | 12,25 | 79 | 0,25 |
| 180 | 13,42 | 78 | 0,31 |
| 210 | 14,49 | 77 | 0,38 |
| 240 | 15,49 | 77 | 0,38 |
| 270 | 16,43 | 76 | 0,44 |
| 300 | 17,32 | 75 | 0,50 |
| 330 | 18,17 | 75 | 0,50 |
| 360 | 18,97 | 74 | 0,57 |
| 390 | 19,75 | 73 | 0,63 |
| 420 | 20,49 | 73 | 0,63 |
| 450 | 21,21 | 72 | 0,69 |
| 480 | 21,91 | 71 | 0,75 |
| 510 | 22,58 | 71 | 0,75 |
| 540 | 23,24 | 70 | 0,82 |
| 570 | 23,87 | 69 | 0,88 |
| 600 | 24,49 | 69 | 0,88 |
| 630 | 25,10 | 68 | 0,94 |
| 660 | 25,69 | 67 | 1,01 |
| 690 | 26,27 | 66 | 1,07 |
| 720 | 26,83 | 65 | 1,13 |
| 750 | 27,39 | 65 | 1,13 |
| 780 | 27,93 | 64 | 1,19 |
| 810 | 28,46 | 63 | 1,26 |
| 840 | 28,98 | 62 | 1,32 |
| K | 0,00040145 cm/s | | |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

- Repetición 3

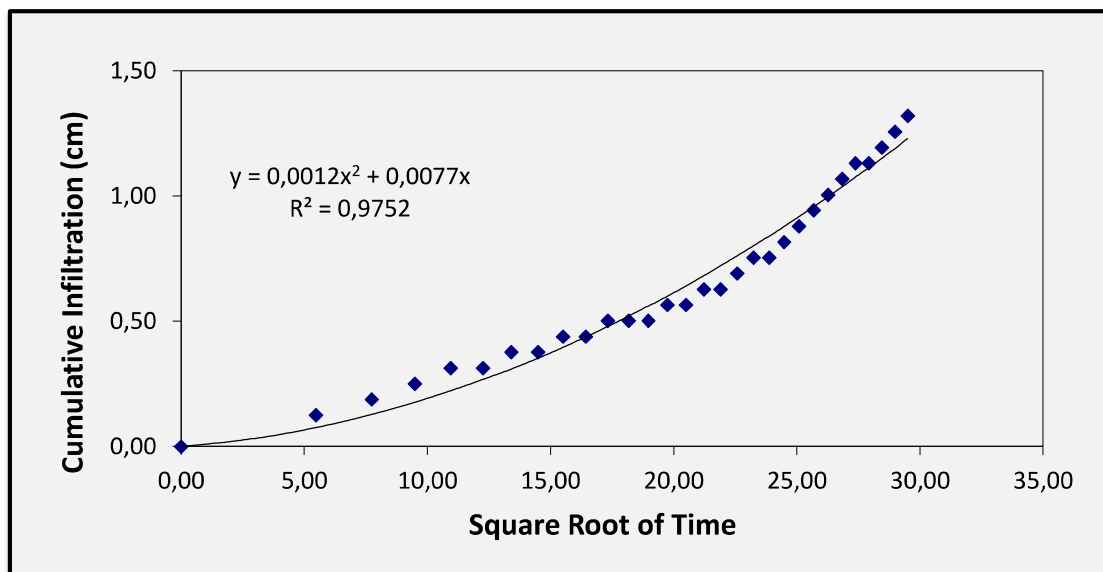


Figura 48. Gráfica de conductividad hidráulica no saturada con infiltrómetro de minidisco. Repetición 3 bosque mixto.

Tabla 27. Datos de campo (en verde), datos empleados para la gráfica (en blanco) y dato final de Knosat para repetición 3.

| Time (s) | sqrt (t) | Volume (mL) | Infilt (cm) |
|----------|----------|-------------|-------------|
| 0 | 0,00 | 77 | 0,00 |
| 30 | 5,48 | 75 | 0,13 |
| 60 | 7,75 | 74 | 0,19 |
| 90 | 9,49 | 73 | 0,25 |
| 120 | 10,95 | 72 | 0,31 |
| 150 | 12,25 | 72 | 0,31 |
| 180 | 13,42 | 71 | 0,38 |
| 210 | 14,49 | 71 | 0,38 |
| 240 | 15,49 | 70 | 0,44 |
| 270 | 16,43 | 70 | 0,44 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| | | | |
|----------|-------|------------------------|------|
| 300 | 17,32 | 69 | 0,50 |
| 330 | 18,17 | 69 | 0,50 |
| 360 | 18,97 | 69 | 0,50 |
| 390 | 19,75 | 68 | 0,57 |
| 420 | 20,49 | 68 | 0,57 |
| 450 | 21,21 | 67 | 0,63 |
| 480 | 21,91 | 67 | 0,63 |
| 510 | 22,58 | 66 | 0,69 |
| 540 | 23,24 | 65 | 0,75 |
| 570 | 23,87 | 65 | 0,75 |
| 600 | 24,49 | 64 | 0,82 |
| 630 | 25,10 | 63 | 0,88 |
| 660 | 25,69 | 62 | 0,94 |
| 690 | 26,27 | 61 | 1,01 |
| 720 | 26,83 | 60 | 1,07 |
| 750 | 27,39 | 59 | 1,13 |
| 780 | 27,93 | 59 | 1,13 |
| 810 | 28,46 | 58 | 1,19 |
| 840 | 28,98 | 57 | 1,26 |
| 870 | 29,50 | 56 | 1,32 |
| K | | 0,00032661 cm/s | |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

- Repetición 4

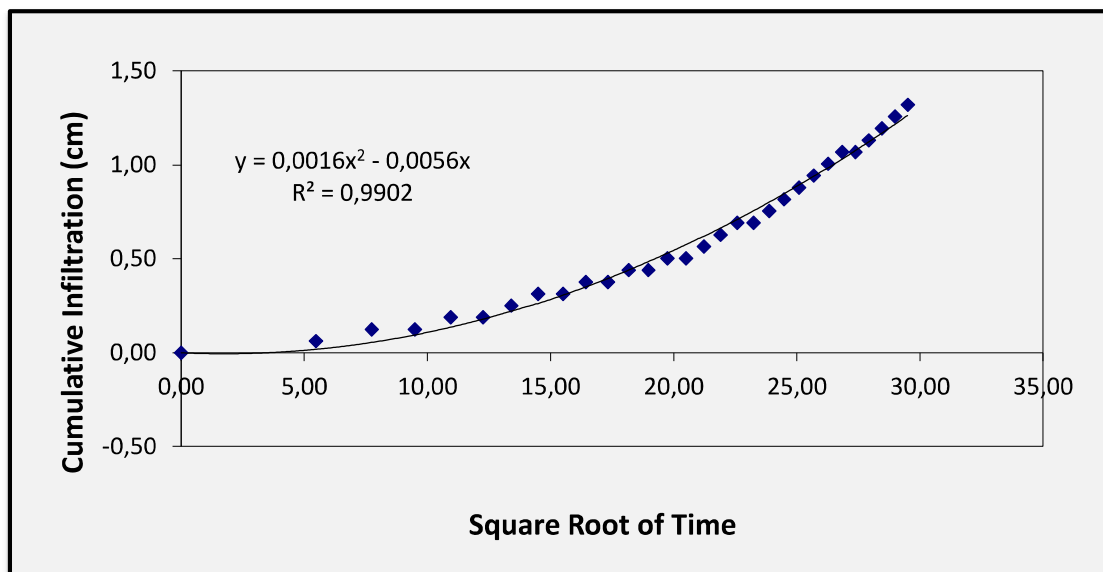


Figura 49. Gráfica de conductividad hidráulica no saturada con infiltrómetro de minidisco. Repetición 4 bosque mixto.

Tabla 28. Datos de campo (en verde), datos empleados para la gráfica (en blanco) y dato final de Knosat para repetición 4.

| Time (s) | sqrt (t) | Volume (mL) | Infilt (cm) |
|----------|----------|-------------|-------------|
| 0 | 0,00 | 77 | 0,00 |
| 30 | 5,48 | 76 | 0,06 |
| 60 | 7,75 | 75 | 0,13 |
| 90 | 9,49 | 75 | 0,13 |
| 120 | 10,95 | 74 | 0,19 |
| 150 | 12,25 | 74 | 0,19 |
| 180 | 13,42 | 73 | 0,25 |
| 210 | 14,49 | 72 | 0,31 |
| 240 | 15,49 | 72 | 0,31 |
| 270 | 16,43 | 71 | 0,38 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| | | | |
|----------|-------|------------------------|------|
| 300 | 17,32 | 71 | 0,38 |
| 330 | 18,17 | 70 | 0,44 |
| 360 | 18,97 | 70 | 0,44 |
| 390 | 19,75 | 69 | 0,50 |
| 420 | 20,49 | 69 | 0,50 |
| 450 | 21,21 | 68 | 0,57 |
| 480 | 21,91 | 67 | 0,63 |
| 510 | 22,58 | 66 | 0,69 |
| 540 | 23,24 | 66 | 0,69 |
| 570 | 23,87 | 65 | 0,75 |
| 600 | 24,49 | 64 | 0,82 |
| 630 | 25,10 | 63 | 0,88 |
| 660 | 25,69 | 62 | 0,94 |
| 690 | 26,27 | 61 | 1,01 |
| 720 | 26,83 | 60 | 1,07 |
| 750 | 27,39 | 60 | 1,07 |
| 780 | 27,93 | 59 | 1,13 |
| 810 | 28,46 | 58 | 1,19 |
| 840 | 28,98 | 57 | 1,26 |
| 870 | 29,50 | 56 | 1,32 |
| K | | 0,00046567 cm/s | |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

- Repetición 5

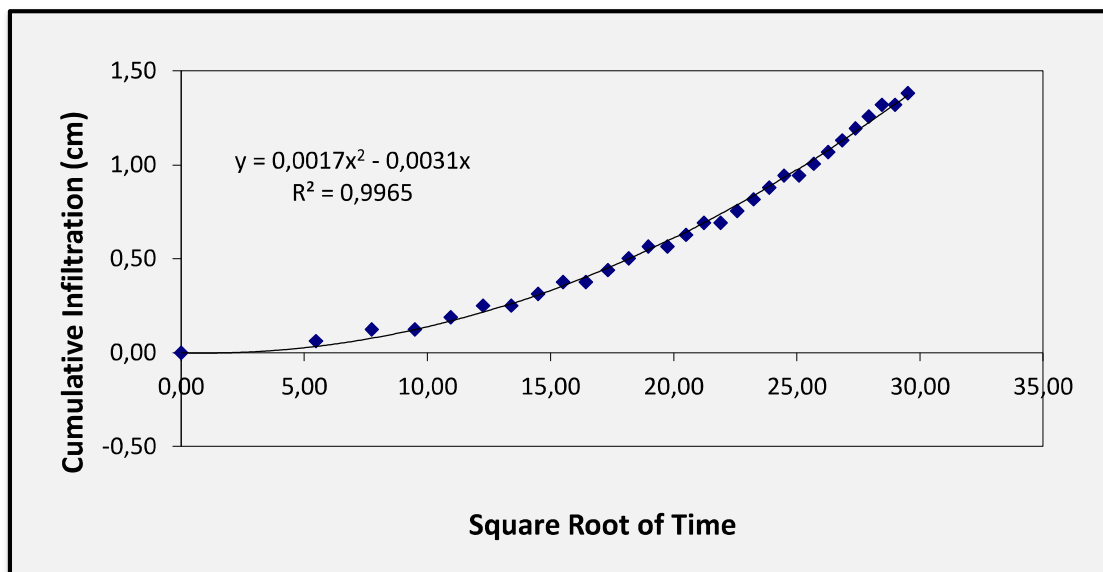


Figura 50. Gráfica de conductividad hidráulica no saturada con infiltrómetro de minidisco. Repetición 5 bosque mixto.

Tabla 29. Datos de campo (en verde), datos empleados para la gráfica (en blanco) y dato final de Knosat para repetición 5.

| Time (s) | sqrt (t) | Volume (mL) | Infilt (cm) |
|----------|----------|-------------|-------------|
| 0 | 0,00 | 65 | 0,00 |
| 30 | 5,48 | 64 | 0,06 |
| 60 | 7,75 | 63 | 0,13 |
| 90 | 9,49 | 63 | 0,13 |
| 120 | 10,95 | 62 | 0,19 |
| 150 | 12,25 | 61 | 0,25 |
| 180 | 13,42 | 61 | 0,25 |
| 210 | 14,49 | 60 | 0,31 |
| 240 | 15,49 | 59 | 0,38 |
| 270 | 16,43 | 59 | 0,38 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| | | | |
|----------|-------|------------------------|------|
| 300 | 17,32 | 58 | 0,44 |
| 330 | 18,17 | 57 | 0,50 |
| 360 | 18,97 | 56 | 0,57 |
| 390 | 19,75 | 56 | 0,57 |
| 420 | 20,49 | 55 | 0,63 |
| 450 | 21,21 | 54 | 0,69 |
| 480 | 21,91 | 54 | 0,69 |
| 510 | 22,58 | 53 | 0,75 |
| 540 | 23,24 | 52 | 0,82 |
| 570 | 23,87 | 51 | 0,88 |
| 600 | 24,49 | 50 | 0,94 |
| 630 | 25,10 | 50 | 0,94 |
| 660 | 25,69 | 49 | 1,01 |
| 690 | 26,27 | 48 | 1,07 |
| 720 | 26,83 | 47 | 1,13 |
| 750 | 27,39 | 46 | 1,19 |
| 780 | 27,93 | 45 | 1,26 |
| 810 | 28,46 | 44 | 1,32 |
| 840 | 28,98 | 44 | 1,32 |
| 870 | 29,50 | 43 | 1,38 |
| K | | 0,00052292 cm/s | |

- Repetición 6

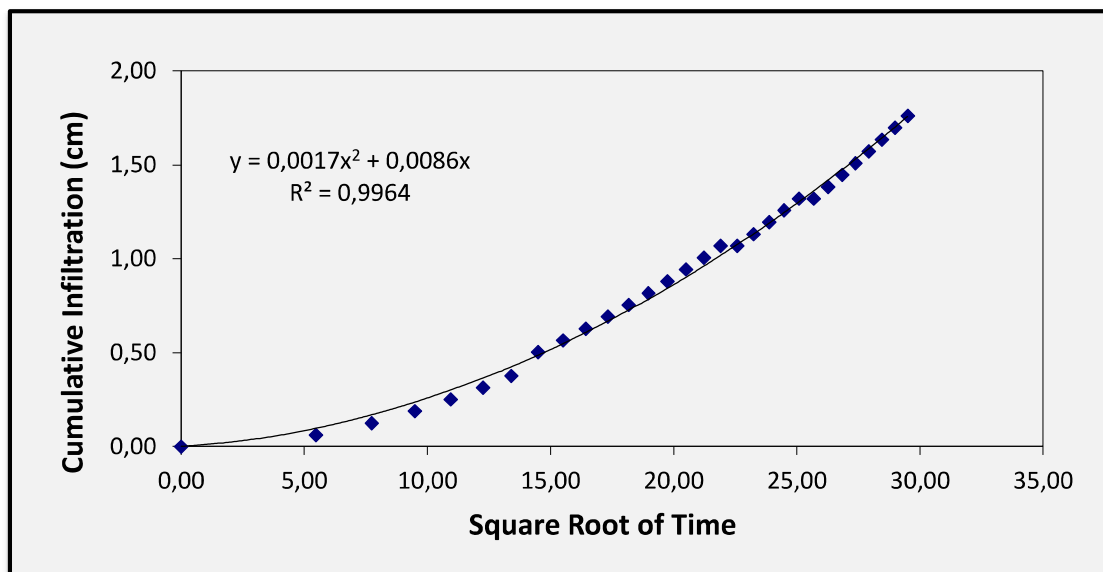


Figura 51. Gráfica de conductividad hidráulica no saturada con infiltrómetro de minidisco. Repetición 6 bosque mixto.

Tabla 30. Datos de campo (en verde), datos empleados para la gráfica (en blanco) y dato final de Knosat para repetición 6.

| Time (s) | sqrt (t) | Volume (mL) | Infilt (cm) |
|----------|----------|-------------|-------------|
| 0 | 0,00 | 73 | 0,00 |
| 30 | 5,48 | 72 | 0,06 |
| 60 | 7,75 | 71 | 0,13 |
| 90 | 9,49 | 70 | 0,19 |
| 120 | 10,95 | 69 | 0,25 |
| 150 | 12,25 | 68 | 0,31 |
| 180 | 13,42 | 67 | 0,38 |
| 210 | 14,49 | 65 | 0,50 |
| 240 | 15,49 | 64 | 0,57 |
| 270 | 16,43 | 63 | 0,63 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| | | | |
|----------|-------|------------------------|------|
| 300 | 17,32 | 62 | 0,69 |
| 330 | 18,17 | 61 | 0,75 |
| 360 | 18,97 | 60 | 0,82 |
| 390 | 19,75 | 59 | 0,88 |
| 420 | 20,49 | 58 | 0,94 |
| 450 | 21,21 | 57 | 1,01 |
| 480 | 21,91 | 56 | 1,07 |
| 510 | 22,58 | 56 | 1,07 |
| 540 | 23,24 | 55 | 1,13 |
| 570 | 23,87 | 54 | 1,19 |
| 600 | 24,49 | 53 | 1,26 |
| 630 | 25,10 | 52 | 1,32 |
| 660 | 25,69 | 52 | 1,32 |
| 690 | 26,27 | 51 | 1,38 |
| 720 | 26,83 | 50 | 1,45 |
| 750 | 27,39 | 49 | 1,51 |
| 780 | 27,93 | 48 | 1,57 |
| 810 | 28,46 | 47 | 1,63 |
| 840 | 28,98 | 46 | 1,70 |
| 870 | 29,50 | 45 | 1,76 |
| K | | 0,00049043 cm/s | |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

- Repetición 7

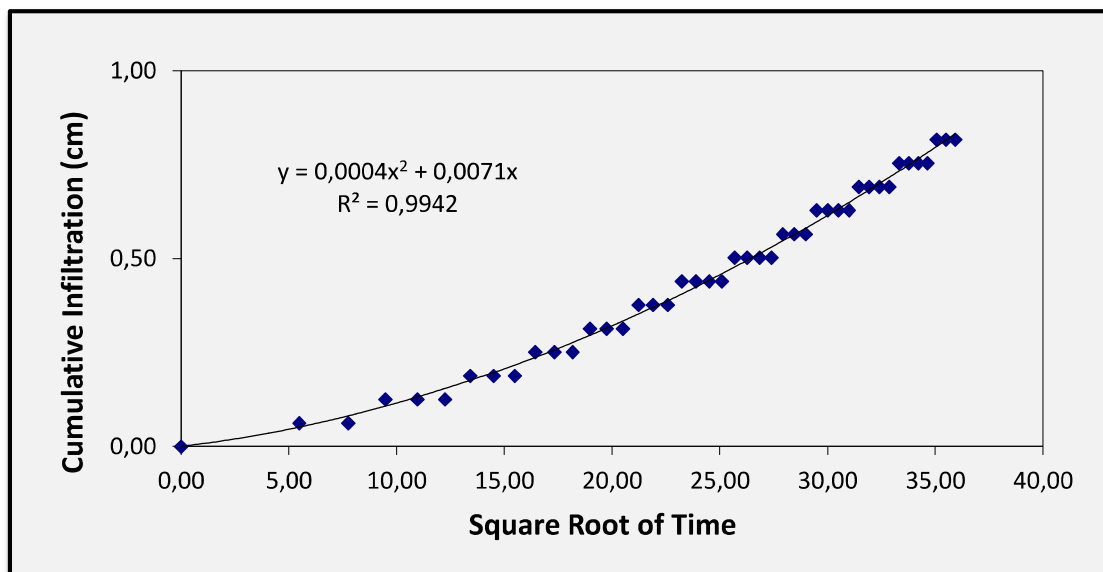


Figura 52. Gráfica de conductividad hidráulica no saturada con infiltrómetro de minidisco. Repetición 7 bosque mixto.

Tabla 31. Datos de campo (en verde), datos empleados para la gráfica (en blanco) y dato final de Knosat para repetición 7.

| Time (s) | sqrt (t) | Volume (mL) | Infilt (cm) |
|----------|----------|-------------|-------------|
| 0 | 0,00 | 85 | 0,00 |
| 30 | 5,48 | 84 | 0,06 |
| 60 | 7,75 | 84 | 0,06 |
| 90 | 9,49 | 83 | 0,13 |
| 120 | 10,95 | 83 | 0,13 |
| 150 | 12,25 | 83 | 0,13 |
| 180 | 13,42 | 82 | 0,19 |
| 210 | 14,49 | 82 | 0,19 |
| 240 | 15,49 | 82 | 0,19 |
| 270 | 16,43 | 81 | 0,25 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| | | | |
|------|-------|----|------|
| 300 | 17,32 | 81 | 0,25 |
| 330 | 18,17 | 81 | 0,25 |
| 360 | 18,97 | 80 | 0,31 |
| 390 | 19,75 | 80 | 0,31 |
| 420 | 20,49 | 80 | 0,31 |
| 450 | 21,21 | 79 | 0,38 |
| 480 | 21,91 | 79 | 0,38 |
| 510 | 22,58 | 79 | 0,38 |
| 540 | 23,24 | 78 | 0,44 |
| 570 | 23,87 | 78 | 0,44 |
| 600 | 24,49 | 78 | 0,44 |
| 630 | 25,10 | 78 | 0,44 |
| 660 | 25,69 | 77 | 0,50 |
| 690 | 26,27 | 77 | 0,50 |
| 720 | 26,83 | 77 | 0,50 |
| 750 | 27,39 | 77 | 0,50 |
| 780 | 27,93 | 76 | 0,57 |
| 810 | 28,46 | 76 | 0,57 |
| 840 | 28,98 | 76 | 0,57 |
| 870 | 29,50 | 75 | 0,63 |
| 900 | 30,00 | 75 | 0,63 |
| 930 | 30,50 | 75 | 0,63 |
| 960 | 30,98 | 75 | 0,63 |
| 990 | 31,46 | 74 | 0,69 |
| 1020 | 31,94 | 74 | 0,69 |
| 1050 | 32,40 | 74 | 0,69 |
| 1080 | 32,86 | 74 | 0,69 |
| 1110 | 33,32 | 73 | 0,75 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| | | | |
|----------|-------|------------------------|------|
| 1140 | 33,76 | 73 | 0,75 |
| 1170 | 34,21 | 73 | 0,75 |
| 1200 | 34,64 | 73 | 0,75 |
| 1230 | 35,07 | 72 | 0,82 |
| 1260 | 35,50 | 72 | 0,82 |
| 1290 | 35,92 | 72 | 0,82 |
| K | | 0,00013901 cm/s | |

- Repetición 8

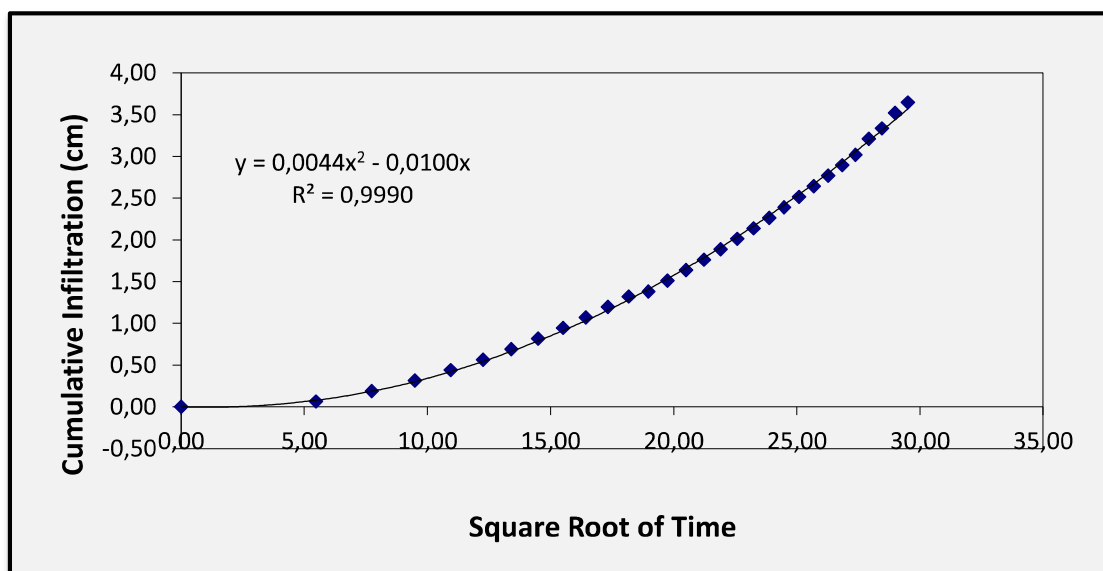


Figura 53. Gráfica de conductividad hidráulica no saturada con infiltrómetro de minidisco. Repetición 8 bosque mixto.

Tabla 32. Datos de campo (en verde), datos empleados para la gráfica (en blanco) y dato final de Knosat para repetición 8.

| Time (s) | sqrt (t) | Volume (mL) | Infilt (cm) |
|----------|----------|-------------|-------------|
| 0 | 0,00 | 71 | 0,00 |
| 30 | 5,48 | 70 | 0,06 |
| 60 | 7,75 | 68 | 0,19 |
| 90 | 9,49 | 66 | 0,31 |
| 120 | 10,95 | 64 | 0,44 |
| 150 | 12,25 | 62 | 0,57 |
| 180 | 13,42 | 60 | 0,69 |
| 210 | 14,49 | 58 | 0,82 |
| 240 | 15,49 | 56 | 0,94 |
| 270 | 16,43 | 54 | 1,07 |
| 300 | 17,32 | 52 | 1,19 |
| 330 | 18,17 | 50 | 1,32 |
| 360 | 18,97 | 49 | 1,38 |
| 390 | 19,75 | 47 | 1,51 |
| 420 | 20,49 | 45 | 1,63 |
| 450 | 21,21 | 43 | 1,76 |
| 480 | 21,91 | 41 | 1,89 |
| 510 | 22,58 | 39 | 2,01 |
| 540 | 23,24 | 37 | 2,14 |
| 570 | 23,87 | 35 | 2,26 |
| 600 | 24,49 | 33 | 2,39 |
| 630 | 25,10 | 31 | 2,52 |
| 660 | 25,69 | 29 | 2,64 |
| 690 | 26,27 | 27 | 2,77 |
| 720 | 26,83 | 25 | 2,89 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| | | | |
|----------|-------|------------------------|------|
| 750 | 27,39 | 23 | 3,02 |
| 780 | 27,93 | 20 | 3,21 |
| 810 | 28,46 | 18 | 3,33 |
| 840 | 28,98 | 15 | 3,52 |
| 870 | 29,50 | 13 | 3,65 |
| K | | 0,00138209 cm/s | |

- Repetición 9

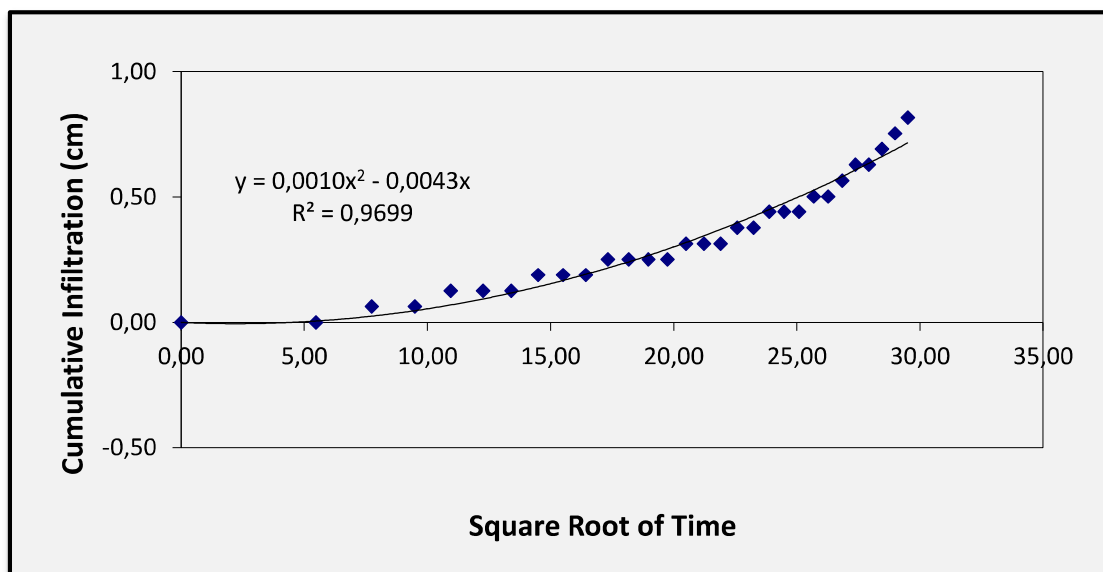


Figura 54. Gráfica de conductividad hidráulica no saturada con infiltrómetro de minidisco. Repetición 9 bosque mixto.

Tabla 33. Datos de campo (en verde), datos empleados para la gráfica (en blanco) y dato final de Knosat para repetición 9.

| Time (s) | sqrt (t) | Volume (mL) | Infilt (cm) |
|----------|----------|-------------|-------------|
| 0 | 0,00 | 84 | 0,00 |
| 30 | 5,48 | 84 | 0,00 |
| 60 | 7,75 | 83 | 0,06 |
| 90 | 9,49 | 83 | 0,06 |
| 120 | 10,95 | 82 | 0,13 |
| 150 | 12,25 | 82 | 0,13 |
| 180 | 13,42 | 82 | 0,13 |
| 210 | 14,49 | 81 | 0,19 |
| 240 | 15,49 | 81 | 0,19 |
| 270 | 16,43 | 81 | 0,19 |
| 300 | 17,32 | 80 | 0,25 |
| 330 | 18,17 | 80 | 0,25 |
| 360 | 18,97 | 80 | 0,25 |
| 390 | 19,75 | 80 | 0,25 |
| 420 | 20,49 | 79 | 0,31 |
| 450 | 21,21 | 79 | 0,31 |
| 480 | 21,91 | 79 | 0,31 |
| 510 | 22,58 | 78 | 0,38 |
| 540 | 23,24 | 78 | 0,38 |
| 570 | 23,87 | 77 | 0,44 |
| 600 | 24,49 | 77 | 0,44 |
| 630 | 25,10 | 77 | 0,44 |
| 660 | 25,69 | 76 | 0,50 |
| 690 | 26,27 | 76 | 0,50 |
| 720 | 26,83 | 75 | 0,57 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| | | | |
|----------|-------|------------------------|------|
| 750 | 27,39 | 74 | 0,63 |
| 780 | 27,93 | 74 | 0,63 |
| 810 | 28,46 | 73 | 0,69 |
| 840 | 28,98 | 72 | 0,75 |
| 870 | 29,50 | 71 | 0,82 |
| K | | 0,00030082 cm/s | |

- Repetición 10

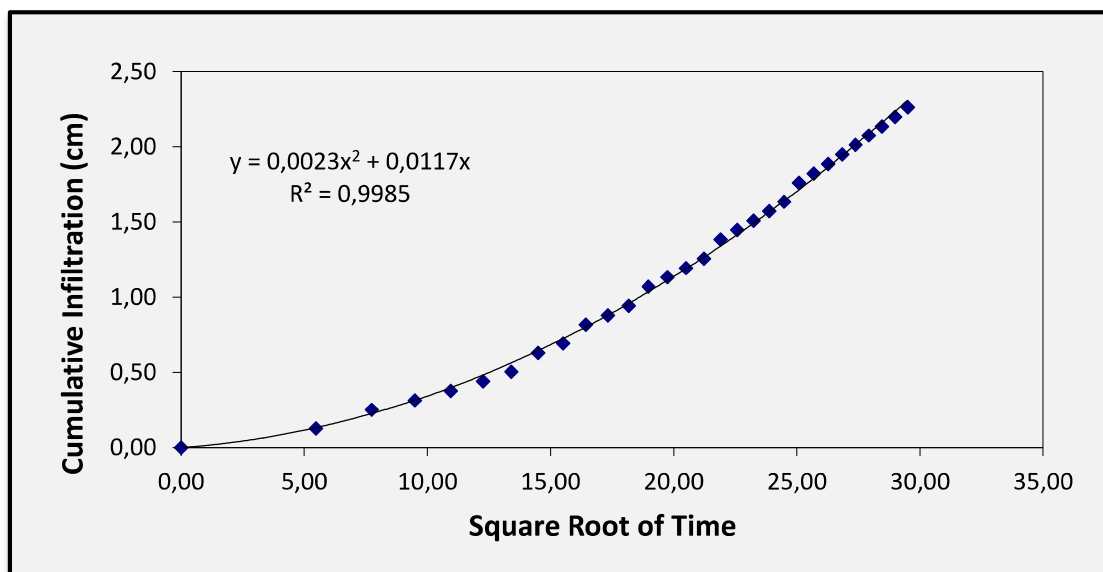


Figura 55. Gráfica de conductividad hidráulica no saturada con infiltrómetro de minidisco. Repetición 10 bosque mixto.

Tabla 34. Datos de campo (en verde), datos empleados para la gráfica (en blanco) y dato final de Knosat para repetición 10.

| Time (s) | sqrt (t) | Volume (mL) | Infilt (cm) |
|----------|----------|-------------|-------------|
| 0 | 0,00 | 80 | 0,00 |
| 30 | 5,48 | 78 | 0,13 |
| 60 | 7,75 | 76 | 0,25 |
| 90 | 9,49 | 75 | 0,31 |
| 120 | 10,95 | 74 | 0,38 |
| 150 | 12,25 | 73 | 0,44 |
| 180 | 13,42 | 72 | 0,50 |
| 210 | 14,49 | 70 | 0,63 |
| 240 | 15,49 | 69 | 0,69 |
| 270 | 16,43 | 67 | 0,82 |
| 300 | 17,32 | 66 | 0,88 |
| 330 | 18,17 | 65 | 0,94 |
| 360 | 18,97 | 63 | 1,07 |
| 390 | 19,75 | 62 | 1,13 |
| 420 | 20,49 | 61 | 1,19 |
| 450 | 21,21 | 60 | 1,26 |
| 480 | 21,91 | 58 | 1,38 |
| 510 | 22,58 | 57 | 1,45 |
| 540 | 23,24 | 56 | 1,51 |
| 570 | 23,87 | 55 | 1,57 |
| 600 | 24,49 | 54 | 1,63 |
| 630 | 25,10 | 52 | 1,76 |
| 660 | 25,69 | 51 | 1,82 |
| 690 | 26,27 | 50 | 1,89 |
| 720 | 26,83 | 49 | 1,95 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| | | | |
|----------|-------|------------------------|------|
| 750 | 27,39 | 48 | 2,01 |
| 780 | 27,93 | 47 | 2,07 |
| 810 | 28,46 | 46 | 2,14 |
| 840 | 28,98 | 45 | 2,20 |
| 870 | 29,50 | 44 | 2,26 |
| K | | 0,00064088 cm/s | |

- Repetición 11 (Descartada de la estadística).

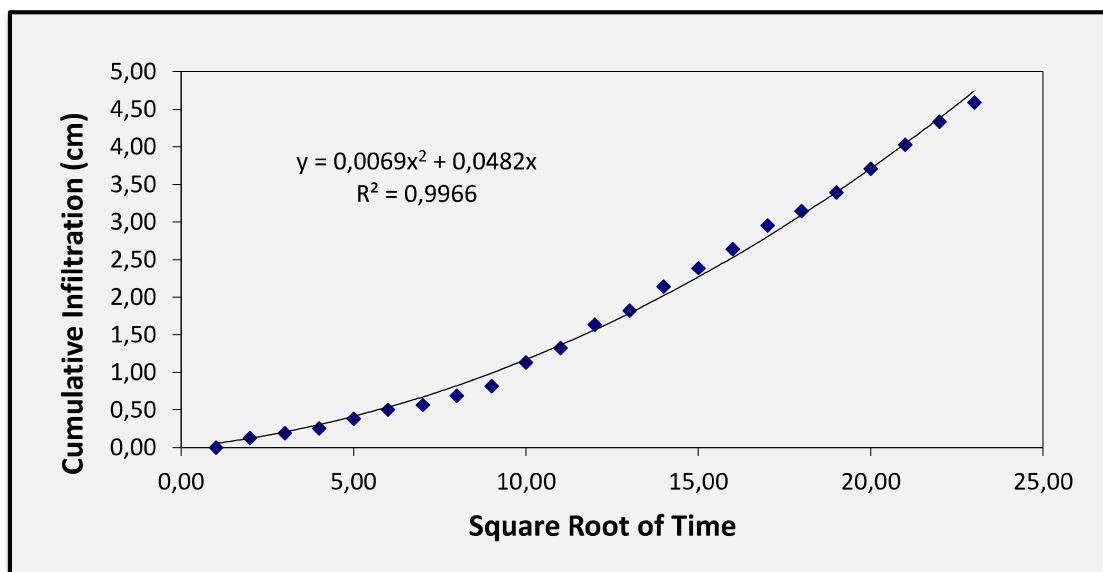


Figura 56. Gráfica de conductividad hidráulica no saturada con infiltrómetro de minidisco. Repetición 11 bosque mixto.

Tabla 35. Datos de campo (en verde), datos empleados para la gráfica (en blanco) y dato final de Knosat para repetición 11.

| Time (s) | sqrt (t) | Volume (mL) | Infilt (cm) |
|----------|----------|------------------------|-------------|
| 0 | 0,00 | 73 | 0,00 |
| 30 | 5,48 | 71 | 0,13 |
| 60 | 7,75 | 70 | 0,19 |
| 90 | 9,49 | 69 | 0,25 |
| 120 | 10,95 | 67 | 0,38 |
| 150 | 12,25 | 65 | 0,50 |
| 180 | 13,42 | 64 | 0,57 |
| 210 | 14,49 | 62 | 0,69 |
| 240 | 15,49 | 60 | 0,82 |
| 270 | 16,43 | 55 | 1,13 |
| 300 | 17,32 | 52 | 1,32 |
| 330 | 18,17 | 47 | 1,63 |
| 360 | 18,97 | 44 | 1,82 |
| 390 | 19,75 | 39 | 2,14 |
| 420 | 20,49 | 35 | 2,39 |
| 450 | 21,21 | 31 | 2,64 |
| 480 | 21,91 | 26 | 2,96 |
| 510 | 22,58 | 23 | 3,14 |
| 540 | 23,24 | 19 | 3,40 |
| 570 | 23,87 | 14 | 3,71 |
| 600 | 24,49 | 9 | 4,02 |
| 630 | 25,10 | 4 | 4,34 |
| 660 | 25,69 | 0 | 4,59 |
| K | | 0,00323549 cm/s | |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

- Repetición 12

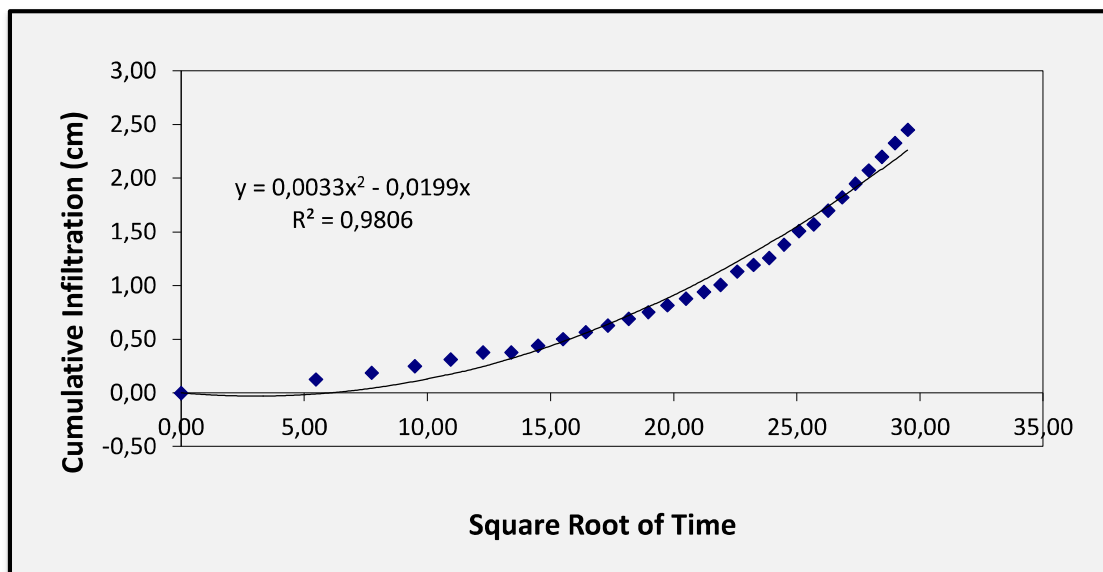


Figura 57. Gráfica de conductividad hidráulica no saturada con infiltrómetro de minidisco. Repetición 12 bosque mixto.

Tabla 36. Datos de campo (en verde), datos empleados para la gráfica (en blanco) y dato final de Knosat para repetición 12.

| Time (s) | sqrt (t) | Volume (mL) | Infilt (cm) |
|----------|----------|-------------|-------------|
| 0 | 0,00 | 82 | 0,00 |
| 30 | 5,48 | 80 | 0,13 |
| 60 | 7,75 | 79 | 0,19 |
| 90 | 9,49 | 78 | 0,25 |
| 120 | 10,95 | 77 | 0,31 |
| 150 | 12,25 | 76 | 0,38 |
| 180 | 13,42 | 76 | 0,38 |
| 210 | 14,49 | 75 | 0,44 |
| 240 | 15,49 | 74 | 0,50 |
| 270 | 16,43 | 73 | 0,57 |
| 300 | 17,32 | 72 | 0,63 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| | | | |
|----------|------------------------|----|------|
| 330 | 18,17 | 71 | 0,69 |
| 360 | 18,97 | 70 | 0,75 |
| 390 | 19,75 | 69 | 0,82 |
| 420 | 20,49 | 68 | 0,88 |
| 450 | 21,21 | 67 | 0,94 |
| 480 | 21,91 | 66 | 1,01 |
| 510 | 22,58 | 64 | 1,13 |
| 540 | 23,24 | 63 | 1,19 |
| 570 | 23,87 | 62 | 1,26 |
| 600 | 24,49 | 60 | 1,38 |
| 630 | 25,10 | 58 | 1,51 |
| 660 | 25,69 | 57 | 1,57 |
| 690 | 26,27 | 55 | 1,70 |
| 720 | 26,83 | 53 | 1,82 |
| 750 | 27,39 | 51 | 1,95 |
| 780 | 27,93 | 49 | 2,07 |
| 810 | 28,46 | 47 | 2,20 |
| 840 | 28,98 | 45 | 2,33 |
| 870 | 29,50 | 43 | 2,45 |
| K | 0,00092951 cm/s | | |

1.2. Infiltrómetro de minidisco en Bosque de Ribera de Gameljne (GPo)

1.2.1. Datos de humedad en suelo

Tabla 37. Datos de humedad tomados en la zona de Bosque Mixto para las repeticiones con infiltrómetro de minidisco.

| Punto muestreado | Profundidad (cm) | Temperatura del suelo (°C) | K calc | Humedad (%) |
|------------------|------------------|----------------------------|--------|--------------|
| 1 | 10 | 14,7 | 13,83 | 25,71 |
| | 10 | | 13,89 | 25,8 |
| 2 | 10 | 15,1 | 24,95 | 40 |
| | 10 | | 25,07 | 40,12 |
| 3 | 10 | 14,9 | 15,96 | 29,04 |
| | 10 | | 17,06 | 30,64 |
| 4 | 10 | 14,7 | 24,67 | 39,72 |
| | 10 | | 24,42 | 39,47 |
| 5 | 10 | 15 | 14,4 | 26,63 |
| | 10 | | 13,22 | 24,69 |

1.2.2. Datos de conductividad hidráulica no saturada

- Repetición 1

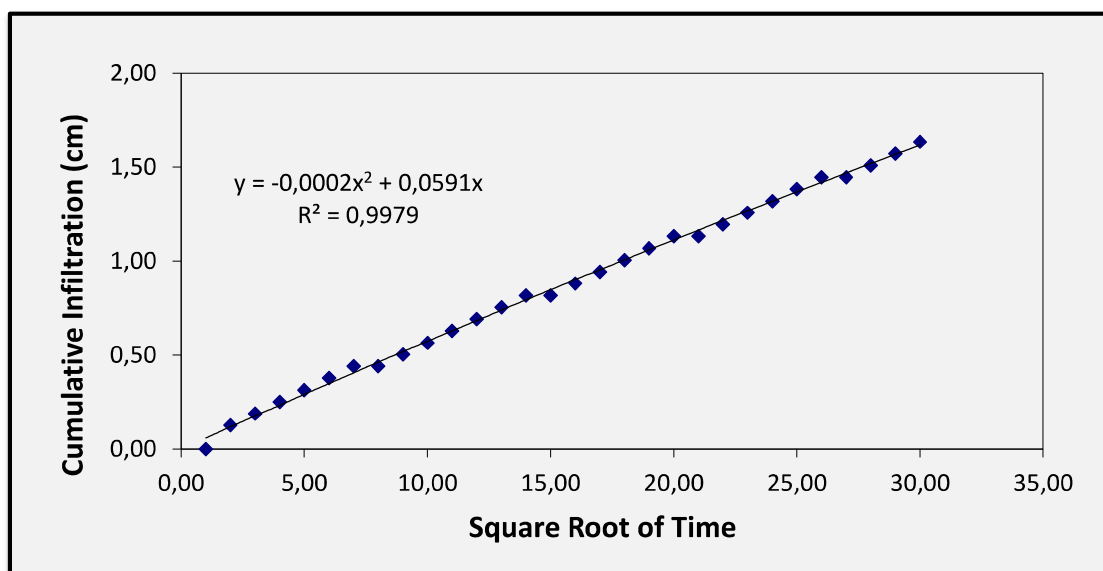


Figura 58. Gráfica de conductividad hidráulica no saturada con infiltrómetro de minidisco. Repetición 1 bosque de ribera.

Tabla 38. Datos de campo (en verde), datos empleados para la gráfica (en blanco) y dato final de Knosat para repetición 1 en la zona de bosque de ribera.

| Time (s) | sqrt (t) | Volume (mL) | Infilt (cm) |
|----------|----------|-------------|-------------|
| 0 | 0,00 | 79 | 0,00 |
| 30 | 5,48 | 77 | 0,13 |
| 60 | 7,75 | 76 | 0,19 |
| 90 | 9,49 | 75 | 0,25 |
| 120 | 10,95 | 74 | 0,31 |
| 150 | 12,25 | 73 | 0,38 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| | | | |
|----------|------------------------|----|------|
| 180 | 13,42 | 72 | 0,44 |
| 210 | 14,49 | 72 | 0,44 |
| 240 | 15,49 | 71 | 0,50 |
| 270 | 16,43 | 70 | 0,57 |
| 300 | 17,32 | 69 | 0,63 |
| 330 | 18,17 | 68 | 0,69 |
| 360 | 18,97 | 67 | 0,75 |
| 390 | 19,75 | 66 | 0,82 |
| 420 | 20,49 | 66 | 0,82 |
| 450 | 21,21 | 65 | 0,88 |
| 480 | 21,91 | 64 | 0,94 |
| 510 | 22,58 | 63 | 1,01 |
| 540 | 23,24 | 62 | 1,07 |
| 570 | 23,87 | 61 | 1,13 |
| 600 | 24,49 | 61 | 1,13 |
| 630 | 25,10 | 60 | 1,19 |
| 660 | 25,69 | 59 | 1,26 |
| 690 | 26,27 | 58 | 1,32 |
| 720 | 26,83 | 57 | 1,38 |
| 750 | 27,39 | 56 | 1,45 |
| 780 | 27,93 | 56 | 1,45 |
| 810 | 28,46 | 55 | 1,51 |
| 840 | 28,98 | 54 | 1,57 |
| 870 | 29,50 | 53 | 1,63 |
| K | 0,00024364 cm/s | | |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

- Repetición 2

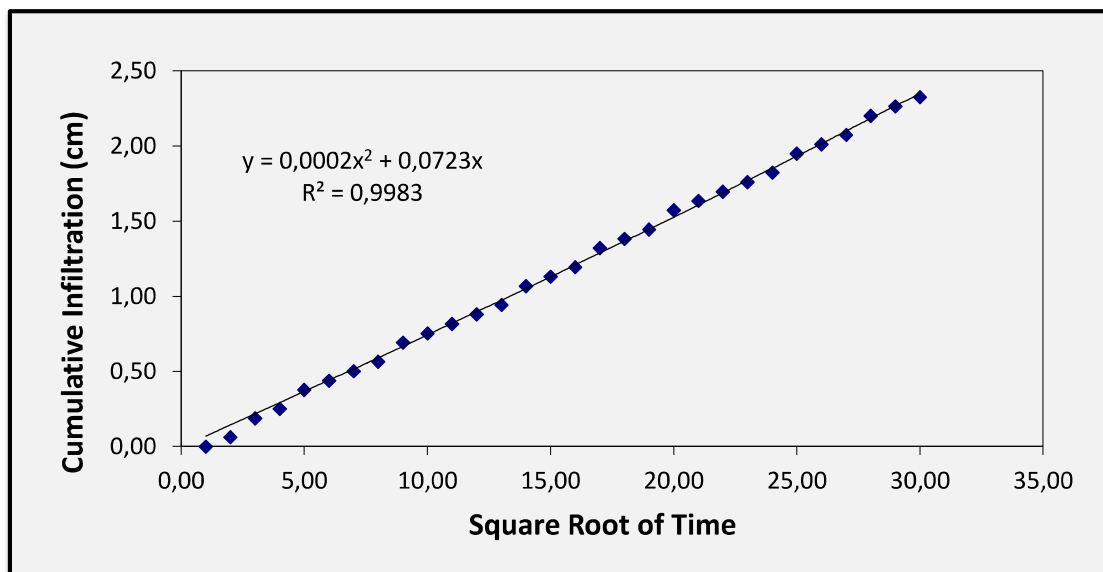


Figura 59. Gráfica de conductividad hidráulica no saturada con infiltrómetro de minidisco. Repetición 2 bosque de ribera.

Tabla 39. Datos de campo (en verde), datos empleados para la gráfica (en blanco) y dato final de Knosat en la zona de bosque de ribera para repetición 2.

| Time (s) | sqrt (t) | Volume (mL) | Infilt (cm) |
|----------|----------|-------------|-------------|
| 0 | 0,00 | 84 | 0,00 |
| 30 | 5,48 | 83 | 0,06 |
| 60 | 7,75 | 81 | 0,19 |
| 90 | 9,49 | 80 | 0,25 |
| 120 | 10,95 | 78 | 0,38 |
| 150 | 12,25 | 77 | 0,44 |
| 180 | 13,42 | 76 | 0,50 |
| 210 | 14,49 | 75 | 0,57 |
| 240 | 15,49 | 73 | 0,69 |
| 270 | 16,43 | 72 | 0,75 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| | | | |
|----------|-------|------------------------|------|
| 300 | 17,32 | 71 | 0,82 |
| 330 | 18,17 | 70 | 0,88 |
| 360 | 18,97 | 69 | 0,94 |
| 390 | 19,75 | 67 | 1,07 |
| 420 | 20,49 | 66 | 1,13 |
| 450 | 21,21 | 65 | 1,19 |
| 480 | 21,91 | 63 | 1,32 |
| 510 | 22,58 | 62 | 1,38 |
| 540 | 23,24 | 61 | 1,45 |
| 570 | 23,87 | 59 | 1,57 |
| 600 | 24,49 | 58 | 1,63 |
| 630 | 25,10 | 57 | 1,70 |
| 660 | 25,69 | 56 | 1,76 |
| 690 | 26,27 | 55 | 1,82 |
| 720 | 26,83 | 53 | 1,95 |
| 750 | 27,39 | 52 | 2,01 |
| 780 | 27,93 | 51 | 2,07 |
| 810 | 28,46 | 49 | 2,20 |
| 840 | 28,98 | 48 | 2,26 |
| 870 | 29,50 | 47 | 2,33 |
| K | | 0,00042347 cm/s | |

- Repetición 3

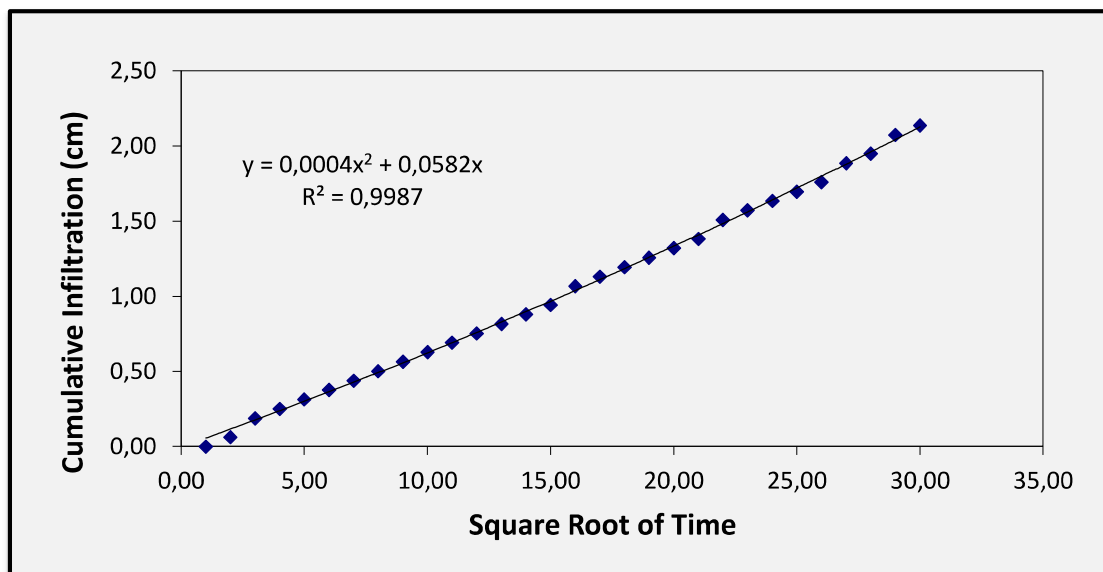


Figura 60. Gráfica de conductividad hidráulica no saturada con infiltrómetro de minidisco. Repetición 3 bosque de ribera.

Tabla 40. Datos de campo (en verde), datos empleados para la gráfica (en blanco) y dato final de Knosat en la zona de bosque de ribera para repetición 3.

| Time (s) | sqrt (t) | Volume (mL) | Infilt (cm) |
|----------|----------|-------------|-------------|
| 0 | 0,00 | 82 | 0,00 |
| 30 | 5,48 | 81 | 0,06 |
| 60 | 7,75 | 79 | 0,19 |
| 90 | 9,49 | 78 | 0,25 |
| 120 | 10,95 | 77 | 0,31 |
| 150 | 12,25 | 76 | 0,38 |
| 180 | 13,42 | 75 | 0,44 |
| 210 | 14,49 | 74 | 0,50 |
| 240 | 15,49 | 73 | 0,57 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| | | | |
|----------|-------|------------------------|------|
| 270 | 16,43 | 72 | 0,63 |
| 300 | 17,32 | 71 | 0,69 |
| 330 | 18,17 | 70 | 0,75 |
| 360 | 18,97 | 69 | 0,82 |
| 390 | 19,75 | 68 | 0,88 |
| 420 | 20,49 | 67 | 0,94 |
| 450 | 21,21 | 65 | 1,07 |
| 480 | 21,91 | 64 | 1,13 |
| 510 | 22,58 | 63 | 1,19 |
| 540 | 23,24 | 62 | 1,26 |
| 570 | 23,87 | 61 | 1,32 |
| 600 | 24,49 | 60 | 1,38 |
| 630 | 25,10 | 58 | 1,51 |
| 660 | 25,69 | 57 | 1,57 |
| 690 | 26,27 | 56 | 1,63 |
| 720 | 26,83 | 55 | 1,70 |
| 750 | 27,39 | 54 | 1,76 |
| 780 | 27,93 | 52 | 1,89 |
| 810 | 28,46 | 51 | 1,95 |
| 840 | 28,98 | 49 | 2,07 |
| 870 | 29,50 | 48 | 2,14 |
| K | | 0,00040355 cm/s | |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

- Repetición 4

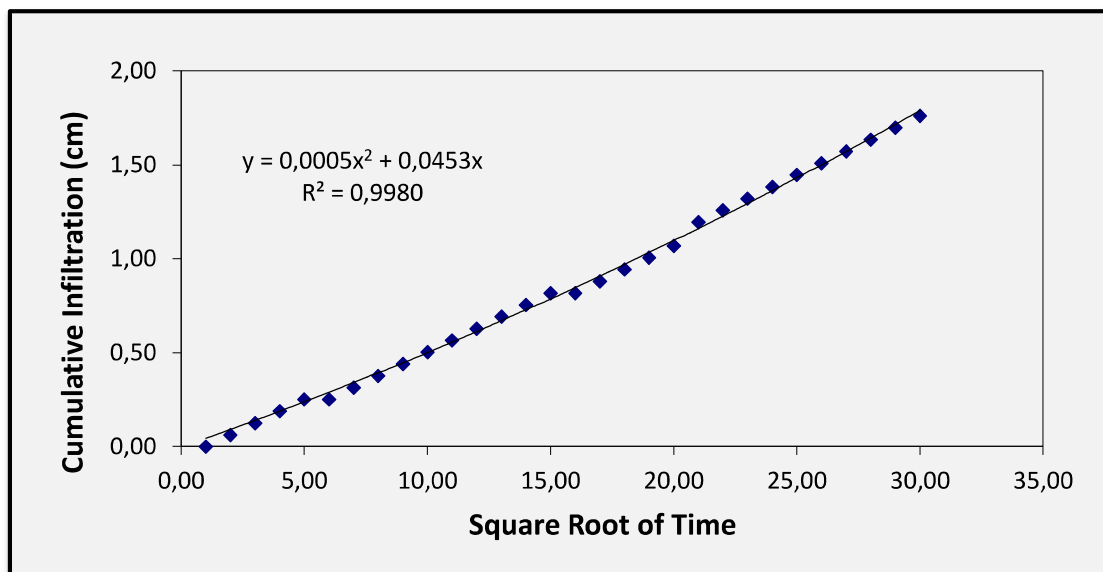


Figura 61. Gráfica de conductividad hidráulica no saturada con infiltrómetro de minidisco. Repetición 4 bosque de ribera.

Tabla 41. Datos de campo (en verde), datos empleados para la gráfica (en blanco) y dato final de Knosat en la zona de bosque de ribera para repetición 4.

| Time (s) | sqrt (t) | Volume (mL) | Infilt (cm) |
|----------|----------|-------------|-------------|
| 0 | 0,00 | 76 | 0,00 |
| 30 | 5,48 | 75 | 0,06 |
| 60 | 7,75 | 74 | 0,13 |
| 90 | 9,49 | 73 | 0,19 |
| 120 | 10,95 | 72 | 0,25 |
| 150 | 12,25 | 72 | 0,25 |
| 180 | 13,42 | 71 | 0,31 |
| 210 | 14,49 | 70 | 0,38 |
| 240 | 15,49 | 69 | 0,44 |
| 270 | 16,43 | 68 | 0,50 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| | | | |
|----------|-------|------------------------|------|
| 300 | 17,32 | 67 | 0,57 |
| 330 | 18,17 | 66 | 0,63 |
| 360 | 18,97 | 65 | 0,69 |
| 390 | 19,75 | 64 | 0,75 |
| 420 | 20,49 | 63 | 0,82 |
| 450 | 21,21 | 63 | 0,82 |
| 480 | 21,91 | 62 | 0,88 |
| 510 | 22,58 | 61 | 0,94 |
| 540 | 23,24 | 60 | 1,01 |
| 570 | 23,87 | 59 | 1,07 |
| 600 | 24,49 | 57 | 1,19 |
| 630 | 25,10 | 56 | 1,26 |
| 660 | 25,69 | 55 | 1,32 |
| 690 | 26,27 | 54 | 1,38 |
| 720 | 26,83 | 53 | 1,45 |
| 750 | 27,39 | 52 | 1,51 |
| 780 | 27,93 | 51 | 1,57 |
| 810 | 28,46 | 50 | 1,63 |
| 840 | 28,98 | 49 | 1,70 |
| 870 | 29,50 | 48 | 1,76 |
| K | | 0,00035925 cm/s | |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

- Repetición 5

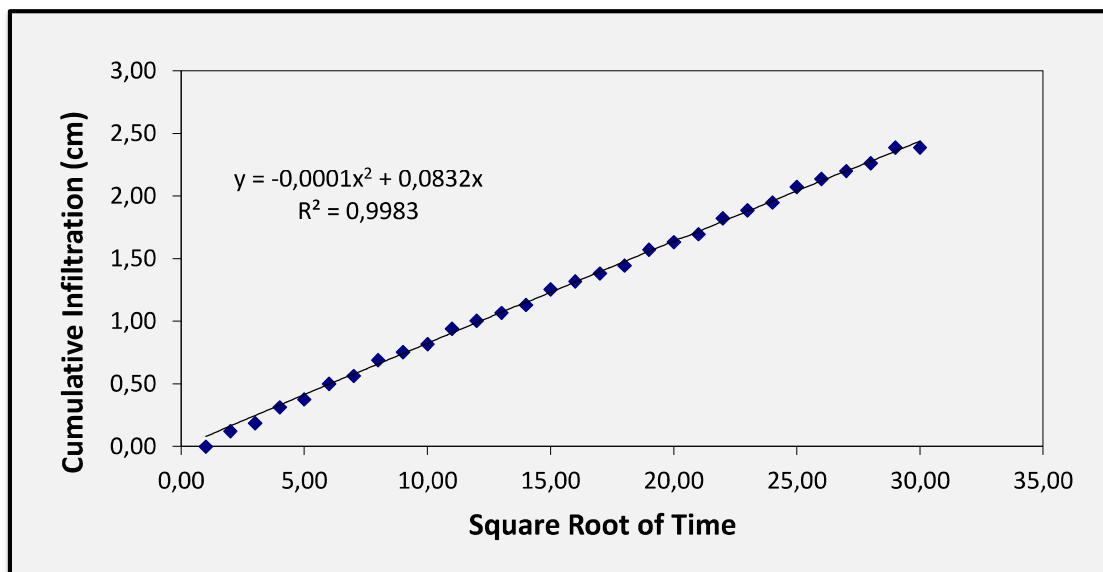


Figura 62. Gráfica de conductividad hidráulica no saturada con infiltrómetro de minidisco. Repetición 5 bosque de ribera.

Tabla 42. Datos de campo (en verde), datos empleados para la gráfica (en blanco) y dato final de Knosat en la zona de bosque de ribera para repetición 5.

| Time (s) | sqrt (t) | Volume (mL) | Infilt (cm) |
|----------|----------|-------------|-------------|
| 0 | 0,00 | 76 | 0,00 |
| 30 | 5,48 | 74 | 0,13 |
| 60 | 7,75 | 73 | 0,19 |
| 90 | 9,49 | 71 | 0,31 |
| 120 | 10,95 | 70 | 0,38 |
| 150 | 12,25 | 68 | 0,50 |
| 180 | 13,42 | 67 | 0,57 |
| 210 | 14,49 | 65 | 0,69 |
| 240 | 15,49 | 64 | 0,75 |
| 270 | 16,43 | 63 | 0,82 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| | | | |
|----------|-------|------------------------|------|
| 300 | 17,32 | 61 | 0,94 |
| 330 | 18,17 | 60 | 1,01 |
| 360 | 18,97 | 59 | 1,07 |
| 390 | 19,75 | 58 | 1,13 |
| 420 | 20,49 | 56 | 1,26 |
| 450 | 21,21 | 55 | 1,32 |
| 480 | 21,91 | 54 | 1,38 |
| 510 | 22,58 | 53 | 1,45 |
| 540 | 23,24 | 51 | 1,57 |
| 570 | 23,87 | 50 | 1,63 |
| 600 | 24,49 | 49 | 1,70 |
| 630 | 25,10 | 47 | 1,82 |
| 660 | 25,69 | 46 | 1,89 |
| 690 | 26,27 | 45 | 1,95 |
| 720 | 26,83 | 43 | 2,07 |
| 750 | 27,39 | 42 | 2,14 |
| 780 | 27,93 | 41 | 2,20 |
| 810 | 28,46 | 40 | 2,26 |
| 840 | 28,98 | 38 | 2,39 |
| 870 | 29,50 | 38 | 2,39 |
| K | | 0,00040437 cm/s | |

- Repetición 6

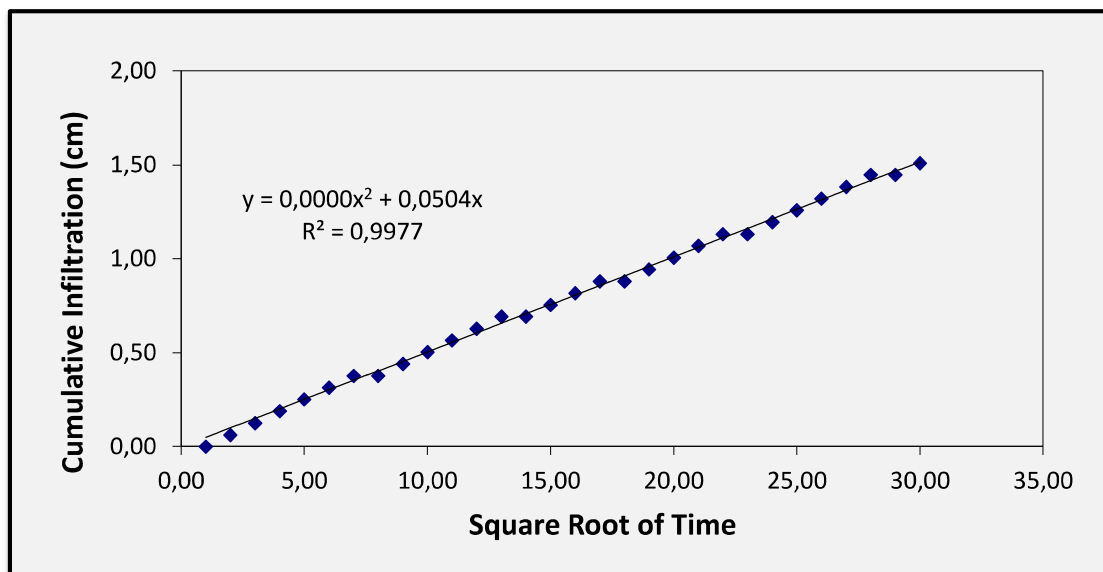


Figura 63. Gráfica de conductividad hidráulica no saturada con infiltrómetro de minidisco. Repetición 6 bosque de ribera.

Tabla 43. Datos de campo (en verde), datos empleados para la gráfica (en blanco) y dato final de Knosat en la zona de bosque de ribera para repetición 6.

| Time (s) | sqrt (t) | Volume (mL) | Infilt (cm) |
|----------|----------|-------------|-------------|
| 0 | 0,00 | 81 | 0,00 |
| 30 | 5,48 | 80 | 0,06 |
| 60 | 7,75 | 79 | 0,13 |
| 90 | 9,49 | 78 | 0,19 |
| 120 | 10,95 | 77 | 0,25 |
| 150 | 12,25 | 76 | 0,31 |
| 180 | 13,42 | 75 | 0,38 |
| 210 | 14,49 | 75 | 0,38 |
| 240 | 15,49 | 74 | 0,44 |
| 270 | 16,43 | 73 | 0,50 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| | | | |
|----------|-------|------------------------|------|
| 300 | 17,32 | 72 | 0,57 |
| 330 | 18,17 | 71 | 0,63 |
| 360 | 18,97 | 70 | 0,69 |
| 390 | 19,75 | 70 | 0,69 |
| 420 | 20,49 | 69 | 0,75 |
| 450 | 21,21 | 68 | 0,82 |
| 480 | 21,91 | 67 | 0,88 |
| 510 | 22,58 | 67 | 0,88 |
| 540 | 23,24 | 66 | 0,94 |
| 570 | 23,87 | 65 | 1,01 |
| 600 | 24,49 | 64 | 1,07 |
| 630 | 25,10 | 63 | 1,13 |
| 660 | 25,69 | 63 | 1,13 |
| 690 | 26,27 | 62 | 1,19 |
| 720 | 26,83 | 61 | 1,26 |
| 750 | 27,39 | 60 | 1,32 |
| 780 | 27,93 | 59 | 1,38 |
| 810 | 28,46 | 58 | 1,45 |
| 840 | 28,98 | 58 | 1,45 |
| 870 | 29,50 | 57 | 1,51 |
| K | | 0,00025558 cm/s | |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

- Repetición 7

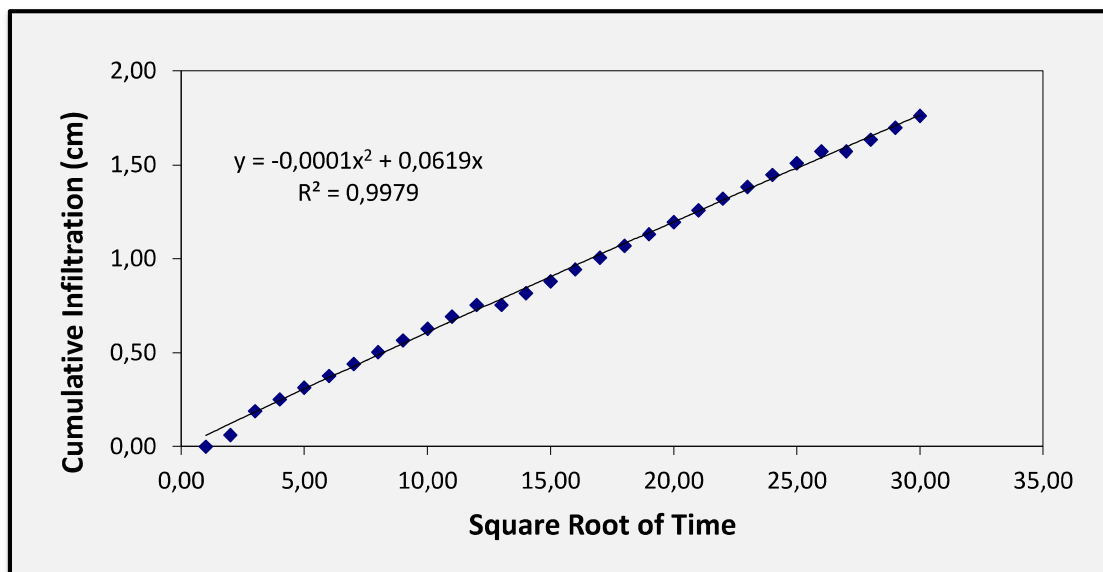


Figura 64. Gráfica de conductividad hidráulica no saturada con infiltrómetro de minidisco. Repetición 7 bosque de ribera.

Tabla 44. Datos de campo (en verde), datos empleados para la gráfica (en blanco) y dato final de Knosat en la zona de bosque de ribera para repetición 7.

| Time (s) | sqrt (t) | Volume (mL) | Infilt (cm) |
|----------|----------|-------------|-------------|
| 0 | 0,00 | 80 | 0,00 |
| 30 | 5,48 | 79 | 0,06 |
| 60 | 7,75 | 77 | 0,19 |
| 90 | 9,49 | 76 | 0,25 |
| 120 | 10,95 | 75 | 0,31 |
| 150 | 12,25 | 74 | 0,38 |
| 180 | 13,42 | 73 | 0,44 |
| 210 | 14,49 | 72 | 0,50 |
| 240 | 15,49 | 71 | 0,57 |
| 270 | 16,43 | 70 | 0,63 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| | | | |
|----------|-------|------------------------|------|
| 300 | 17,32 | 69 | 0,69 |
| 330 | 18,17 | 68 | 0,75 |
| 360 | 18,97 | 68 | 0,75 |
| 390 | 19,75 | 67 | 0,82 |
| 420 | 20,49 | 66 | 0,88 |
| 450 | 21,21 | 65 | 0,94 |
| 480 | 21,91 | 64 | 1,01 |
| 510 | 22,58 | 63 | 1,07 |
| 540 | 23,24 | 62 | 1,13 |
| 570 | 23,87 | 61 | 1,19 |
| 600 | 24,49 | 60 | 1,26 |
| 630 | 25,10 | 59 | 1,32 |
| 660 | 25,69 | 58 | 1,38 |
| 690 | 26,27 | 57 | 1,45 |
| 720 | 26,83 | 56 | 1,51 |
| 750 | 27,39 | 55 | 1,57 |
| 780 | 27,93 | 55 | 1,57 |
| 810 | 28,46 | 54 | 1,63 |
| 840 | 28,98 | 53 | 1,70 |
| 870 | 29,50 | 52 | 1,76 |
| K | | 0,00028107 cm/s | |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

- Repetición 8

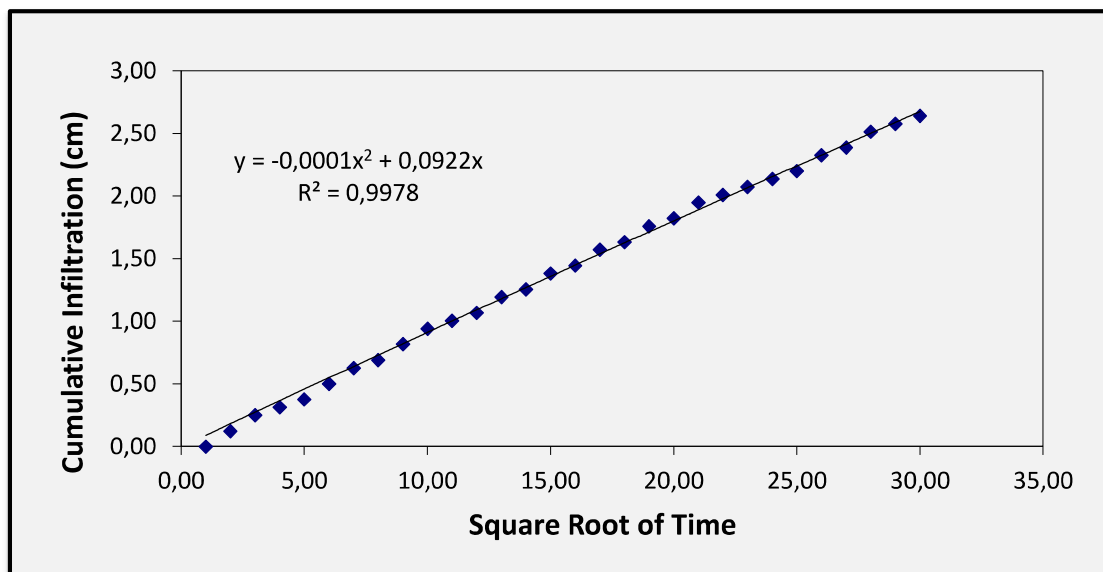


Figura 65. Gráfica de conductividad hidráulica no saturada con infiltrómetro de minidisco. Repetición 8 bosque de ribera.

Tabla 45. Datos de campo (en verde), datos empleados para la gráfica (en blanco) y dato final de Knosat en la zona de bosque de ribera para repetición 8.

| Time (s) | sqrt (t) | Volume (mL) | Infilt (cm) |
|----------|----------|-------------|-------------|
| 0 | 0,00 | 80 | 0,00 |
| 30 | 5,48 | 78 | 0,13 |
| 60 | 7,75 | 76 | 0,25 |
| 90 | 9,49 | 75 | 0,31 |
| 120 | 10,95 | 74 | 0,38 |
| 150 | 12,25 | 72 | 0,50 |
| 180 | 13,42 | 70 | 0,63 |
| 210 | 14,49 | 69 | 0,69 |
| 240 | 15,49 | 67 | 0,82 |
| 270 | 16,43 | 65 | 0,94 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| | | | |
|----------|-------|------------------------|------|
| 300 | 17,32 | 64 | 1,01 |
| 330 | 18,17 | 63 | 1,07 |
| 360 | 18,97 | 61 | 1,19 |
| 390 | 19,75 | 60 | 1,26 |
| 420 | 20,49 | 58 | 1,38 |
| 450 | 21,21 | 57 | 1,45 |
| 480 | 21,91 | 55 | 1,57 |
| 510 | 22,58 | 54 | 1,63 |
| 540 | 23,24 | 52 | 1,76 |
| 570 | 23,87 | 51 | 1,82 |
| 600 | 24,49 | 49 | 1,95 |
| 630 | 25,10 | 48 | 2,01 |
| 660 | 25,69 | 47 | 2,07 |
| 690 | 26,27 | 46 | 2,14 |
| 720 | 26,83 | 45 | 2,20 |
| 750 | 27,39 | 43 | 2,33 |
| 780 | 27,93 | 42 | 2,39 |
| 810 | 28,46 | 40 | 2,52 |
| 840 | 28,98 | 39 | 2,58 |
| 870 | 29,50 | 38 | 2,64 |
| K | | 0,00044743 cm/s | |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

- Repetición 9

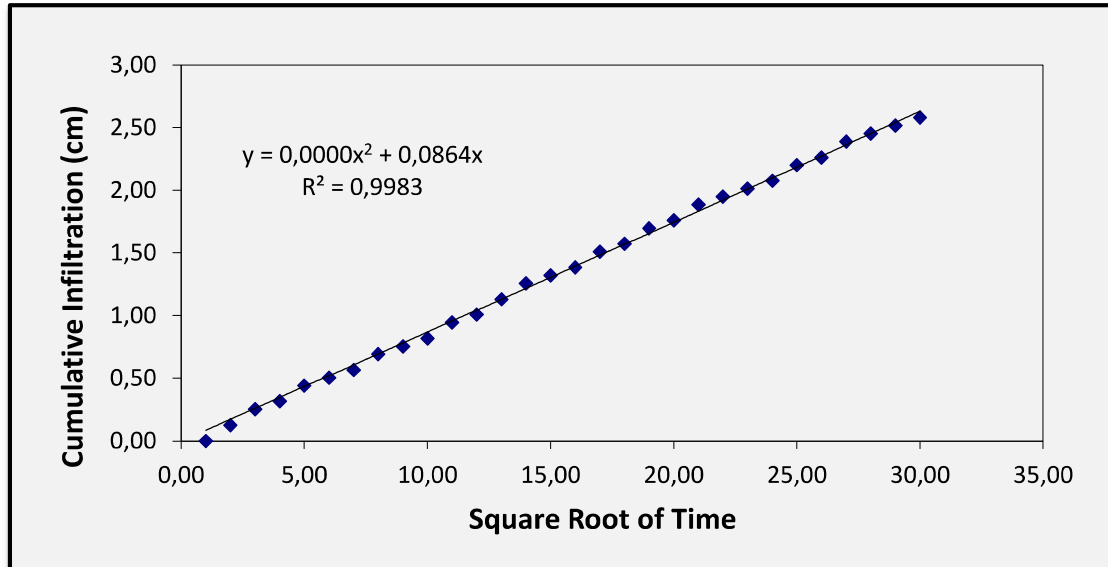


Figura 66. Gráfica de conductividad hidráulica no saturada con infiltrómetro de minidisco. Repetición 9 bosque de ribera.

Tabla 46. Datos de campo (en verde), datos empleados para la gráfica (en blanco) y dato final de Knosat en la zona de bosque de ribera para repetición 9.

| Time (s) | sqrt (t) | Volume (mL) | Infilt (cm) |
|----------|----------|-------------|-------------|
| 0 | 0,00 | 82 | 0,00 |
| 30 | 5,48 | 80 | 0,13 |
| 60 | 7,75 | 78 | 0,25 |
| 90 | 9,49 | 77 | 0,31 |
| 120 | 10,95 | 75 | 0,44 |
| 150 | 12,25 | 74 | 0,50 |
| 180 | 13,42 | 73 | 0,57 |
| 210 | 14,49 | 71 | 0,69 |
| 240 | 15,49 | 70 | 0,75 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| | | | |
|----------|-------|------------------------|------|
| 270 | 16,43 | 69 | 0,82 |
| 300 | 17,32 | 67 | 0,94 |
| 330 | 18,17 | 66 | 1,01 |
| 360 | 18,97 | 64 | 1,13 |
| 390 | 19,75 | 62 | 1,26 |
| 420 | 20,49 | 61 | 1,32 |
| 450 | 21,21 | 60 | 1,38 |
| 480 | 21,91 | 58 | 1,51 |
| 510 | 22,58 | 57 | 1,57 |
| 540 | 23,24 | 55 | 1,70 |
| 570 | 23,87 | 54 | 1,76 |
| 600 | 24,49 | 52 | 1,89 |
| 630 | 25,10 | 51 | 1,95 |
| 660 | 25,69 | 50 | 2,01 |
| 690 | 26,27 | 49 | 2,07 |
| 720 | 26,83 | 47 | 2,20 |
| 750 | 27,39 | 46 | 2,26 |
| 780 | 27,93 | 44 | 2,39 |
| 810 | 28,46 | 43 | 2,45 |
| 840 | 28,98 | 42 | 2,52 |
| 870 | 29,50 | 41 | 2,58 |
| K | | 0,00045304 cm/s | |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

- Repetición 10

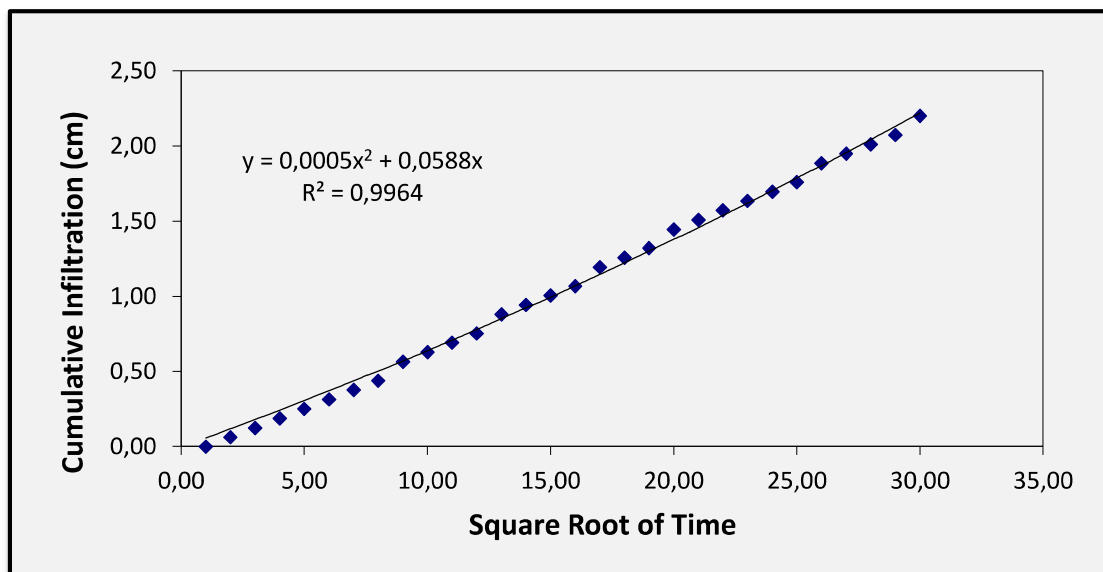


Figura 67. Gráfica de conductividad hidráulica no saturada con infiltrómetro de minidisco. Repetición 10 bosque de ribera.

Tabla 47. Datos de campo (en verde), datos empleados para la gráfica (en blanco) y dato final de Knosat en la zona de bosque de ribera para repetición 10.

| Time (s) | sqrt (t) | Volume (mL) | Infilt (cm) |
|----------|----------|-------------|-------------|
| 0 | 0,00 | 76 | 0,00 |
| 30 | 5,48 | 75 | 0,06 |
| 60 | 7,75 | 74 | 0,13 |
| 90 | 9,49 | 73 | 0,19 |
| 120 | 10,95 | 72 | 0,25 |
| 150 | 12,25 | 71 | 0,31 |
| 180 | 13,42 | 70 | 0,38 |
| 210 | 14,49 | 69 | 0,44 |
| 240 | 15,49 | 67 | 0,57 |
| 270 | 16,43 | 66 | 0,63 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| | | | |
|----------|-------|------------------------|------|
| 300 | 17,32 | 65 | 0,69 |
| 330 | 18,17 | 64 | 0,75 |
| 360 | 18,97 | 62 | 0,88 |
| 390 | 19,75 | 61 | 0,94 |
| 420 | 20,49 | 60 | 1,01 |
| 450 | 21,21 | 59 | 1,07 |
| 480 | 21,91 | 57 | 1,19 |
| 510 | 22,58 | 56 | 1,26 |
| 540 | 23,24 | 55 | 1,32 |
| 570 | 23,87 | 53 | 1,45 |
| 600 | 24,49 | 52 | 1,51 |
| 630 | 25,10 | 51 | 1,57 |
| 660 | 25,69 | 50 | 1,63 |
| 690 | 26,27 | 49 | 1,70 |
| 720 | 26,83 | 48 | 1,76 |
| 750 | 27,39 | 46 | 1,89 |
| 780 | 27,93 | 45 | 1,95 |
| 810 | 28,46 | 44 | 2,01 |
| 840 | 28,98 | 43 | 2,07 |
| 870 | 29,50 | 41 | 2,20 |
| K | | 0,00044961 cm/s | |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

- Repetición 11

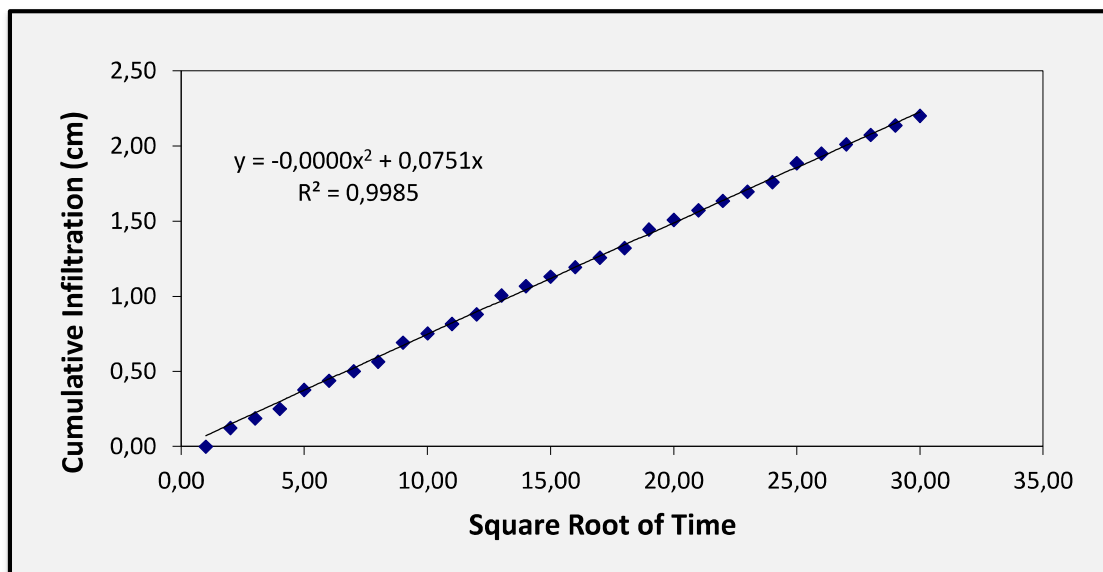


Figura 68. Gráfica de conductividad hidráulica no saturada con infiltrómetro de minidisco. Repetición 11 bosque de ribera.

Tabla 48. Datos de campo (en verde), datos empleados para la gráfica (en blanco) y dato final de Knosat en la zona de bosque de ribera para repetición 11.

| Time (s) | sqrt (t) | Volume (mL) | Infilt (cm) |
|----------|----------|-------------|-------------|
| 0 | 0,00 | 78 | 0,00 |
| 30 | 5,48 | 76 | 0,13 |
| 60 | 7,75 | 75 | 0,19 |
| 90 | 9,49 | 74 | 0,25 |
| 120 | 10,95 | 72 | 0,38 |
| 150 | 12,25 | 71 | 0,44 |
| 180 | 13,42 | 70 | 0,50 |
| 210 | 14,49 | 69 | 0,57 |
| 240 | 15,49 | 67 | 0,69 |
| 270 | 16,43 | 66 | 0,75 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| | | | |
|----------|-------|------------------------|------|
| 300 | 17,32 | 65 | 0,82 |
| 330 | 18,17 | 64 | 0,88 |
| 360 | 18,97 | 62 | 1,01 |
| 390 | 19,75 | 61 | 1,07 |
| 420 | 20,49 | 60 | 1,13 |
| 450 | 21,21 | 59 | 1,19 |
| 480 | 21,91 | 58 | 1,26 |
| 510 | 22,58 | 57 | 1,32 |
| 540 | 23,24 | 55 | 1,45 |
| 570 | 23,87 | 54 | 1,51 |
| 600 | 24,49 | 53 | 1,57 |
| 630 | 25,10 | 52 | 1,63 |
| 660 | 25,69 | 51 | 1,70 |
| 690 | 26,27 | 50 | 1,76 |
| 720 | 26,83 | 48 | 1,89 |
| 750 | 27,39 | 47 | 1,95 |
| 780 | 27,93 | 46 | 2,01 |
| 810 | 28,46 | 45 | 2,07 |
| 840 | 28,98 | 44 | 2,14 |
| 870 | 29,50 | 43 | 2,20 |
| K | | 0,00037365 cm/s | |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

- Repetición 12

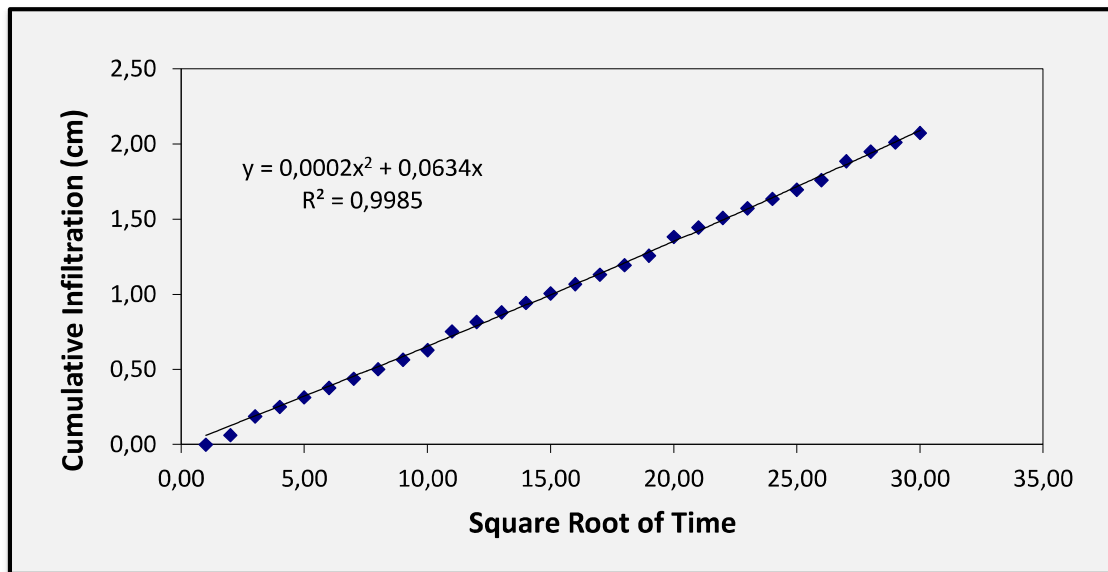


Figura 69. Gráfica de conductividad hidráulica no saturada con infiltrómetro de minidisco. Repetición 12 bosque de ribera.

Tabla 49. Datos de campo (en verde), datos empleados para la gráfica (en blanco) y dato final de Knosat en la zona de bosque de ribera para repetición 12.

| Time (s) | sqrt (t) | Volume (mL) | Infilt (cm) |
|----------|----------|-------------|-------------|
| 0 | 0,00 | 83 | 0,00 |
| 30 | 5,48 | 82 | 0,06 |
| 60 | 7,75 | 80 | 0,19 |
| 90 | 9,49 | 79 | 0,25 |
| 120 | 10,95 | 78 | 0,31 |
| 150 | 12,25 | 77 | 0,38 |
| 180 | 13,42 | 76 | 0,44 |
| 210 | 14,49 | 75 | 0,50 |
| 240 | 15,49 | 74 | 0,57 |
| 270 | 16,43 | 73 | 0,63 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| | | | |
|----------|-------|------------------------|------|
| 300 | 17,32 | 71 | 0,75 |
| 330 | 18,17 | 70 | 0,82 |
| 360 | 18,97 | 69 | 0,88 |
| 390 | 19,75 | 68 | 0,94 |
| 420 | 20,49 | 67 | 1,01 |
| 450 | 21,21 | 66 | 1,07 |
| 480 | 21,91 | 65 | 1,13 |
| 510 | 22,58 | 64 | 1,19 |
| 540 | 23,24 | 63 | 1,26 |
| 570 | 23,87 | 61 | 1,38 |
| 600 | 24,49 | 60 | 1,45 |
| 630 | 25,10 | 59 | 1,51 |
| 660 | 25,69 | 58 | 1,57 |
| 690 | 26,27 | 57 | 1,63 |
| 720 | 26,83 | 56 | 1,70 |
| 750 | 27,39 | 55 | 1,76 |
| 780 | 27,93 | 53 | 1,89 |
| 810 | 28,46 | 52 | 1,95 |
| 840 | 28,98 | 51 | 2,01 |
| 870 | 29,50 | 50 | 2,07 |
| K | | 0,00037826 cm/s | |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

1.3. Minidisco en Pradera de Rožnik.

1.3.1. Datos de humedad en suelo

Tabla 50. Datos de humedad en las repeticiones de infiltrómetro de minidisco para la zona de pradera.

| Punto muestreado | Profundidad (cm) | Temperatura del suelo (°C) | K calc | Humedad (%) |
|------------------|------------------|----------------------------|--------|-------------|
| 1 | 10 | 18,3 | 26,19 | 41,17 |
| | 10 | | 28,21 | 42,96 |
| 2 | 10 | 18,2 | 27,89 | 42,69 |
| | 10 | | 28,28 | 43,02 |
| 3 | 10 | 17,3 | 20,93 | 35,66 |
| | 10 | | 26,74 | 41,67 |
| | 10 | | 28,12 | 42,88 |
| 4 | 10 | 17,3 | 26,13 | 41,12 |
| | 10 | | 24,95 | 39,99 |
| | 10 | | 27,01 | 41,92 |
| 5 | 10 | 18,8 | 26,84 | 41,76 |
| | 10 | | 25,67 | 40,69 |
| | 10 | | 26,66 | 41,6 |

1.3.2. Datos de conductividad hidráulica no saturada.

- Repetición 1

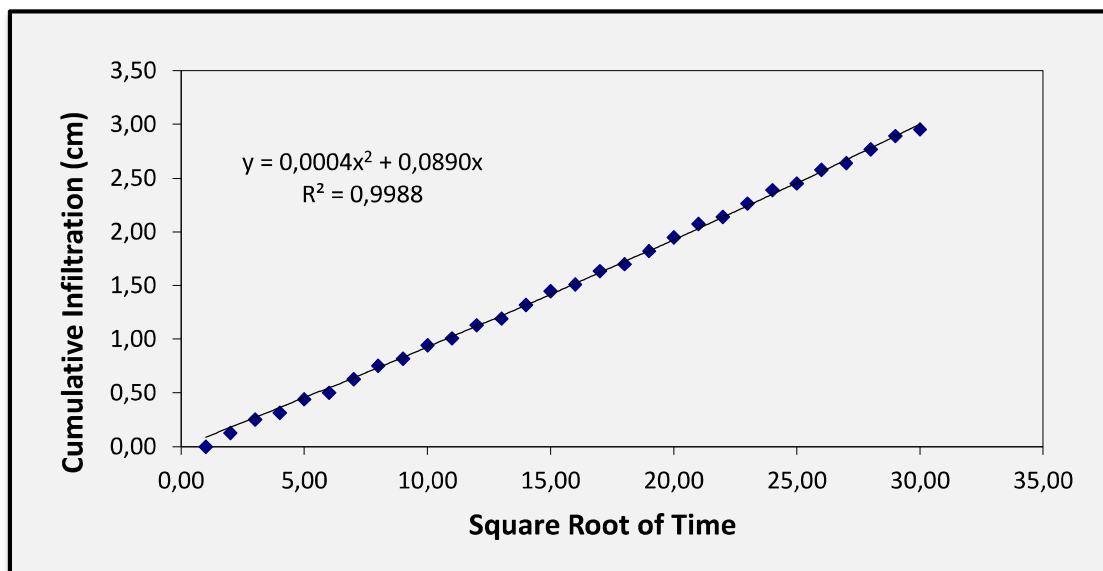


Figura 70. Gráfica de conductividad hidráulica no saturada con infiltrómetro de minidisco. Repetición 1 en zona de pradera.

Tabla 51. Datos de campo (en verde), datos empleados para la gráfica (en blanco) y dato final de Knosat en la zona de pradera para repetición 1.

| Time (s) | sqrt (t) | Volumen (mL) | Infiltración (cm) |
|----------|----------|--------------|-------------------|
| 0 | 0,00 | 82 | 0,00 |
| 30 | 5,48 | 80 | 0,13 |
| 60 | 7,75 | 78 | 0,25 |
| 90 | 9,49 | 77 | 0,31 |
| 120 | 10,95 | 75 | 0,44 |
| 150 | 12,25 | 74 | 0,50 |
| 180 | 13,42 | 72 | 0,63 |
| 210 | 14,49 | 70 | 0,75 |
| 240 | 15,49 | 69 | 0,82 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| | | | |
|----------|-------|------------------------|------|
| 270 | 16,43 | 67 | 0,94 |
| 300 | 17,32 | 66 | 1,01 |
| 330 | 18,17 | 64 | 1,13 |
| 360 | 18,97 | 63 | 1,19 |
| 390 | 19,75 | 61 | 1,32 |
| 420 | 20,49 | 59 | 1,45 |
| 450 | 21,21 | 58 | 1,51 |
| 480 | 21,91 | 56 | 1,63 |
| 510 | 22,58 | 55 | 1,70 |
| 540 | 23,24 | 53 | 1,82 |
| 570 | 23,87 | 51 | 1,95 |
| 600 | 24,49 | 49 | 2,07 |
| 630 | 25,10 | 48 | 2,14 |
| 660 | 25,69 | 46 | 2,26 |
| 690 | 26,27 | 44 | 2,39 |
| 720 | 26,83 | 43 | 2,45 |
| 750 | 27,39 | 41 | 2,58 |
| 780 | 27,93 | 40 | 2,64 |
| 810 | 28,46 | 38 | 2,77 |
| 840 | 28,98 | 36 | 2,89 |
| 870 | 29,50 | 35 | 2,96 |
| K | | 0,00086891 cm/s | |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

- Repetición 2

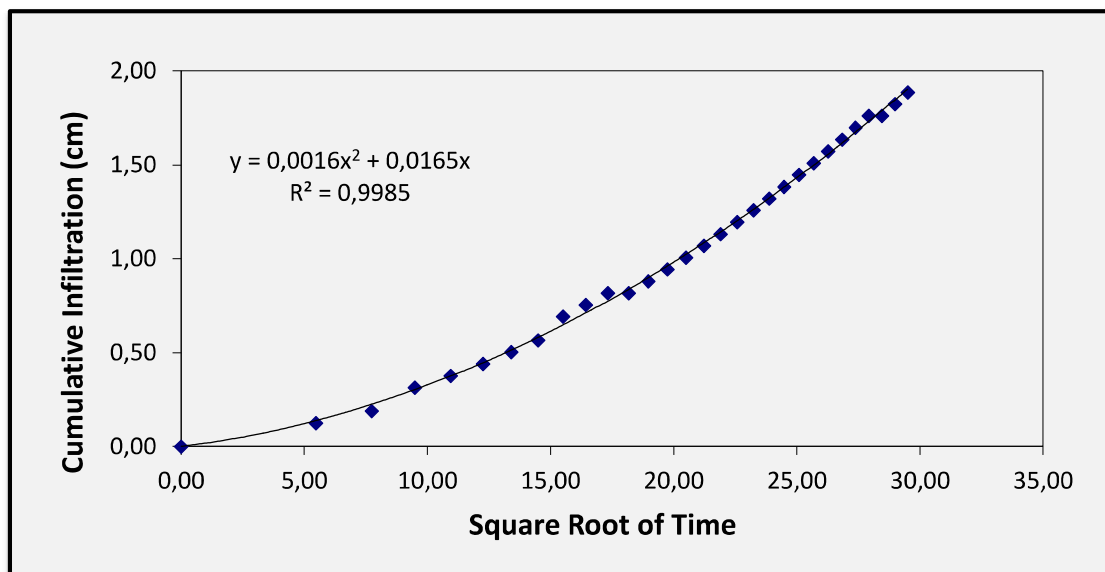


Figura 71. Gráfica de conductividad hidráulica no saturada con infiltrómetro de minidisco. Repetición 2 en zona de pradera.

Tabla 52. Datos de campo (en verde), datos empleados para la gráfica (en blanco) y dato final de Knosat en la zona de pradera para repetición 2.

| Time (s) | sqrt (t) | Volume (mL) | Infilt (cm) |
|----------|----------|-------------|-------------|
| 0 | 0,00 | 77 | 0,00 |
| 30 | 5,48 | 75 | 0,13 |
| 60 | 7,75 | 74 | 0,19 |
| 90 | 9,49 | 72 | 0,31 |
| 120 | 10,95 | 71 | 0,38 |
| 150 | 12,25 | 70 | 0,44 |
| 180 | 13,42 | 69 | 0,50 |
| 210 | 14,49 | 68 | 0,57 |
| 240 | 15,49 | 66 | 0,69 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| | | | |
|----------|-------|------------------------|------|
| 270 | 16,43 | 65 | 0,75 |
| 300 | 17,32 | 64 | 0,82 |
| 330 | 18,17 | 64 | 0,82 |
| 360 | 18,97 | 63 | 0,88 |
| 390 | 19,75 | 62 | 0,94 |
| 420 | 20,49 | 61 | 1,01 |
| 450 | 21,21 | 60 | 1,07 |
| 480 | 21,91 | 59 | 1,13 |
| 510 | 22,58 | 58 | 1,19 |
| 540 | 23,24 | 57 | 1,26 |
| 570 | 23,87 | 56 | 1,32 |
| 600 | 24,49 | 55 | 1,38 |
| 630 | 25,10 | 54 | 1,45 |
| 660 | 25,69 | 53 | 1,51 |
| 690 | 26,27 | 52 | 1,57 |
| 720 | 26,83 | 51 | 1,63 |
| 750 | 27,39 | 50 | 1,70 |
| 780 | 27,93 | 49 | 1,76 |
| 810 | 28,46 | 49 | 1,76 |
| 840 | 28,98 | 48 | 1,82 |
| 870 | 29,50 | 47 | 1,89 |
| K | | 0,00041861 cm/s | |

- Repetición 3

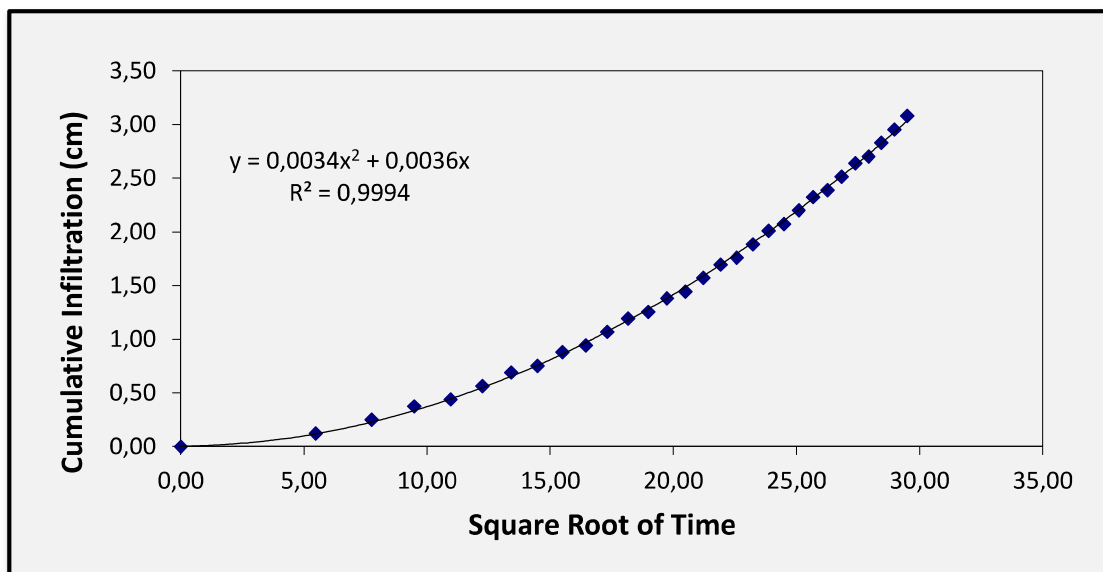


Figura 72. Gráfica de conductividad hidráulica no saturada con infiltrómetro de minidisco. Repetición 3 en zona de pradera.

Tabla 53. Datos de campo (en verde), datos empleados para la gráfica (en blanco) y dato final de Knosat en la zona de pradera para repetición 3.

| Time (s) | sqrt (t) | Volume (mL) | Infilt (cm) |
|----------|----------|-------------|-------------|
| 0 | 0,00 | 80 | 0,00 |
| 30 | 5,48 | 78 | 0,13 |
| 60 | 7,75 | 76 | 0,25 |
| 90 | 9,49 | 74 | 0,38 |
| 120 | 10,95 | 73 | 0,44 |
| 150 | 12,25 | 71 | 0,57 |
| 180 | 13,42 | 69 | 0,69 |
| 210 | 14,49 | 68 | 0,75 |
| 240 | 15,49 | 66 | 0,88 |
| 270 | 16,43 | 65 | 0,94 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| | | | |
|----------|-------|-----------------------|------|
| 300 | 17,32 | 63 | 1,07 |
| 330 | 18,17 | 61 | 1,19 |
| 360 | 18,97 | 60 | 1,26 |
| 390 | 19,75 | 58 | 1,38 |
| 420 | 20,49 | 57 | 1,45 |
| 450 | 21,21 | 55 | 1,57 |
| 480 | 21,91 | 53 | 1,70 |
| 510 | 22,58 | 52 | 1,76 |
| 540 | 23,24 | 50 | 1,89 |
| 570 | 23,87 | 48 | 2,01 |
| 600 | 24,49 | 47 | 2,07 |
| 630 | 25,10 | 45 | 2,20 |
| 660 | 25,69 | 43 | 2,33 |
| 690 | 26,27 | 42 | 2,39 |
| 720 | 26,83 | 40 | 2,52 |
| 750 | 27,39 | 38 | 2,64 |
| 780 | 27,93 | 37 | 2,70 |
| 810 | 28,46 | 35 | 2,83 |
| 840 | 28,98 | 33 | 2,96 |
| 870 | 29,50 | 31 | 3,08 |
| K | | 0,0008651 cm/s | |

- Repetición 4

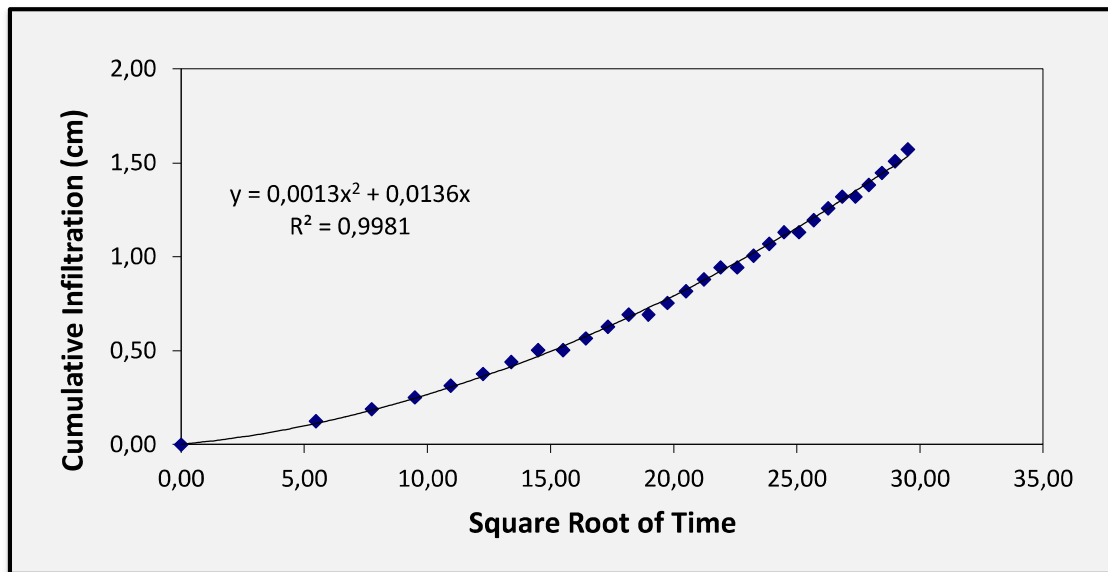


Figura 73. Gráfica de conductividad hidráulica no saturada con infiltrómetro de minidisco. Repetición 4 en zona de pradera.

Tabla 54. Datos de campo (en verde), datos empleados para la gráfica (en blanco) y dato final de Knosat en la zona de pradera para repetición 4.

| Time (s) | sqrt (t) | Volume (mL) | Infilt (cm) |
|----------|----------|-------------|-------------|
| 0 | 0,00 | 85 | 0,00 |
| 30 | 5,48 | 83 | 0,13 |
| 60 | 7,75 | 82 | 0,19 |
| 90 | 9,49 | 81 | 0,25 |
| 120 | 10,95 | 80 | 0,31 |
| 150 | 12,25 | 79 | 0,38 |
| 180 | 13,42 | 78 | 0,44 |
| 210 | 14,49 | 77 | 0,50 |
| 240 | 15,49 | 77 | 0,50 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| | | | |
|----------|------------------------|----|------|
| 270 | 16,43 | 76 | 0,57 |
| 300 | 17,32 | 75 | 0,63 |
| 330 | 18,17 | 74 | 0,69 |
| 360 | 18,97 | 74 | 0,69 |
| 390 | 19,75 | 73 | 0,75 |
| 420 | 20,49 | 72 | 0,82 |
| 450 | 21,21 | 71 | 0,88 |
| 480 | 21,91 | 70 | 0,94 |
| 510 | 22,58 | 70 | 0,94 |
| 540 | 23,24 | 69 | 1,01 |
| 570 | 23,87 | 68 | 1,07 |
| 600 | 24,49 | 67 | 1,13 |
| 630 | 25,10 | 67 | 1,13 |
| 660 | 25,69 | 66 | 1,19 |
| 690 | 26,27 | 65 | 1,26 |
| 720 | 26,83 | 64 | 1,32 |
| 750 | 27,39 | 64 | 1,32 |
| 780 | 27,93 | 63 | 1,38 |
| 810 | 28,46 | 62 | 1,45 |
| 840 | 28,98 | 61 | 1,51 |
| 870 | 29,50 | 60 | 1,57 |
| K | 0,00033462 cm/s | | |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

- Repetición 5

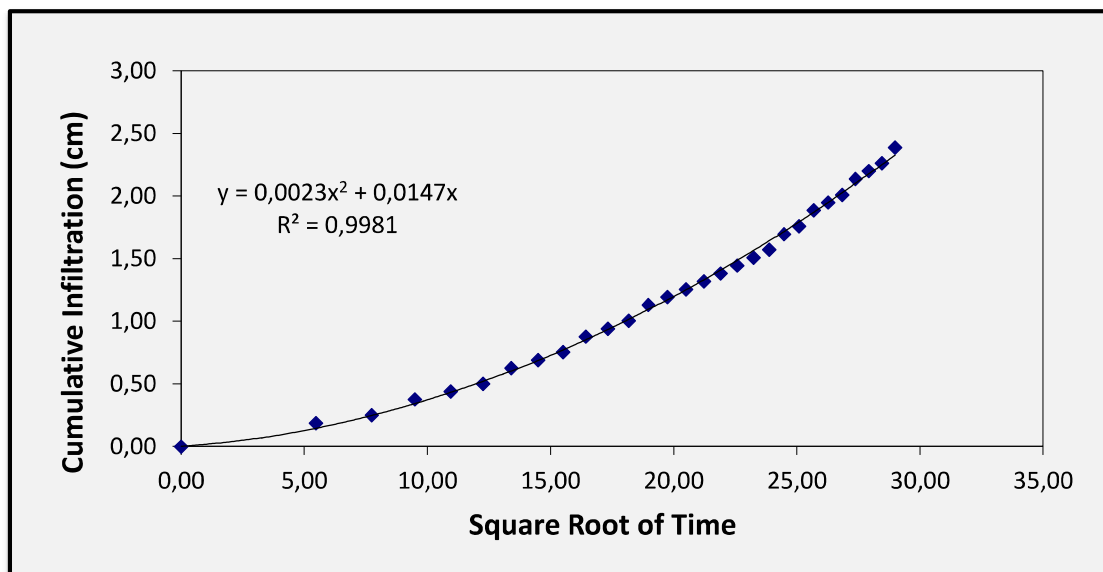


Figura 74. Gráfica de conductividad hidráulica no saturada con infiltrómetro de minidisco. Repetición 5 en zona de pradera.

Tabla 55. Datos de campo (en verde), datos empleados para la gráfica (en blanco) y dato final de Knosat en la zona de pradera para repetición 5.

| Time (s) | sqrt (t) | Volume (mL) | Infilt (cm) |
|----------|----------|-------------|-------------|
| 0 | 0,00 | 80 | 0,00 |
| 30 | 5,48 | 77 | 0,19 |
| 60 | 7,75 | 76 | 0,25 |
| 90 | 9,49 | 74 | 0,38 |
| 120 | 10,95 | 73 | 0,44 |
| 150 | 12,25 | 72 | 0,50 |
| 180 | 13,42 | 70 | 0,63 |
| 210 | 14,49 | 69 | 0,69 |
| 240 | 15,49 | 68 | 0,75 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| | | | |
|----------|-------|------------------------|------|
| 270 | 16,43 | 66 | 0,88 |
| 300 | 17,32 | 65 | 0,94 |
| 330 | 18,17 | 64 | 1,01 |
| 360 | 18,97 | 62 | 1,13 |
| 390 | 19,75 | 61 | 1,19 |
| 420 | 20,49 | 60 | 1,26 |
| 450 | 21,21 | 59 | 1,32 |
| 480 | 21,91 | 58 | 1,38 |
| 510 | 22,58 | 57 | 1,45 |
| 540 | 23,24 | 56 | 1,51 |
| 570 | 23,87 | 55 | 1,57 |
| 600 | 24,49 | 53 | 1,70 |
| 630 | 25,10 | 52 | 1,76 |
| 660 | 25,69 | 50 | 1,89 |
| 690 | 26,27 | 49 | 1,95 |
| 720 | 26,83 | 48 | 2,01 |
| 750 | 27,39 | 46 | 2,14 |
| 780 | 27,93 | 45 | 2,20 |
| 810 | 28,46 | 44 | 2,26 |
| 840 | 28,98 | 42 | 2,39 |
| K | | 0,00058279 cm/s | |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

- Repetición 6

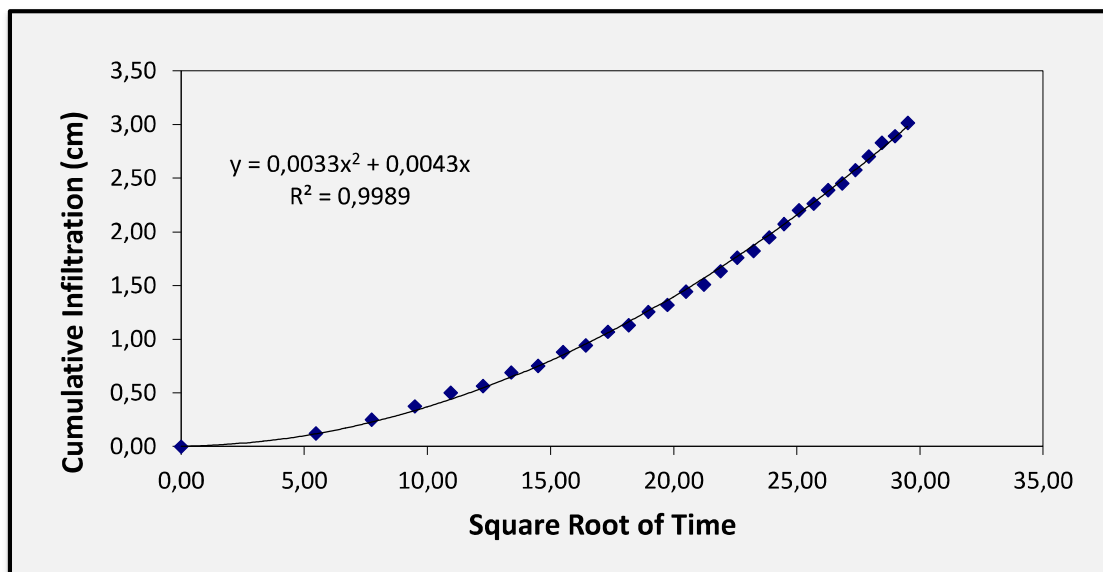


Figura 75. Gráfica de conductividad hidráulica no saturada con infiltrómetro de minidisco. Repetición 6 en zona de pradera.

Tabla 56. Datos de campo (en verde), datos empleados para la gráfica (en blanco) y dato final de Knosat en la zona de pradera para repetición 6.

| Time (s) | sqrt (t) | Volume (mL) | Infilt (cm) |
|----------|----------|-------------|-------------|
| 0 | 0,00 | 76 | 0,00 |
| 30 | 5,48 | 74 | 0,13 |
| 60 | 7,75 | 72 | 0,25 |
| 90 | 9,49 | 70 | 0,38 |
| 120 | 10,95 | 68 | 0,50 |
| 150 | 12,25 | 67 | 0,57 |
| 180 | 13,42 | 65 | 0,69 |
| 210 | 14,49 | 64 | 0,75 |
| 240 | 15,49 | 62 | 0,88 |
| 270 | 16,43 | 61 | 0,94 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| | | | |
|----------|-------|------------------------|------|
| 300 | 17,32 | 59 | 1,07 |
| 330 | 18,17 | 58 | 1,13 |
| 360 | 18,97 | 56 | 1,26 |
| 390 | 19,75 | 55 | 1,32 |
| 420 | 20,49 | 53 | 1,45 |
| 450 | 21,21 | 52 | 1,51 |
| 480 | 21,91 | 50 | 1,63 |
| 510 | 22,58 | 48 | 1,76 |
| 540 | 23,24 | 47 | 1,82 |
| 570 | 23,87 | 45 | 1,95 |
| 600 | 24,49 | 43 | 2,07 |
| 630 | 25,10 | 41 | 2,20 |
| 660 | 25,69 | 40 | 2,26 |
| 690 | 26,27 | 38 | 2,39 |
| 720 | 26,83 | 37 | 2,45 |
| 750 | 27,39 | 35 | 2,58 |
| 780 | 27,93 | 33 | 2,70 |
| 810 | 28,46 | 31 | 2,83 |
| 840 | 28,98 | 30 | 2,89 |
| 870 | 29,50 | 28 | 3,02 |
| K | | 0,00084417 cm/s | |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

- Repetición 7

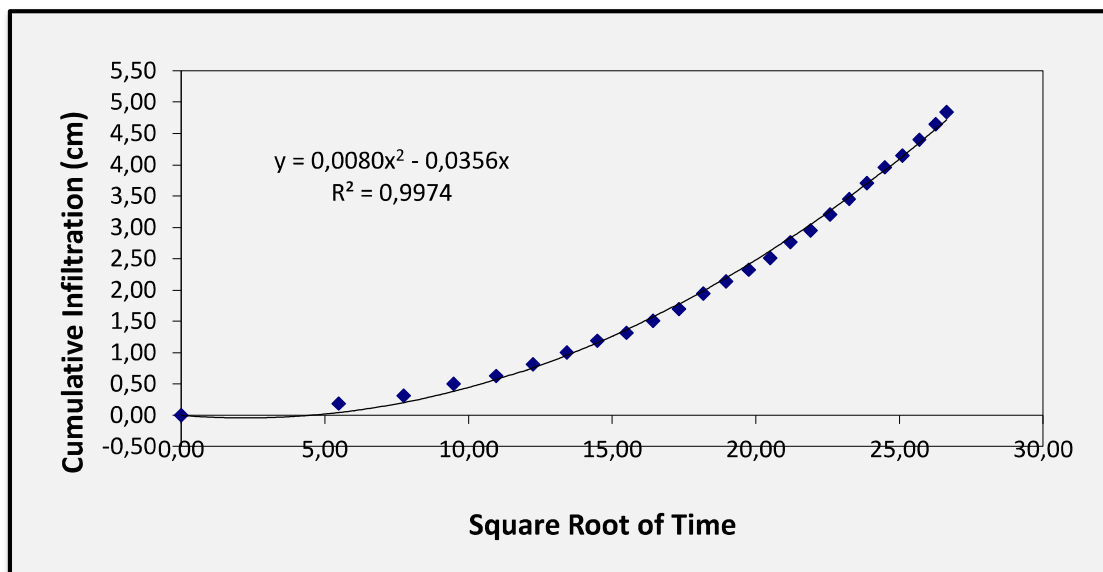


Figura 76. Gráfica de conductividad hidráulica no saturada con infiltrómetro de minidisco. Repetición 7 en zona de pradera.

Tabla 57. Datos de campo (en verde), datos empleados para la gráfica (en blanco) y dato final de Knosat en la zona de pradera para repetición 7.

| Time (s) | sqrt (t) | Volume (mL) | Infilt (cm) |
|----------|----------|-------------|-------------|
| 0 | 0,00 | 77 | 0,00 |
| 30 | 5,48 | 74 | 0,19 |
| 60 | 7,75 | 72 | 0,31 |
| 90 | 9,49 | 69 | 0,50 |
| 120 | 10,95 | 67 | 0,63 |
| 150 | 12,25 | 64 | 0,82 |
| 180 | 13,42 | 61 | 1,01 |
| 210 | 14,49 | 58 | 1,19 |
| 240 | 15,49 | 56 | 1,32 |
| 270 | 16,43 | 53 | 1,51 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| | | | |
|----------|------------------------|----|------|
| 300 | 17,32 | 50 | 1,70 |
| 330 | 18,17 | 46 | 1,95 |
| 360 | 18,97 | 43 | 2,14 |
| 390 | 19,75 | 40 | 2,33 |
| 420 | 20,49 | 37 | 2,52 |
| 450 | 21,21 | 33 | 2,77 |
| 480 | 21,91 | 30 | 2,96 |
| 510 | 22,58 | 26 | 3,21 |
| 540 | 23,24 | 22 | 3,46 |
| 570 | 23,87 | 18 | 3,71 |
| 600 | 24,49 | 14 | 3,96 |
| 630 | 25,10 | 11 | 4,15 |
| 660 | 25,69 | 7 | 4,40 |
| 690 | 26,27 | 3 | 4,65 |
| 710 | 26,65 | 0 | 4,84 |
| K | 0,00205192 cm/s | | |

- Repetición 8

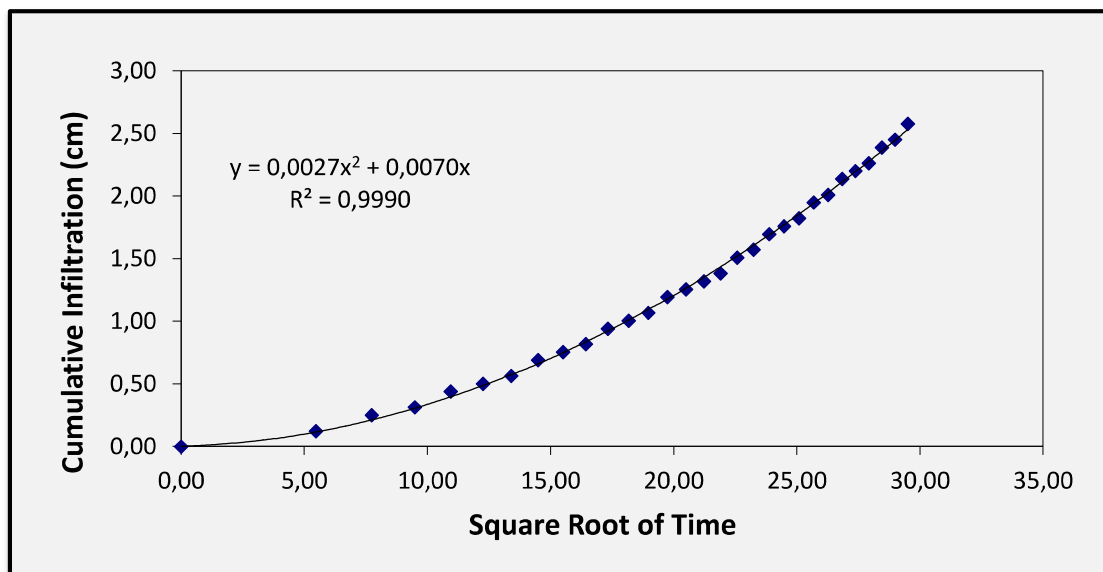


Figura 77. Gráfica de conductividad hidráulica no saturada con infiltrómetro de minidisco. Repetición 8 en zona de pradera.

Tabla 58. Datos de campo (en verde), datos empleados para la gráfica (en blanco) y dato final de Knosat en la zona de pradera para repetición 8.

| Time (s) | sqrt (t) | Volume (mL) | Infilt (cm) |
|----------|----------|-------------|-------------|
| 0 | 0,00 | 78 | 0,00 |
| 30 | 5,48 | 76 | 0,13 |
| 60 | 7,75 | 74 | 0,25 |
| 90 | 9,49 | 73 | 0,31 |
| 120 | 10,95 | 71 | 0,44 |
| 150 | 12,25 | 70 | 0,50 |
| 180 | 13,42 | 69 | 0,57 |
| 210 | 14,49 | 67 | 0,69 |
| 240 | 15,49 | 66 | 0,75 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| | | | |
|----------|------------------------|----|------|
| 270 | 16,43 | 65 | 0,82 |
| 300 | 17,32 | 63 | 0,94 |
| 330 | 18,17 | 62 | 1,01 |
| 360 | 18,97 | 61 | 1,07 |
| 390 | 19,75 | 59 | 1,19 |
| 420 | 20,49 | 58 | 1,26 |
| 450 | 21,21 | 57 | 1,32 |
| 480 | 21,91 | 56 | 1,38 |
| 510 | 22,58 | 54 | 1,51 |
| 540 | 23,24 | 53 | 1,57 |
| 570 | 23,87 | 51 | 1,70 |
| 600 | 24,49 | 50 | 1,76 |
| 630 | 25,10 | 49 | 1,82 |
| 660 | 25,69 | 47 | 1,95 |
| 690 | 26,27 | 46 | 2,01 |
| 720 | 26,83 | 44 | 2,14 |
| 750 | 27,39 | 43 | 2,20 |
| 780 | 27,93 | 42 | 2,26 |
| 810 | 28,46 | 40 | 2,39 |
| 840 | 28,98 | 39 | 2,45 |
| 870 | 29,50 | 37 | 2,58 |
| K | 0,00068672 cm/s | | |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

- Repetición 9

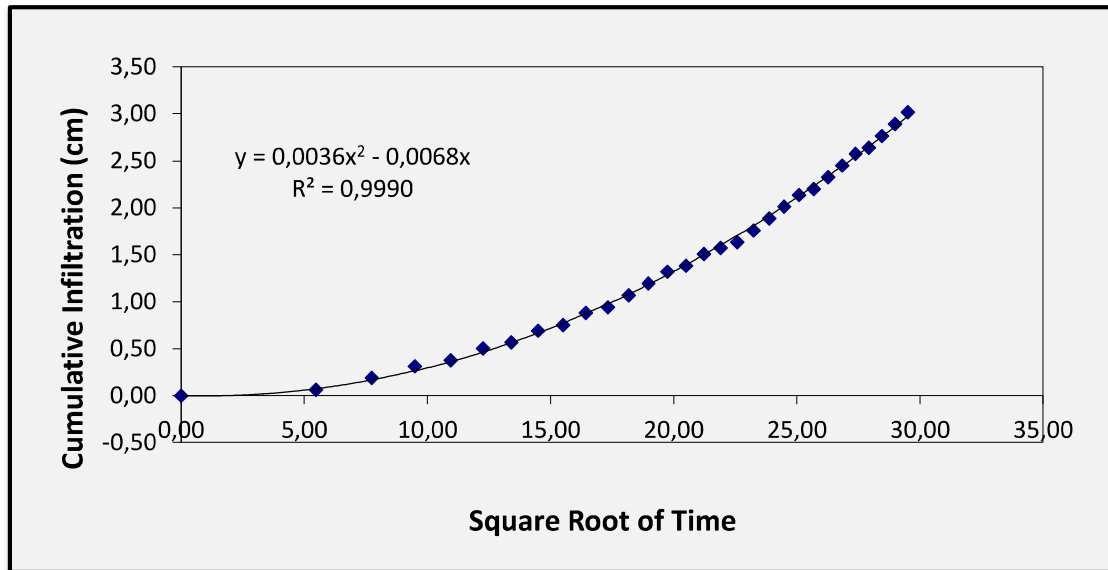


Figura 78. Gráfica de conductividad hidráulica no saturada con infiltrómetro de minidisco. Repetición 9 en zona de pradera.

Tabla 59. Datos de campo (en verde), datos empleados para la gráfica (en blanco) y dato final de Knosat en la zona de pradera para repetición 9.

| Time (s) | sqrt (t) | Volume (mL) | Infilt (cm) |
|----------|----------|-------------|-------------|
| 0 | 0,00 | 79 | 0,00 |
| 30 | 5,48 | 78 | 0,06 |
| 60 | 7,75 | 76 | 0,19 |
| 90 | 9,49 | 74 | 0,31 |
| 120 | 10,95 | 73 | 0,38 |
| 150 | 12,25 | 71 | 0,50 |
| 180 | 13,42 | 70 | 0,57 |
| 210 | 14,49 | 68 | 0,69 |
| 240 | 15,49 | 67 | 0,75 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| | | | |
|----------|------------------------|----|------|
| 270 | 16,43 | 65 | 0,88 |
| 300 | 17,32 | 64 | 0,94 |
| 330 | 18,17 | 62 | 1,07 |
| 360 | 18,97 | 60 | 1,19 |
| 390 | 19,75 | 58 | 1,32 |
| 420 | 20,49 | 57 | 1,38 |
| 450 | 21,21 | 55 | 1,51 |
| 480 | 21,91 | 54 | 1,57 |
| 510 | 22,58 | 53 | 1,63 |
| 540 | 23,24 | 51 | 1,76 |
| 570 | 23,87 | 49 | 1,89 |
| 600 | 24,49 | 47 | 2,01 |
| 630 | 25,10 | 45 | 2,14 |
| 660 | 25,69 | 44 | 2,20 |
| 690 | 26,27 | 42 | 2,33 |
| 720 | 26,83 | 40 | 2,45 |
| 750 | 27,39 | 38 | 2,58 |
| 780 | 27,93 | 37 | 2,64 |
| 810 | 28,46 | 35 | 2,77 |
| 840 | 28,98 | 33 | 2,89 |
| 870 | 29,50 | 31 | 3,02 |
| K | 0,00093695 cm/s | | |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

- Repetición 10

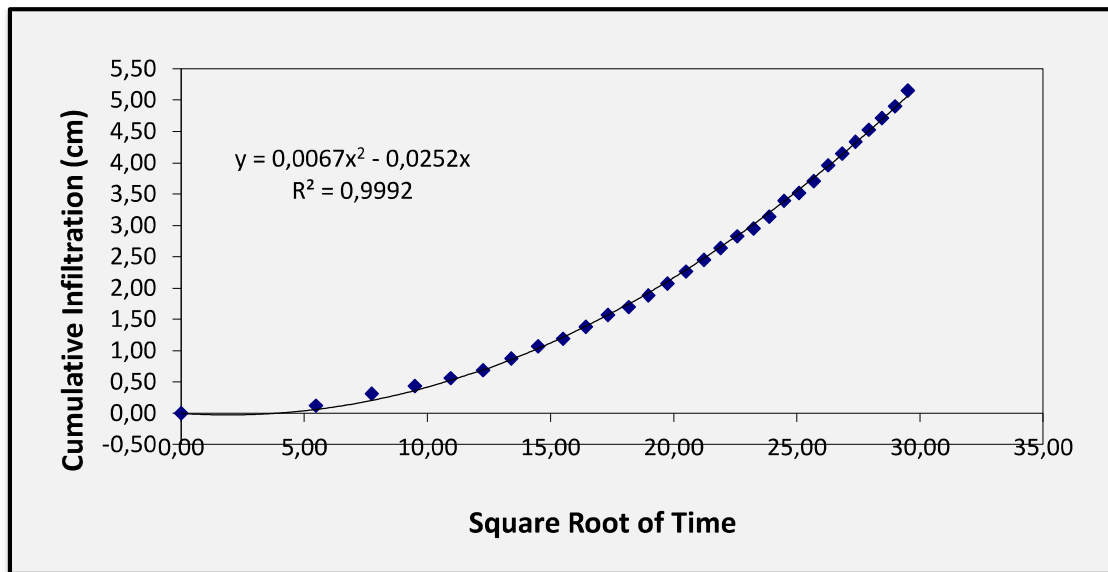


Figura 79. Gráfica de conductividad hidráulica no saturada con infiltrómetro de minidisco. Repetición 10 en zona de pradera.

Tabla 60. Datos de campo (en verde), datos empleados para la gráfica (en blanco) y dato final de Knosat en la zona de pradera para repetición 10.

| Time (s) | sqrt (t) | Volume (mL) | Infilt (cm) |
|----------|----------|-------------|-------------|
| 0 | 0,00 | 83 | 0,00 |
| 30 | 5,48 | 81 | 0,13 |
| 60 | 7,75 | 78 | 0,31 |
| 90 | 9,49 | 76 | 0,44 |
| 120 | 10,95 | 74 | 0,57 |
| 150 | 12,25 | 72 | 0,69 |
| 180 | 13,42 | 69 | 0,88 |
| 210 | 14,49 | 66 | 1,07 |
| 240 | 15,49 | 64 | 1,19 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| | | | |
|----------|-------|------------------------|------|
| 270 | 16,43 | 61 | 1,38 |
| 300 | 17,32 | 58 | 1,57 |
| 330 | 18,17 | 56 | 1,70 |
| 360 | 18,97 | 53 | 1,89 |
| 390 | 19,75 | 50 | 2,07 |
| 420 | 20,49 | 47 | 2,26 |
| 450 | 21,21 | 44 | 2,45 |
| 480 | 21,91 | 41 | 2,64 |
| 510 | 22,58 | 38 | 2,83 |
| 540 | 23,24 | 36 | 2,96 |
| 570 | 23,87 | 33 | 3,14 |
| 600 | 24,49 | 29 | 3,40 |
| 630 | 25,10 | 27 | 3,52 |
| 660 | 25,69 | 24 | 3,71 |
| 690 | 26,27 | 20 | 3,96 |
| 720 | 26,83 | 17 | 4,15 |
| 750 | 27,39 | 14 | 4,34 |
| 780 | 27,93 | 11 | 4,53 |
| 810 | 28,46 | 8 | 4,72 |
| 840 | 28,98 | 5 | 4,90 |
| 870 | 29,50 | 1 | 5,16 |
| K | | 0,00171751 cm/s | |

- Repetición 11

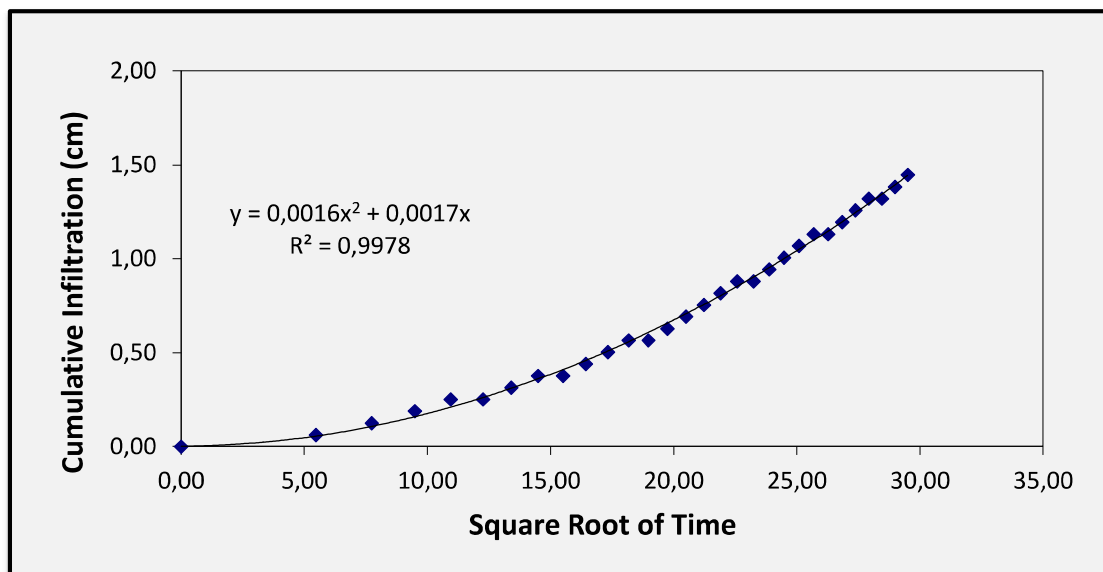


Figura 80. Gráfica de conductividad hidráulica no saturada con infiltrómetro de minidisco. Repetición 11 en zona de pradera.

Tabla 61. Datos de campo (en verde), datos empleados para la gráfica (en blanco) y dato final de Knosat en la zona de pradera para repetición 10.

| Time (s) | sqrt (t) | Volume (mL) | Infilt (cm) |
|----------|----------|-------------|-------------|
| 0 | 0,00 | 80 | 0,00 |
| 30 | 5,48 | 79 | 0,06 |
| 60 | 7,75 | 78 | 0,13 |
| 90 | 9,49 | 77 | 0,19 |
| 120 | 10,95 | 76 | 0,25 |
| 150 | 12,25 | 76 | 0,25 |
| 180 | 13,42 | 75 | 0,31 |
| 210 | 14,49 | 74 | 0,38 |
| 240 | 15,49 | 74 | 0,38 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| | | | |
|----------|-------|------------------------|------|
| 270 | 16,43 | 73 | 0,44 |
| 300 | 17,32 | 72 | 0,50 |
| 330 | 18,17 | 71 | 0,57 |
| 360 | 18,97 | 71 | 0,57 |
| 390 | 19,75 | 70 | 0,63 |
| 420 | 20,49 | 69 | 0,69 |
| 450 | 21,21 | 68 | 0,75 |
| 480 | 21,91 | 67 | 0,82 |
| 510 | 22,58 | 66 | 0,88 |
| 540 | 23,24 | 66 | 0,88 |
| 570 | 23,87 | 65 | 0,94 |
| 600 | 24,49 | 64 | 1,01 |
| 630 | 25,10 | 63 | 1,07 |
| 660 | 25,69 | 62 | 1,13 |
| 690 | 26,27 | 62 | 1,13 |
| 720 | 26,83 | 61 | 1,19 |
| 750 | 27,39 | 60 | 1,26 |
| 780 | 27,93 | 59 | 1,32 |
| 810 | 28,46 | 59 | 1,32 |
| 840 | 28,98 | 58 | 1,38 |
| 870 | 29,50 | 57 | 1,45 |
| K | | 0,00041169 cm/s | |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

- Repetición 12

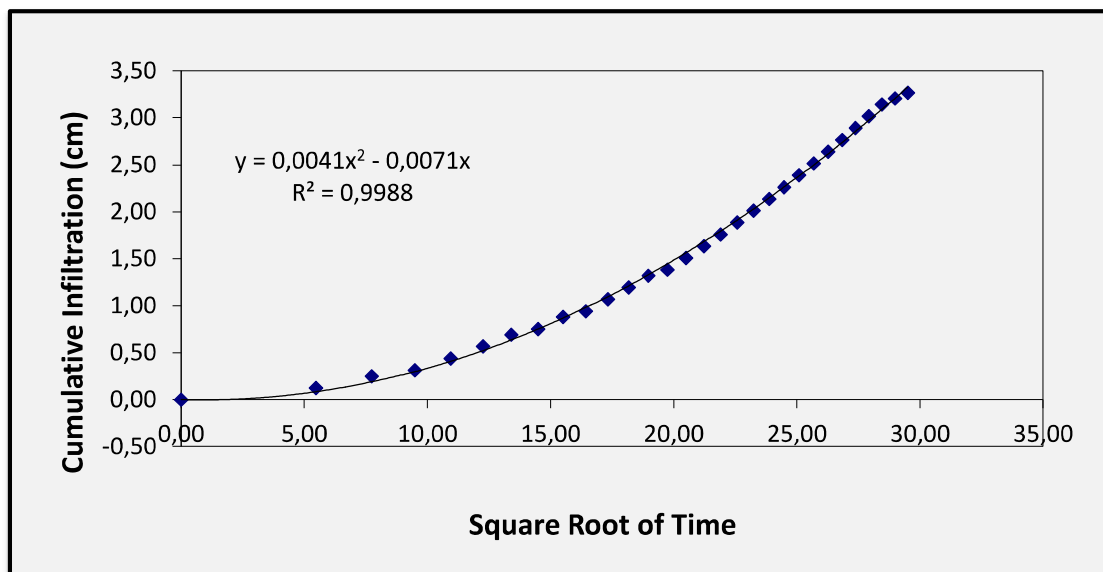


Figura 81. Gráfica de conductividad hidráulica no saturada con infiltrómetro de minidisco. Repetición 12 en zona de pradera.

Tabla 62. Datos de campo (en verde), datos empleados para la gráfica (en blanco) y dato final de Knosat en la zona de pradera para repetición 12.

| Time (s) | sqrt (t) | Volume (mL) | Infilt (cm) |
|----------|----------|-------------|-------------|
| 0 | 0,00 | 81 | 0,00 |
| 30 | 5,48 | 79 | 0,13 |
| 60 | 7,75 | 77 | 0,25 |
| 90 | 9,49 | 76 | 0,31 |
| 120 | 10,95 | 74 | 0,44 |
| 150 | 12,25 | 72 | 0,57 |
| 180 | 13,42 | 70 | 0,69 |
| 210 | 14,49 | 69 | 0,75 |
| 240 | 15,49 | 67 | 0,88 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| | | | |
|----------|-------|------------------------|------|
| 270 | 16,43 | 66 | 0,94 |
| 300 | 17,32 | 64 | 1,07 |
| 330 | 18,17 | 62 | 1,19 |
| 360 | 18,97 | 60 | 1,32 |
| 390 | 19,75 | 59 | 1,38 |
| 420 | 20,49 | 57 | 1,51 |
| 450 | 21,21 | 55 | 1,63 |
| 480 | 21,91 | 53 | 1,76 |
| 510 | 22,58 | 51 | 1,89 |
| 540 | 23,24 | 49 | 2,01 |
| 570 | 23,87 | 47 | 2,14 |
| 600 | 24,49 | 45 | 2,26 |
| 630 | 25,10 | 43 | 2,39 |
| 660 | 25,69 | 41 | 2,52 |
| 690 | 26,27 | 39 | 2,64 |
| 720 | 26,83 | 37 | 2,77 |
| 750 | 27,39 | 35 | 2,89 |
| 780 | 27,93 | 33 | 3,02 |
| 810 | 28,46 | 31 | 3,14 |
| 840 | 28,98 | 30 | 3,21 |
| 870 | 29,50 | 29 | 3,27 |
| K | | 0,00104538 cm/s | |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

2. Datos con infiltrómetro de anillo simple

Estos datos son los obtenidos en campo con el infiltrómetro de anillo simple, cavando una zanja alrededor para reducir el efecto de la infiltración lateral.

Se presentan los datos de la conductividad hidráulica saturada divididos por parcela, 4 repeticiones por cada parcela. En cada una de las repeticiones se recogen datos de humedad del suelo en las orillas de la zanja antes citada antes y después del experimento. También dentro del cilindro tras el experimento, para conocer la humedad a saturación del suelo.

Con los datos tomados de infiltración se obtienen varias curvas, que aparecen también en este anejo. Son la curva de infiltración en cada momento, la curva de infiltración desde el inicio y la altura infiltrada a lo largo de cada experiencia.

2.1. Infiltrómetro de anillo simple en Bosque Mixto (RF)

- Repetición 1
- Datos de humedad

Tabla 63. Datos de temperatura y humedad antes, después y dentro de la repetición 1 del Bosque Mixto.

| ANTES T= 17,6 °C | | | DESPUÉS T= 18,1 °C | | |
|---------------------|------|-----------|-----------------------|------|-----------|
| Humedad a 10 cm | | | Humedad a 10 cm | | |
| Punto muestra | K | % humedad | Punto muestra | K | % humedad |
| 1 | 8,30 | 12,09 | 1 | 8,04 | 15,19 |
| | 7,69 | 11,68 | | 8,73 | 16,03 |
| 2 | 5,05 | 8,72 | 2 | 6,18 | 10,92 |
| | 4,74 | 8,12 | | 5,62 | 10,06 |
| 3 | 5,56 | 9,63 | 3 | 6,79 | 12,11 |
| | 5,59 | 9,87 | | 6,28 | 11,4 |
| 4 | 7,42 | 13,74 | 4 | 9,09 | 17,06 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| | | | | | |
|------------------------|-------|------------------------|------------------------|-------|-----------|
| | 7,32 | 13,56 | | 9,19 | 17,21 |
| Humedad a 20 cm | | | Humedad a 20 cm | | |
| Punto muestra | K | % humedad | Punto muestra | K | % humedad |
| 1 | 8,59 | 16,13 | 1 | 11,78 | 22,09 |
| | 9,08 | 17,04 | | 11,98 | 22,46 |
| 2 | 7,62 | 14,21 | 2 | 8,6 | 16,12 |
| | 8,25 | 14,67 | | 8,6 | 16,12 |
| 3 | 7,47 | 13,82 | 3 | 8,30 | 15,4 |
| | 7,17 | 13,29 | | 8,41 | 15,63 |
| 4 | 10,48 | 19,57 | 4 | 13,14 | 24,31 |
| | 10,28 | 19,33 | | 12,98 | 23,97 |
| DENTRO | | Humedad a 10 cm | | | |
| Punto muestra | K | % humedad | | | |
| 1 | 23,18 | 37,31 | | | |
| | 23,29 | 37,12 | | | |
| | | Humedad a 20 cm | | | |
| | K | % humedad | | | |
| 1 | 22,84 | 36,83 | | | |
| | 22,56 | 36,29 | | | |

- Datos de infiltración

Tabla 64. Datos de tiempo, altura infiltrada en cada intervalo medido y datos de tasa de infiltración en mm/m de la repetición 1 en Bosque Mixto. h_i = altura infiltrada en cada intervalo; h_0 = altura infiltrada desde el inicio; K_{sat_i} = Conductividad hidráulica en cada intervalo; K_{sat_0} = Conductividad hidráulica desde el inicio.

| Tiempo (s) | Tiempo (min) | | Altura infiltrada (mm) | | Tasa de infiltración (mm/h) | |
|------------|--------------|-----------|------------------------|-------|-----------------------------|-------------|
| | Parcial | Acumulado | h_i | h_0 | K_{sat_i} | K_{sat_0} |
| 33 | 0,55 | 0,6 | 150 | 150 | 16363,64 | 16363,64 |
| 43 | 0,72 | 1,3 | 150 | 300 | 12558,14 | 14210,53 |
| 50 | 0,83 | 2,1 | 150 | 450 | 10800,00 | 12857,14 |
| 53 | 0,88 | 3,0 | 150 | 600 | 10188,68 | 12067,04 |
| 54 | 0,90 | 3,9 | 150 | 750 | 10000,00 | 11587,98 |
| 56 | 0,93 | 4,8 | 150 | 900 | 9642,86 | 11211,07 |
| 60 | 1,00 | 5,8 | 150 | 1050 | 9000,00 | 10830,95 |
| 60 | 1,00 | 6,8 | 150 | 1200 | 9000,00 | 10562,35 |
| 64 | 1,07 | 7,9 | 150 | 1350 | 8437,50 | 10274,84 |
| 75 | 1,25 | 9,1 | 150 | 1500 | 7200,00 | 9854,01 |
| 86 | 1,43 | 10,6 | 150 | 1650 | 6279,07 | 9369,09 |
| 88 | 1,47 | 12,0 | 150 | 1800 | 6136,36 | 8975,07 |
| 90 | 1,50 | 13,5 | 150 | 1950 | 6000,00 | 8645,32 |
| 97 | 1,62 | 15,2 | 150 | 2100 | 5567,01 | 8316,83 |
| 105 | 1,75 | 16,9 | 150 | 2250 | 5142,86 | 7988,17 |
| 107 | 1,78 | 18,7 | 150 | 2400 | 5046,73 | 7707,40 |
| 112 | 1,87 | 20,6 | 150 | 2550 | 4821,43 | 7445,26 |
| 113 | 1,88 | 22,4 | 150 | 2700 | 4778,76 | 7221,40 |
| 116 | 1,93 | 24,4 | 150 | 2850 | 4655,17 | 7017,78 |
| 124 | 2,07 | 26,4 | 150 | 3000 | 4354,84 | 6809,58 |
| 135 | 2,25 | 28,7 | 150 | 3150 | 4000,00 | 6589,19 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| | | | | | | |
|-----|------|------|-----|------|---------|---------|
| 142 | 2,37 | 31,1 | 150 | 3300 | 3802,82 | 6376,81 |
| 147 | 2,45 | 33,5 | 150 | 3450 | 3673,47 | 6179,10 |
| 165 | 2,75 | 36,3 | 150 | 3600 | 3272,73 | 5958,62 |
| 177 | 2,95 | 39,2 | 150 | 3750 | 3050,85 | 5739,80 |
| 190 | 3,17 | 42,4 | 150 | 3900 | 2842,11 | 5523,21 |
| 195 | 3,25 | 45,6 | 150 | 4050 | 2769,23 | 5327,00 |
| 203 | 3,38 | 49,0 | 150 | 4200 | 2660,10 | 5142,86 |
| 220 | 3,67 | 52,7 | 150 | 4350 | 2454,55 | 4955,70 |
| 226 | 3,77 | 56,4 | 150 | 4500 | 2389,38 | 4784,41 |
| 230 | 3,83 | 60,3 | 150 | 4650 | 2347,83 | 4629,42 |
| 231 | 3,85 | 64,1 | 150 | 4800 | 2337,66 | 4491,81 |
| 233 | 3,88 | 68,0 | 150 | 4950 | 2317,60 | 4367,65 |
| 234 | 3,90 | 71,9 | 150 | 5100 | 2307,69 | 4255,91 |
| 233 | 3,88 | 75,8 | 150 | 5250 | 2317,60 | 4156,59 |
| 232 | 3,87 | 79,7 | 150 | 5400 | 2327,59 | 4067,80 |

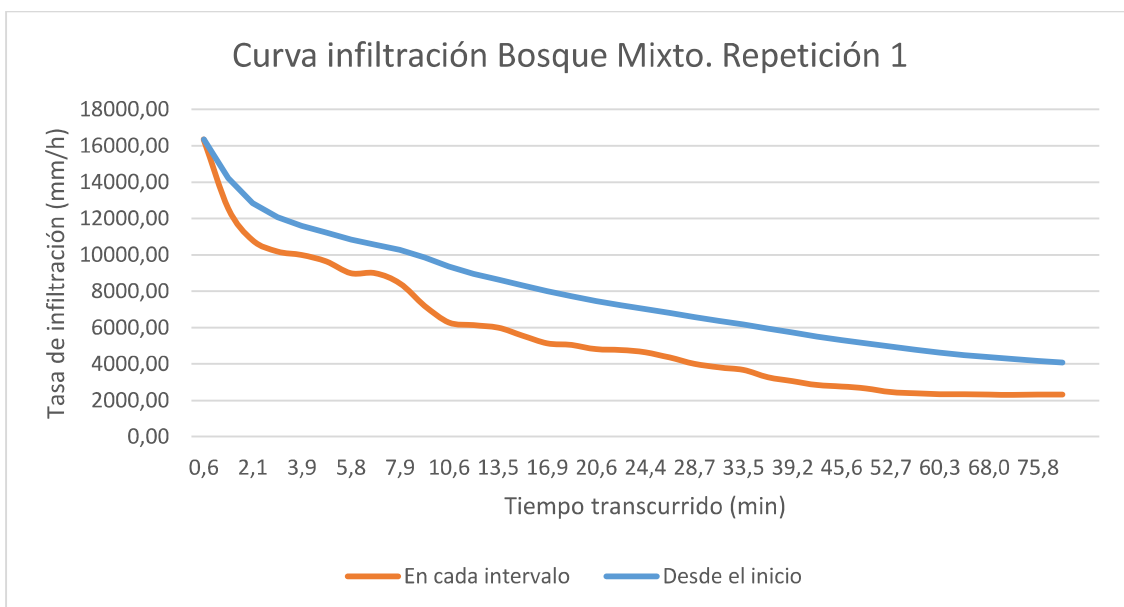


Figura 82. Gráfica de infiltración en cada intervalo y desde el inicio para el Bosque Mixto. Repetición 1

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

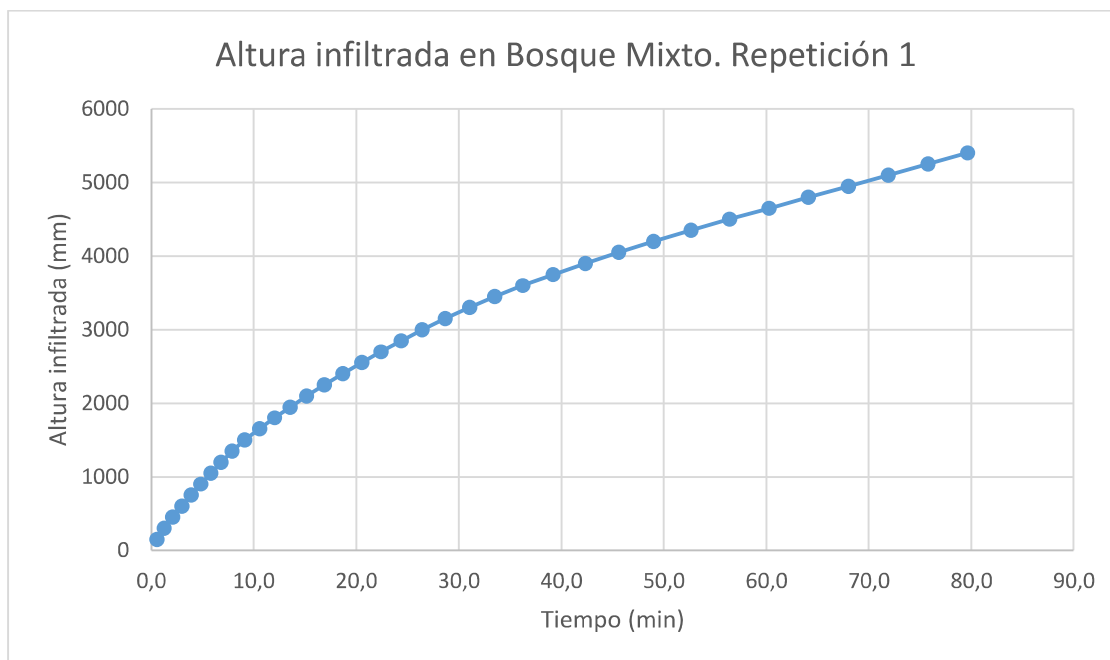


Figura 83. Columna de agua infiltrada en el suelo a lo largo del experimento 1 del Bosque Mixto.

- Repetición 2

Tabla 65. Datos de temperatura y humedad antes, después y dentro de la repetición 2 del Bosque Mixto.

| ANTES | | | DESPUÉS | | |
|-----------------|------|-----------|-----------------|------|-----------|
| T= 16,2 °C | | | T= 16,3 °C | | |
| Humedad a 10 cm | | | Humedad a 10 cm | | |
| Punto muestra | K | % humedad | Punto muestra | K | % humedad |
| 1 | 6,42 | 11,28 | 1 | 7,12 | 12,85 |
| | 6,19 | 10,77 | | 7,22 | 13,07 |
| 2 | 5,53 | 9,23 | 2 | 7,21 | 13,06 |
| | 5,65 | 9,52 | | 7,21 | 13,05 |
| 3 | 8,51 | 15,84 | 3 | 7,72 | 14,16 |
| | 8,7 | 16,23 | | 7,76 | 14,25 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| | | | | | |
|------------------------|------------------------|-----------|------------------------|-------|-----------|
| 4 | 7,46 | 13,48 | 4 | 8,97 | 16,77 |
| | 7,24 | 13,13 | | 8,99 | 16,81 |
| Humedad a 20 cm | | | Humedad a 20 cm | | |
| Punto muestra | K | % humedad | Punto muestra | K | % humedad |
| 1 | 7,88 | 14,5 | 1 | 10,15 | 19,13 |
| | 7,81 | 14,37 | | 10,14 | 19,1 |
| 2 | 9,93 | 18,68 | 2 | 11,32 | 21,32 |
| | 9,8 | 18,44 | | 11,36 | 21,4 |
| 3 | 7,12 | 12,85 | 3 | 9,37 | 17,59 |
| | 7,2 | 13,04 | | 9,57 | 17,98 |
| 4 | 8,43 | 15,66 | 4 | 10,62 | 20,02 |
| | 8,47 | 15,74 | | 10,68 | 20,13 |
| DENTRO | Humedad a 10 cm | | | | |
| | K | % humedad | | | |
| 1 | 18,77 | 32,98 | | | |
| | 19,31 | 33,67 | | | |
| Humedad a 20 cm | | | | | |
| | K | % humedad | | | |
| 1 | 22,35 | 37,29 | | | |
| | 22,47 | 37,42 | | | |

Tabla 66. Datos de tiempo, altura infiltrada en cada intervalo medido y datos de tasa de infiltración en mm/m de la repetición 2 en Bosque Mixto. h_i = altura infiltrada en cada intervalo; h_0 = altura infiltrada desde el inicio; K_{sat_i} = Conductividad hidráulica en cada intervalo; K_{sat_0} = Conductividad hidráulica desde el inicio.

| Tiempo (s) | Tiempo (min) | | Altura infiltrada (mm) | | Tasa de infiltración (mm/h) | |
|------------|--------------|-----------|------------------------|------------|-----------------------------|-----------|
| | Parcial | Acumulado | h_i | Tiempo (s) | Parcial | Acumulado |
| 29 | 0,48 | 0,5 | 40 | 40 | 4965,52 | 4965,52 |
| 33 | 0,55 | 1,0 | 40 | 80 | 4363,64 | 4645,16 |
| 32 | 0,53 | 1,6 | 40 | 120 | 4500,00 | 4595,74 |
| 37 | 0,62 | 2,2 | 40 | 160 | 3891,89 | 4396,95 |
| 34 | 0,57 | 2,8 | 40 | 200 | 4235,29 | 4363,64 |
| 33 | 0,55 | 3,3 | 40 | 240 | 4363,64 | 4363,64 |
| 36 | 0,60 | 3,9 | 40 | 280 | 4000,00 | 4307,69 |
| 38 | 0,63 | 4,5 | 40 | 320 | 3789,47 | 4235,29 |
| 35 | 0,58 | 5,1 | 40 | 360 | 4114,29 | 4221,50 |
| 38 | 0,63 | 5,8 | 40 | 400 | 3789,47 | 4173,91 |
| 37 | 0,62 | 6,4 | 40 | 440 | 3891,89 | 4146,60 |
| 41 | 0,68 | 7,1 | 40 | 480 | 3512,20 | 4085,11 |
| 42 | 0,70 | 7,8 | 40 | 520 | 3428,57 | 4025,81 |
| 39 | 0,65 | 8,4 | 40 | 560 | 3692,31 | 4000,00 |
| 41 | 0,68 | 9,1 | 40 | 600 | 3512,20 | 3963,30 |
| 42 | 0,70 | 9,8 | 40 | 640 | 3428,57 | 3925,04 |
| 45 | 0,75 | 10,5 | 40 | 680 | 3200,00 | 3873,42 |
| 47 | 0,78 | 11,3 | 40 | 720 | 3063,83 | 3817,38 |
| 46 | 0,77 | 12,1 | 40 | 760 | 3130,43 | 3773,79 |
| 43 | 0,72 | 12,8 | 40 | 800 | 3348,84 | 3750,00 |
| 44 | 0,73 | 13,5 | 40 | 840 | 3272,73 | 3724,14 |
| 44 | 0,73 | 14,3 | 40 | 880 | 3272,73 | 3700,93 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| | | | | | | |
|----|------|------|----|------|---------|---------|
| 45 | 0,75 | 15,0 | 40 | 920 | 3200,00 | 3675,92 |
| 43 | 0,72 | 15,7 | 40 | 960 | 3348,84 | 3661,02 |
| 46 | 0,77 | 16,5 | 40 | 1000 | 3130,43 | 3636,36 |
| 45 | 0,75 | 17,3 | 40 | 1040 | 3200,00 | 3617,39 |
| 48 | 0,80 | 18,1 | 40 | 1080 | 3000,00 | 3590,03 |
| 49 | 0,82 | 18,9 | 40 | 1120 | 2938,78 | 3561,84 |
| 51 | 0,85 | 19,7 | 40 | 1160 | 2823,53 | 3530,01 |
| 52 | 0,87 | 20,6 | 40 | 1200 | 2769,23 | 3497,98 |
| 52 | 0,87 | 21,5 | 40 | 1240 | 2769,23 | 3468,53 |
| 53 | 0,88 | 22,3 | 40 | 1280 | 2716,98 | 3438,81 |
| 52 | 0,87 | 23,2 | 40 | 1320 | 2769,23 | 3413,79 |
| 53 | 0,88 | 24,1 | 40 | 1360 | 2716,98 | 3388,24 |
| 54 | 0,90 | 25,0 | 40 | 1400 | 2666,67 | 3362,24 |
| 54 | 0,90 | 25,9 | 40 | 1440 | 2666,67 | 3338,06 |
| 54 | 0,90 | 26,8 | 40 | 1480 | 2666,67 | 3315,49 |
| 56 | 0,93 | 27,7 | 40 | 1520 | 2571,43 | 3290,44 |
| 56 | 0,93 | 28,7 | 40 | 1560 | 2571,43 | 3267,02 |
| 61 | 1,02 | 29,7 | 40 | 1600 | 2360,66 | 3235,96 |
| 58 | 0,97 | 30,6 | 40 | 1640 | 2482,76 | 3212,19 |
| 60 | 1,00 | 31,6 | 40 | 1680 | 2400,00 | 3186,51 |
| 59 | 0,98 | 32,6 | 40 | 1720 | 2440,68 | 3164,03 |
| 62 | 1,03 | 33,7 | 40 | 1760 | 2322,58 | 3138,19 |
| 62 | 1,03 | 34,7 | 40 | 1800 | 2322,58 | 3113,89 |
| 61 | 1,02 | 35,7 | 40 | 1840 | 2360,66 | 3092,44 |
| 64 | 1,07 | 36,8 | 40 | 1880 | 2250,00 | 3068,00 |
| 65 | 1,08 | 37,9 | 40 | 1920 | 2215,38 | 3043,59 |
| 64 | 1,07 | 38,9 | 40 | 1960 | 2250,00 | 3021,84 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| | | | | | | |
|-----|------|-------|----|------|---------|---------|
| 67 | 1,12 | 40,0 | 40 | 2000 | 2149,25 | 2997,50 |
| 69 | 1,15 | 41,2 | 40 | 2040 | 2086,96 | 2972,08 |
| 69 | 1,15 | 42,3 | 40 | 2080 | 2086,96 | 2948,03 |
| 74 | 1,23 | 43,6 | 40 | 2120 | 1945,95 | 2919,66 |
| 74 | 1,23 | 44,8 | 40 | 2160 | 1945,95 | 2892,86 |
| 76 | 1,27 | 46,1 | 40 | 2200 | 1894,74 | 2865,41 |
| 78 | 1,30 | 47,4 | 40 | 2240 | 1846,15 | 2837,44 |
| 80 | 1,33 | 48,7 | 40 | 2280 | 1800,00 | 2809,03 |
| 170 | 2,83 | 51,5 | 80 | 2360 | 1694,12 | 2747,74 |
| 168 | 2,80 | 54,3 | 80 | 2440 | 1714,29 | 2694,48 |
| 178 | 2,97 | 57,3 | 80 | 2520 | 1617,98 | 2638,74 |
| 188 | 3,13 | 60,4 | 80 | 2600 | 1531,91 | 2581,36 |
| 193 | 3,22 | 63,7 | 80 | 2680 | 1492,23 | 2526,32 |
| 193 | 3,22 | 66,9 | 80 | 2760 | 1492,23 | 2476,57 |
| 200 | 3,33 | 70,2 | 80 | 2840 | 1440,00 | 2427,35 |
| 207 | 3,45 | 73,7 | 80 | 2920 | 1391,30 | 2378,82 |
| 213 | 3,55 | 77,2 | 80 | 3000 | 1352,11 | 2331,61 |
| 218 | 3,63 | 80,8 | 80 | 3080 | 1321,10 | 2286,19 |
| 218 | 3,63 | 84,5 | 80 | 3160 | 1321,10 | 2244,67 |
| 220 | 3,67 | 88,1 | 80 | 3240 | 1309,09 | 2205,75 |
| 229 | 3,82 | 92,0 | 80 | 3320 | 1257,64 | 2166,39 |
| 226 | 3,77 | 95,7 | 80 | 3400 | 1274,34 | 2131,29 |
| 233 | 3,88 | 99,6 | 80 | 3480 | 1236,05 | 2096,39 |
| 228 | 3,80 | 103,4 | 80 | 3560 | 1263,16 | 2065,76 |
| 229 | 3,82 | 107,2 | 80 | 3640 | 1257,64 | 2037,00 |
| 231 | 3,85 | 111,1 | 80 | 3720 | 1246,75 | 2009,60 |
| 227 | 3,78 | 114,9 | 80 | 3800 | 1268,72 | 1985,20 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

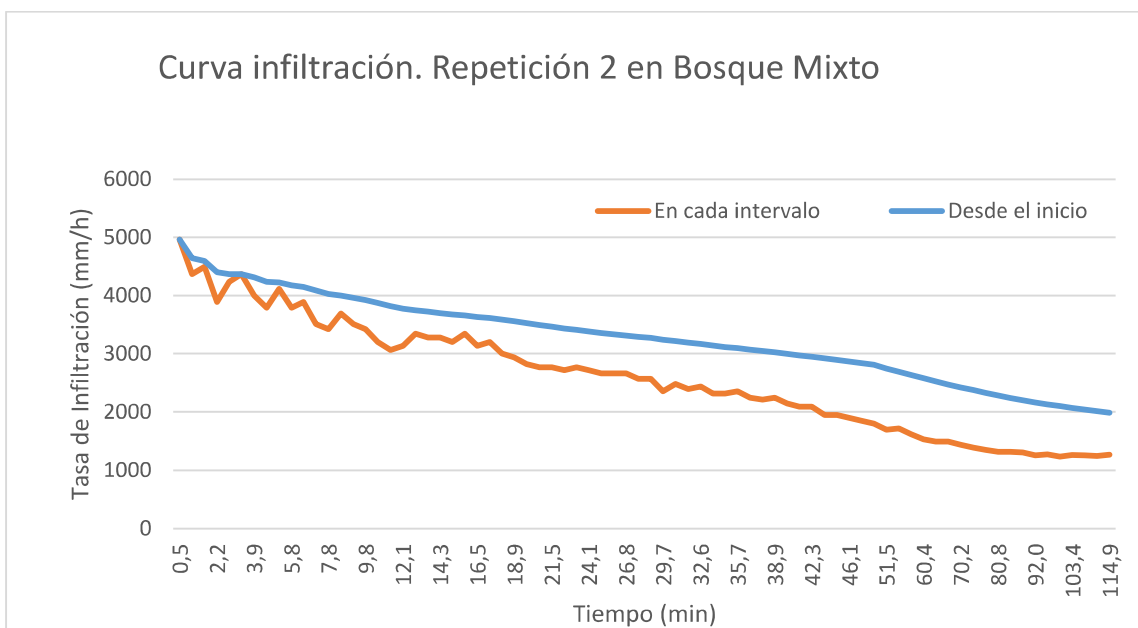


Figura 84. Gráfica de infiltración en cada intervalo y desde el inicio para el Bosque Mixto. Repetición 2.

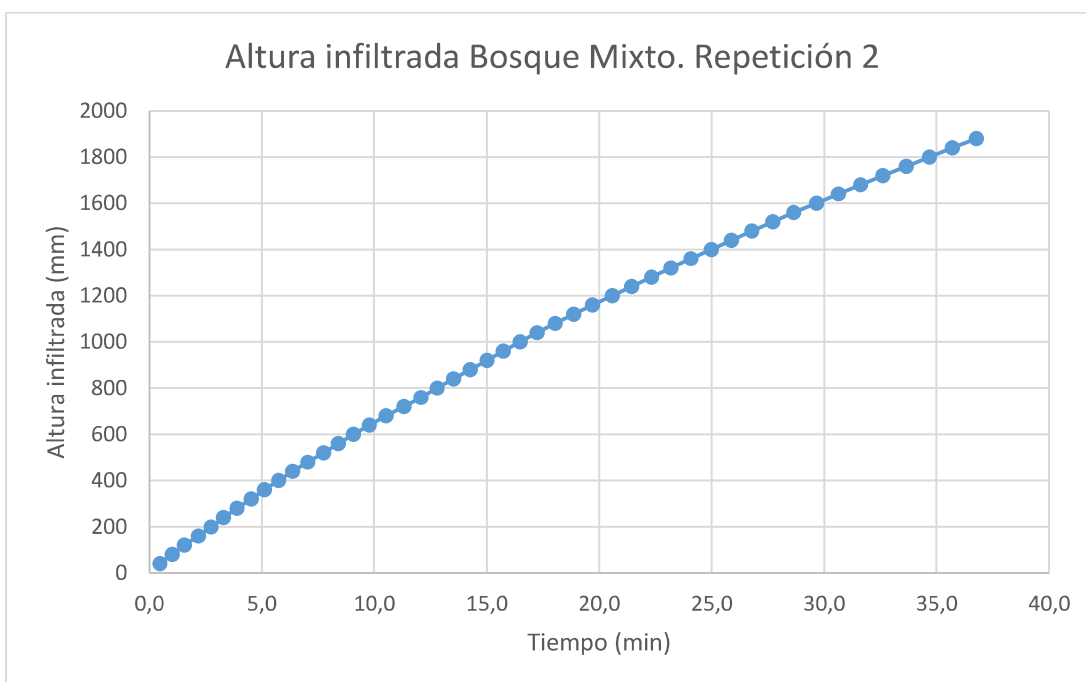


Figura 85. Columna de agua infiltrada en el suelo a lo largo del experimento 2 del Bosque Mixto

- Repetición 3

Tabla 67. Datos de temperatura y humedad antes, después y dentro de la repetición 3 del Bosque Mixto.

| ANTES | | | DESPUÉS | | |
|-----------------|-----------------|-----------|-----------------|-------|-----------|
| T= 16,4 °C | | | T= 16,4 °C | | |
| Humedad a 10 cm | | | Humedad a 10 cm | | |
| Punto muestra | K | % humedad | Punto muestra | K | % humedad |
| 1 | 7,75 | 14,22 | 1 | 7,67 | 14,49 |
| | 7,54 | 13,77 | | 7,78 | 14,29 |
| 2 | 6,04 | 10,43 | 2 | 6,53 | 11,53 |
| | 5,91 | 10,13 | | 6,82 | 12,2 |
| 3 | 6,11 | 10,58 | 3 | 6,71 | 11,96 |
| | 6,12 | 10,62 | | 6,74 | 12,24 |
| 4 | 8,24 | 15,26 | 4 | 9,28 | 17,41 |
| | 8,2 | 15,18 | | 9,09 | 17,03 |
| Humedad a 20 cm | | | Humedad a 20 cm | | |
| Punto muestra | K | % humedad | Punto muestra | K | % humedad |
| 1 | 9,41 | 17,67 | 1 | 12,53 | 23,49 |
| | 9,35 | 17,54 | | 12,59 | 23,61 |
| 2 | 8,66 | 16,15 | 2 | 9,27 | 17,38 |
| | 8,96 | 15,94 | | 9,2 | 17,25 |
| 3 | 8,16 | 15,1 | 3 | 8,36 | 15,51 |
| | 8,23 | 15,25 | | 8,4 | 15,61 |
| 4 | 11,83 | 22,26 | 4 | 14,34 | 26,53 |
| | 12,04 | 22,64 | | 14,53 | 26,84 |
| DENTRO | Humedad a 10 cm | | | | |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| | | |
|------------------------|-------|--------------|
| | K | % humedad |
| 1 | 24,68 | 39,73 |
| | 25,32 | 40,36 |
| Humedad a 20 cm | | |
| | K | % humedad |
| 1 | 24,56 | 39,61 |
| | 24,74 | 39,79 |

Tabla 68. Datos de tiempo, altura infiltrada en cada intervalo medido y datos de tasa de infiltración en mm/m de la repetición 3 en Bosque Mixto. h_i = altura infiltrada en cada intervalo; h_0 = altura infiltrada desde el inicio; K_{sati} = Conductividad hidráulica en cada intervalo; K_{sato} = Conductividad hidráulica desde el inicio.

| Tiempo (s) | Tiempo (min) | | Altura infiltrada (mm) | | Tasa de infiltración (mm/h) | |
|------------|--------------|-----------|------------------------|------------|-----------------------------|-----------|
| | Parcial | Acumulado | h_i | Tiempo (s) | Parcial | Acumulado |
| 80 | 1,33 | 1,3 | 40 | 40 | 1800,000 | 1800,000 |
| 71 | 1,18 | 2,5 | 40 | 80 | 2028,169 | 1907,285 |
| 99 | 1,65 | 4,2 | 40 | 120 | 1454,545 | 1728,000 |
| 122 | 2,03 | 6,2 | 40 | 160 | 1180,328 | 1548,387 |
| 121 | 2,02 | 8,2 | 40 | 200 | 1190,083 | 1460,446 |
| 130 | 2,17 | 10,4 | 40 | 240 | 1107,692 | 1386,838 |
| 132 | 2,20 | 12,6 | 40 | 280 | 1090,909 | 1335,099 |
| 138 | 2,30 | 14,9 | 40 | 320 | 1043,478 | 1290,034 |
| 146 | 2,43 | 17,3 | 40 | 360 | 986,301 | 1247,353 |
| 158 | 2,63 | 20,0 | 40 | 400 | 911,392 | 1203,008 |
| 160 | 2,67 | 22,6 | 40 | 440 | 900,000 | 1167,281 |
| 156 | 2,60 | 25,2 | 40 | 480 | 923,077 | 1142,102 |
| 170 | 2,83 | 28,1 | 40 | 520 | 847,059 | 1112,299 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| | | | | | | |
|-----|------|-------|----|------|---------|----------|
| 183 | 3,05 | 31,1 | 40 | 560 | 786,885 | 1080,386 |
| 170 | 2,83 | 33,9 | 40 | 600 | 847,059 | 1060,904 |
| 169 | 2,82 | 36,8 | 40 | 640 | 852,071 | 1044,898 |
| 175 | 2,92 | 39,7 | 40 | 680 | 822,857 | 1028,571 |
| 177 | 2,95 | 42,6 | 40 | 720 | 813,559 | 1013,688 |
| 186 | 3,10 | 45,7 | 40 | 760 | 774,194 | 997,448 |
| 183 | 3,05 | 48,8 | 40 | 800 | 786,885 | 984,279 |
| 184 | 3,07 | 51,8 | 40 | 840 | 782,609 | 972,347 |
| 186 | 3,10 | 54,9 | 40 | 880 | 774,194 | 961,165 |
| 189 | 3,15 | 58,1 | 40 | 920 | 761,905 | 950,359 |
| 198 | 3,30 | 61,4 | 40 | 960 | 727,273 | 938,365 |
| 190 | 3,17 | 64,6 | 40 | 1000 | 757,895 | 929,512 |
| 203 | 3,38 | 67,9 | 40 | 1040 | 709,360 | 918,548 |
| 193 | 3,22 | 71,2 | 40 | 1080 | 746,114 | 910,752 |
| 197 | 3,28 | 74,4 | 40 | 1120 | 730,964 | 902,821 |
| 203 | 3,38 | 77,8 | 40 | 1160 | 709,360 | 894,410 |
| 209 | 3,48 | 81,3 | 40 | 1200 | 688,995 | 885,609 |
| 213 | 3,55 | 84,9 | 40 | 1240 | 676,056 | 876,841 |
| 219 | 3,65 | 88,5 | 40 | 1280 | 657,534 | 867,797 |
| 226 | 3,77 | 92,3 | 40 | 1320 | 637,168 | 858,382 |
| 219 | 3,65 | 95,9 | 40 | 1360 | 657,534 | 850,738 |
| 222 | 3,70 | 99,6 | 40 | 1400 | 648,649 | 843,232 |
| 224 | 3,73 | 103,4 | 40 | 1440 | 642,857 | 835,994 |
| 226 | 3,77 | 107,1 | 40 | 1480 | 637,168 | 829,003 |
| 220 | 3,67 | 110,8 | 40 | 1520 | 654,545 | 823,229 |
| 229 | 3,82 | 114,6 | 40 | 1560 | 628,821 | 816,754 |
| 232 | 3,87 | 118,5 | 40 | 1600 | 620,690 | 810,355 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| | | | | | | |
|-----|------|-------|----|------|---------|---------|
| 243 | 4,05 | 122,5 | 40 | 1640 | 592,593 | 803,156 |
| 245 | 4,08 | 126,6 | 40 | 1680 | 587,755 | 796,209 |
| 246 | 4,10 | 130,7 | 40 | 1720 | 585,366 | 789,594 |
| 246 | 4,10 | 134,8 | 40 | 1760 | 585,366 | 783,383 |
| 248 | 4,13 | 138,9 | 40 | 1800 | 580,645 | 777,351 |
| 252 | 4,20 | 143,1 | 40 | 1840 | 571,429 | 771,309 |
| 247 | 4,12 | 147,3 | 40 | 1880 | 582,996 | 766,044 |

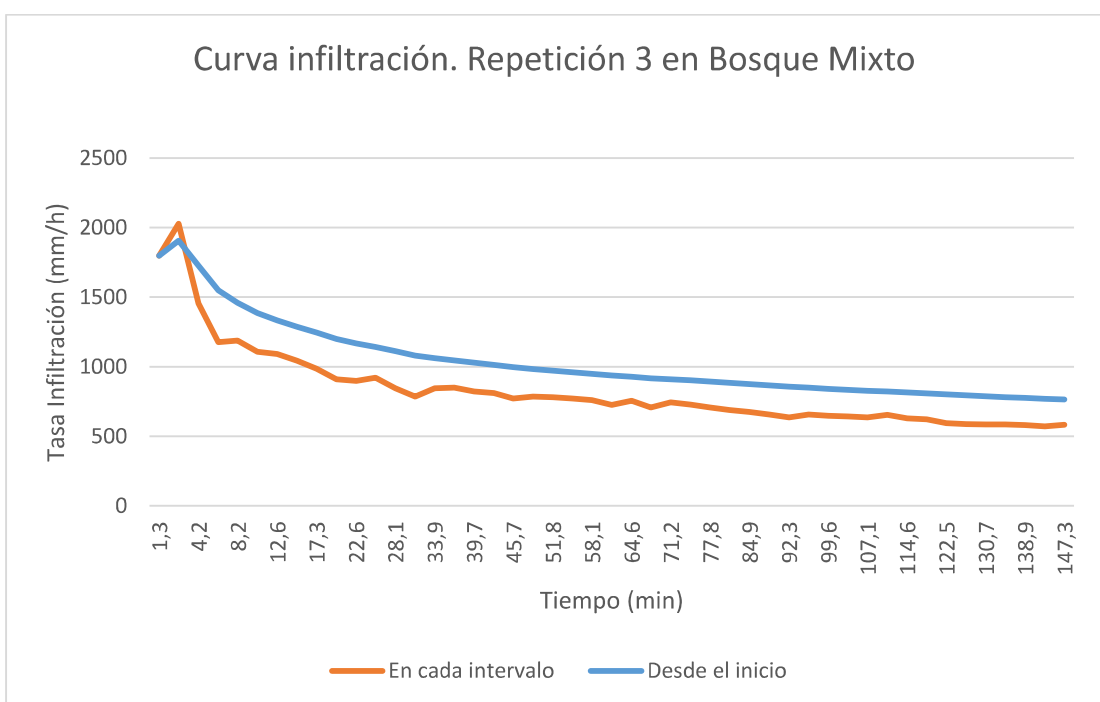


Figura 86. Gráfica de infiltración en cada intervalo y desde el inicio para el Bosque Mixto. Repetición 3.

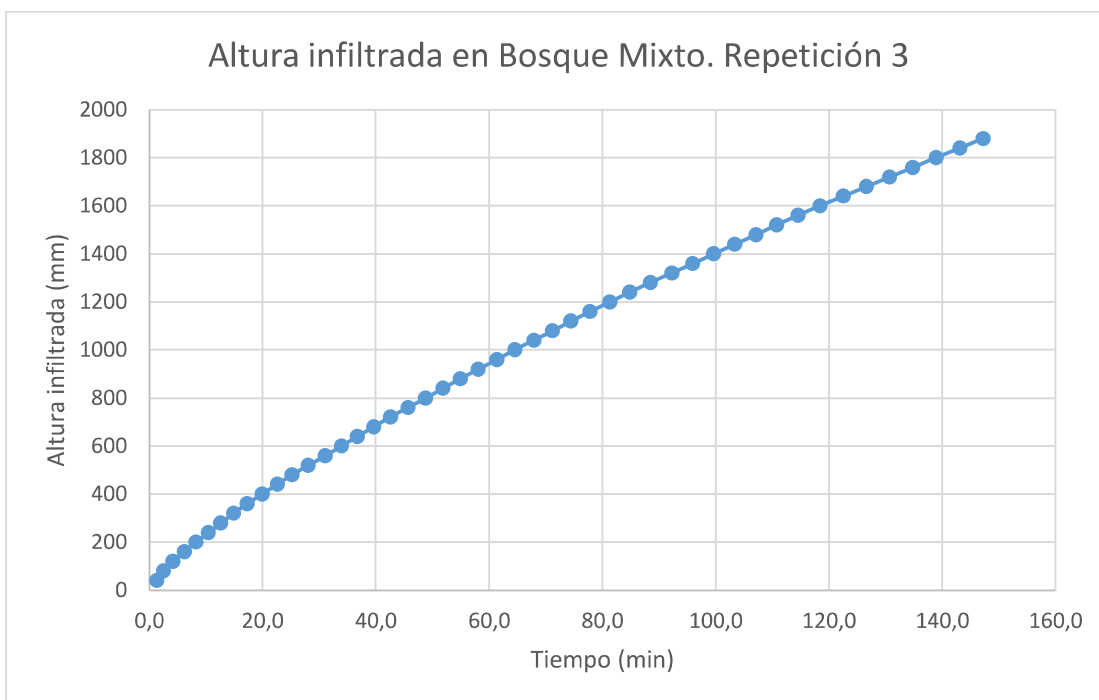


Figura 87. Columna de agua infiltrada en el suelo a lo largo del experimento 3 del Bosque Mixto.

- Repetición 4

Tabla 69. Datos de temperatura y humedad antes, después y dentro de la repetición 4 del Bosque Mixto.

| ANTES | | | DESPUÉS | | |
|-----------------|------|-----------|-----------------|-------|-----------|
| T= 16,4°C | | | T= 16,4°C | | |
| Humedad a 10 cm | | | Humedad a 10 cm | | |
| Punto muestra | K | % humedad | Punto muestra | K | % humedad |
| 1 | 5,95 | 10,21 | 1 | 13,53 | 25,03 |
| | 6 | 10,33 | | 13,46 | 25,08 |
| 2 | 6,5 | 11,48 | 2 | 9,89 | 18,62 |
| | 6,58 | 11,65 | | 9,35 | 18,36 |
| 3 | 5,51 | 9,2 | 3 | 6,58 | 11,66 |
| | 5,71 | 9,76 | | 6,54 | 11,57 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| | | | | | |
|------------------------|------------------------|-----------|------------------------|-------|-----------|
| 4 | 7,57 | 13,83 | 4 | 10,24 | 19,3 |
| | 7,48 | 13,65 | | 10,51 | 19,81 |
| Humedad a 20 cm | | | Humedad a 20 cm | | |
| Punto muestra | K | % humedad | Punto muestra | K | % humedad |
| 1 | 8,16 | 15,1 | 1 | 14,18 | 26,27 |
| | 8,11 | 14,99 | | 14,16 | 26,25 |
| 2 | 7,8 | 14,83 | 2 | 8,68 | 16,17 |
| | 7,82 | 14,37 | | 8,69 | 16,2 |
| 3 | 7,2 | 13,02 | 3 | 7,47 | 13,62 |
| | 7,33 | 13,32 | | 7,45 | 13,57 |
| 4 | 7,63 | 13,96 | 4 | 13,19 | 24,63 |
| | 7,61 | 13,93 | | 13,29 | 24,81 |
| DENTRO | Humedad a 10 cm | | | | |
| | K | % humedad | | | |
| 1 | 21,12 | 35,89 | | | |
| | 21,17 | 35,95 | | | |
| | Humedad a 20 cm | | | | |
| | K | % humedad | | | |
| 1 | 20,72 | 35,65 | | | |
| | 21 | 35,75 | | | |

Tabla 70. Datos de tiempo, altura infiltrada en cada intervalo medido y datos de tasa de infiltración en mm/m de la repetición 4 en Bosque Mixto. h_i = altura infiltrada en cada intervalo; h_0 = altura infiltrada desde el inicio; K_{sati} = Conductividad hidráulica en cada intervalo; K_{sat_0} = Conductividad hidráulica desde el inicio.

| Tiempo (s) | Tiempo (min) | | Altura infiltrada (mm) | | Tasa de infiltración (mm/h) | |
|------------|--------------|-----------|------------------------|------------|-----------------------------|-----------|
| | Parcial | Acumulado | h_i | Tiempo (s) | Parcial | Acumulado |
| 155 | 2,58 | 2,6 | 40 | 40 | 929,032 | 929,032 |
| 152 | 2,53 | 5,1 | 40 | 80 | 947,368 | 938,111 |
| 153 | 2,55 | 7,7 | 40 | 120 | 941,176 | 939,130 |
| 160 | 2,67 | 10,3 | 40 | 160 | 900,000 | 929,032 |
| 156 | 2,60 | 12,9 | 40 | 200 | 923,077 | 927,835 |
| 165 | 2,75 | 15,7 | 40 | 240 | 872,727 | 918,172 |
| 160 | 2,67 | 18,4 | 40 | 280 | 900,000 | 915,531 |
| 168 | 2,80 | 21,2 | 40 | 320 | 857,143 | 907,801 |
| 169 | 2,82 | 24,0 | 40 | 360 | 852,071 | 901,252 |
| 169 | 2,82 | 26,8 | 40 | 400 | 852,071 | 896,080 |
| 172 | 2,87 | 29,7 | 40 | 440 | 837,209 | 890,388 |
| 177 | 2,95 | 32,6 | 40 | 480 | 813,559 | 883,436 |
| 184 | 3,07 | 35,7 | 40 | 520 | 782,609 | 874,766 |
| 184 | 3,07 | 38,7 | 40 | 560 | 782,609 | 867,470 |
| 193 | 3,22 | 42,0 | 40 | 600 | 746,114 | 858,164 |
| 189 | 3,15 | 45,1 | 40 | 640 | 761,905 | 851,441 |
| 200 | 3,33 | 48,4 | 40 | 680 | 720,000 | 842,395 |
| 196 | 3,27 | 51,7 | 40 | 720 | 734,694 | 835,590 |
| 205 | 3,42 | 55,1 | 40 | 760 | 702,439 | 827,336 |
| 207 | 3,45 | 58,6 | 40 | 800 | 695,652 | 819,579 |
| 211 | 3,52 | 62,1 | 40 | 840 | 682,464 | 811,812 |
| 216 | 3,60 | 65,7 | 40 | 880 | 666,667 | 803,857 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| | | | | | | |
|-----|------|------|----|------|---------|---------|
| 217 | 3,62 | 69,3 | 40 | 920 | 663,594 | 796,537 |
| 214 | 3,57 | 72,9 | 40 | 960 | 672,897 | 790,485 |
| 217 | 3,62 | 76,5 | 40 | 1000 | 663,594 | 784,485 |
| 219 | 3,65 | 80,1 | 40 | 1040 | 657,534 | 778,702 |
| 215 | 3,58 | 83,7 | 40 | 1080 | 669,767 | 774,039 |
| 218 | 3,63 | 87,4 | 40 | 1120 | 660,550 | 769,319 |
| 216 | 3,60 | 91,0 | 40 | 1160 | 666,667 | 765,256 |
| 215 | 3,58 | 94,5 | 40 | 1200 | 669,767 | 761,636 |
| 217 | 3,62 | 98,2 | 40 | 1240 | 663,594 | 758,023 |

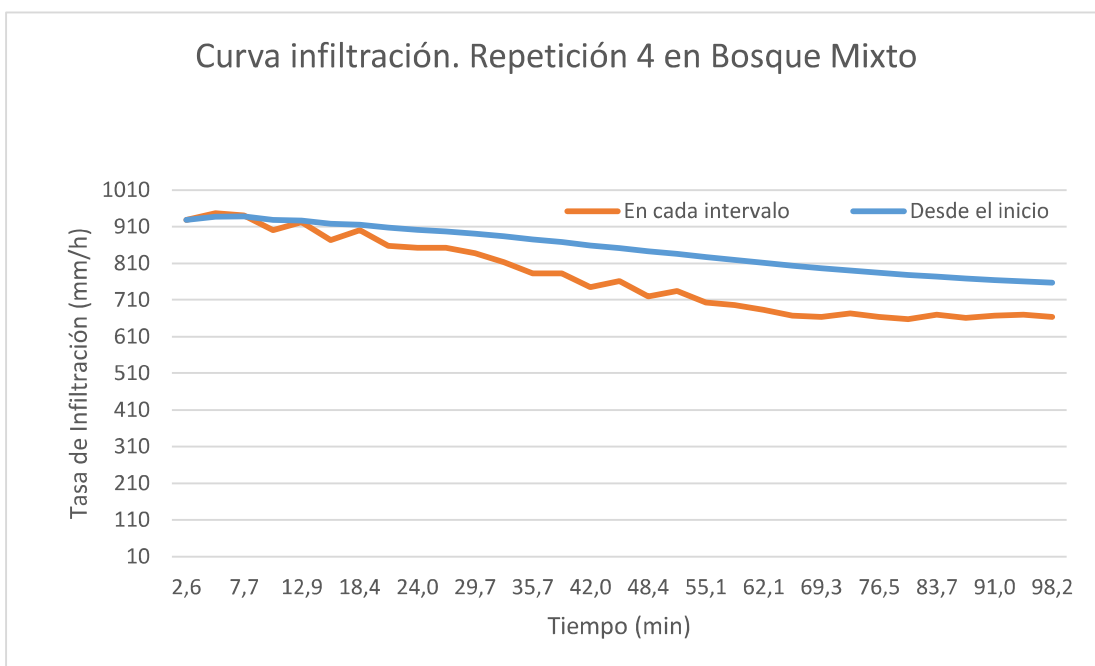


Figura 88. Gráfica de infiltración en cada intervalo y desde el inicio para el Bosque Mixto. Repetición 4.

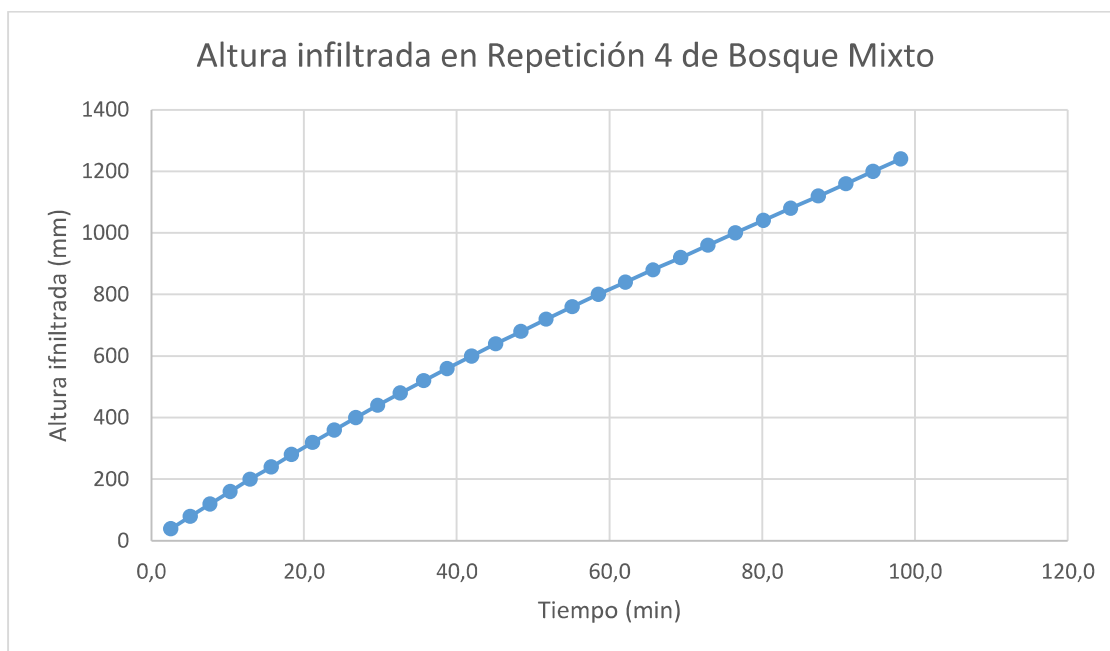


Figura 89. Columna de agua infiltrada en el suelo a lo largo del experimento 4 del Bosque Mixto.

2.2. Infiltrómetro de anillo simple en Bosque de Ribera (GPo)

- Repetición 1

Tabla 71. Datos de temperatura y humedad antes, después y dentro de la repetición 1 del Bosque de Ribera.

| ANTES | | | DESPUÉS | | |
|-----------------|-------|-----------|-----------------|-------|-----------|
| T= 15,5°C | | | 15,7°C | | |
| Humedad a 10 cm | | | Humedad a 10 cm | | |
| Punto muestra | K | % humedad | Punto muestra | K | % humedad |
| 1 | 11,51 | 21,68 | 1 | 24,53 | 39,58 |
| | 16,23 | 29,44 | | 28,86 | 43,5 |
| 2 | 19,52 | 33,51 | 2 | 23,77 | 38,81 |
| | 20,42 | 35,05 | | 23,77 | 38,81 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| Humedad a 20 cm | | | Humedad a 20 cm | | |
|-----------------|-------|------------------------|-----------------|-------|-----------|
| Punto muestra | K | % humedad | Punto muestra | K | % humedad |
| 1 | 15,89 | 28,93 | 1 | 19,71 | 34,18 |
| | 16,13 | 29,29 | | 19,67 | 34,13 |
| 2 | 14,46 | 26,72 | 2 | 19,64 | 34,09 |
| | 14,39 | 26,61 | | 19,93 | 34,45 |
| DENTRO | | Humedad a 10 cm | | | |
| | K | % humedad | | | |
| 1 | 25,74 | 42,03 | | | |
| | 25,84 | 42,19 | | | |
| | | Humedad a 20 cm | | | |
| | K | % humedad | | | |
| 1 | 2,94 | 37,47 | | | |
| | 22,9 | 37,39 | | | |

- Datos de infiltración

Tabla 72. Datos de tiempo, altura infiltrada en cada intervalo medido y datos de tasa de infiltración en mm/m de la repetición 1 en Bosque de Ribera. h_i = altura infiltrada en cada intervalo; h_0 = altura infiltrada desde el inicio; K_{sat_i} = Conductividad hidráulica en cada intervalo; K_{sat_0} = Conductividad hidráulica desde el inicio.

| Tiempo (s) | Tiempo (min) | | Altura infiltrada (mm) | | Tasa de infiltración (mm/h) | |
|------------|--------------|-----------|------------------------|-------|-----------------------------|-------------|
| | Parcial | Acumulado | h_i | h_0 | K_{sat_i} | K_{sat_0} |
| 41 | 0,68 | 0,7 | 50 | 50 | 4390,24 | 4390,24 |
| 64 | 1,07 | 1,8 | 50 | 100 | 2812,50 | 3428,57 |
| 93 | 1,55 | 3,3 | 50 | 150 | 1935,48 | 2727,27 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| | | | | | | |
|-----|------|-------|----|------|---------|---------|
| 112 | 1,87 | 5,2 | 50 | 200 | 1607,14 | 2322,58 |
| 152 | 2,53 | 7,7 | 50 | 250 | 1184,21 | 1948,05 |
| 183 | 3,05 | 10,8 | 50 | 300 | 983,61 | 1674,42 |
| 175 | 2,92 | 13,7 | 50 | 350 | 1028,57 | 1536,59 |
| 177 | 2,95 | 16,6 | 50 | 400 | 1016,95 | 1444,33 |
| 180 | 3,00 | 19,6 | 50 | 450 | 1000,00 | 1376,38 |
| 195 | 3,25 | 22,9 | 50 | 500 | 923,08 | 1311,95 |
| 206 | 3,43 | 26,3 | 50 | 550 | 873,79 | 1254,75 |
| 239 | 3,98 | 30,3 | 50 | 600 | 753,14 | 1188,77 |
| 246 | 4,10 | 34,4 | 50 | 650 | 731,71 | 1134,27 |
| 255 | 4,25 | 38,6 | 50 | 700 | 705,88 | 1087,14 |
| 262 | 4,37 | 43,0 | 50 | 750 | 687,02 | 1046,51 |
| 266 | 4,43 | 47,4 | 50 | 800 | 676,69 | 1011,95 |
| 270 | 4,50 | 51,9 | 50 | 850 | 666,67 | 982,03 |
| 280 | 4,67 | 56,6 | 50 | 900 | 642,86 | 954,06 |
| 277 | 4,62 | 61,2 | 50 | 950 | 649,82 | 931,12 |
| 282 | 4,70 | 65,9 | 50 | 1000 | 638,30 | 910,24 |
| 287 | 4,78 | 70,7 | 50 | 1050 | 627,18 | 891,09 |
| 311 | 5,18 | 75,9 | 50 | 1100 | 578,78 | 869,76 |
| 303 | 5,05 | 80,9 | 50 | 1150 | 594,06 | 852,55 |
| 313 | 5,22 | 86,2 | 50 | 1200 | 575,08 | 835,75 |
| 314 | 5,23 | 91,4 | 50 | 1250 | 573,25 | 820,72 |
| 345 | 5,75 | 97,1 | 50 | 1300 | 521,74 | 803,02 |
| 360 | 6,00 | 103,1 | 50 | 1350 | 500,00 | 785,39 |
| 372 | 6,20 | 109,3 | 50 | 1400 | 483,87 | 768,29 |
| 378 | 6,30 | 115,6 | 50 | 1450 | 476,19 | 752,38 |
| 380 | 6,33 | 122,0 | 50 | 1500 | 473,68 | 737,91 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| | | | | | | |
|-----|------|-------|----|------|--------|--------|
| 402 | 6,70 | 128,7 | 50 | 1550 | 447,76 | 722,80 |
| 440 | 7,33 | 136,0 | 50 | 1600 | 409,09 | 705,88 |
| 451 | 7,52 | 143,5 | 50 | 1650 | 399,11 | 689,82 |
| 448 | 7,47 | 151,0 | 50 | 1700 | 401,79 | 675,57 |
| 482 | 8,03 | 159,0 | 50 | 1750 | 373,44 | 660,31 |
| 490 | 8,17 | 167,2 | 50 | 1800 | 367,35 | 646,00 |
| 502 | 8,37 | 175,6 | 50 | 1850 | 358,57 | 632,30 |
| 488 | 8,13 | 183,7 | 50 | 1900 | 368,85 | 620,63 |
| 488 | 8,13 | 191,8 | 50 | 1950 | 368,85 | 609,96 |

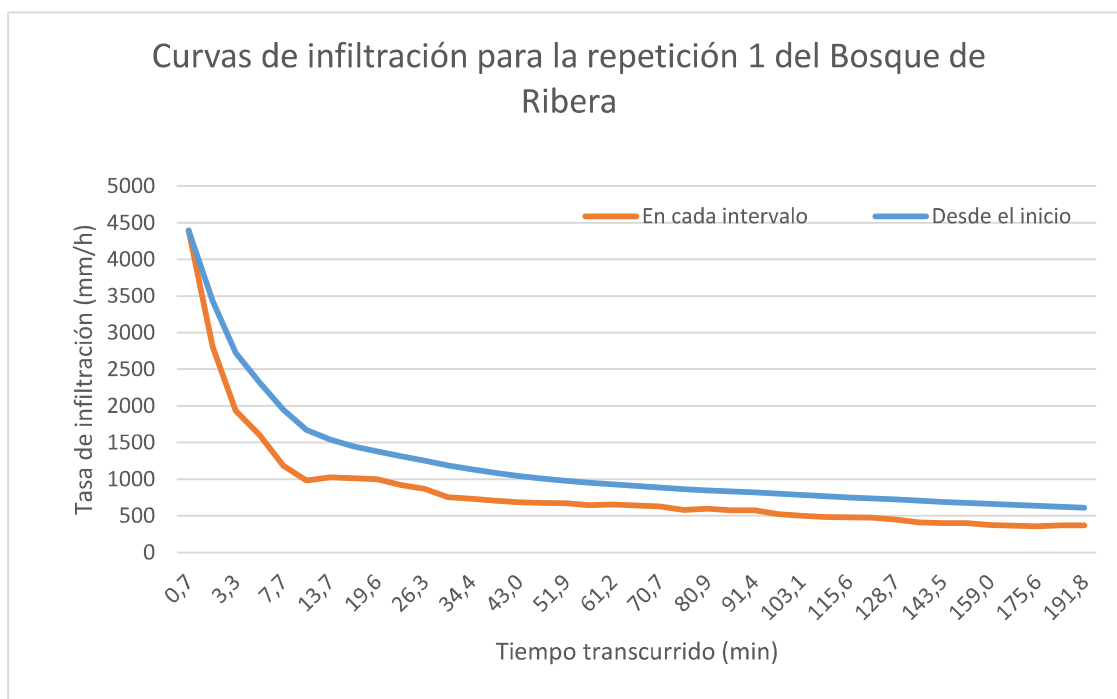


Figura 90. Gráfica de infiltración en cada intervalo y desde el inicio para el Bosque de Ribera. Repetición 1.

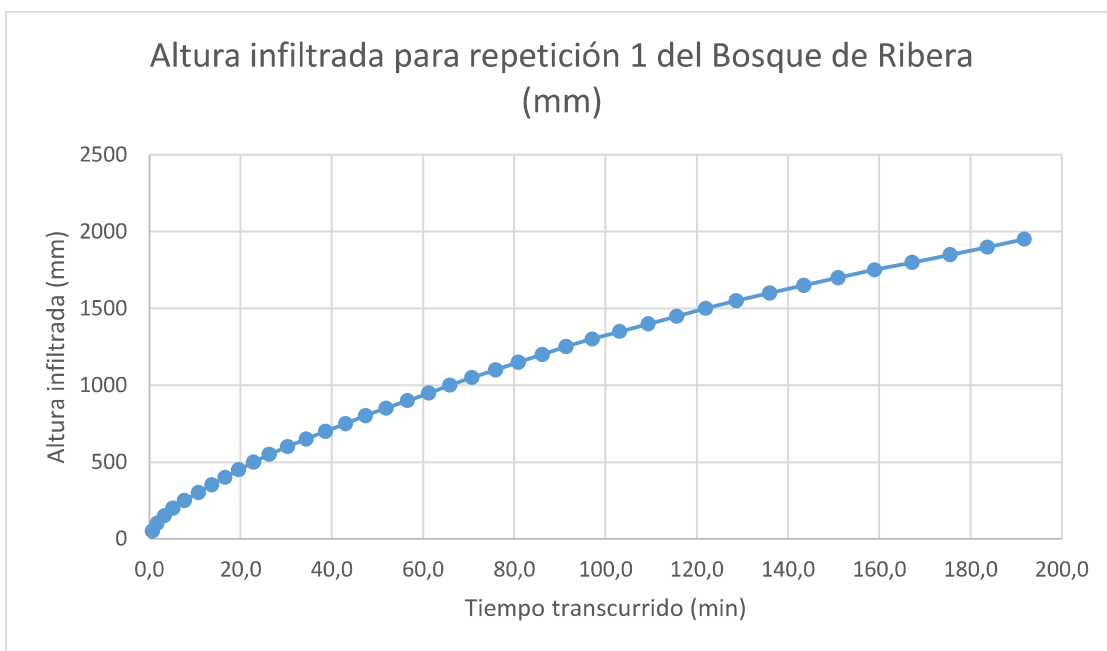


Figura 91. Columna de agua infiltrada en el suelo a lo largo del experimento 1 del Bosque de Ribera.

- Repetición 2
 - Datos de humedad

Tabla 73. Datos de temperatura y humedad antes, después y dentro de la repetición 2 del Bosque de Ribera.

| ANTES | | | DESPUÉS | | |
|-----------------|-------|-----------|-----------------|-------|-----------|
| T= 15,3 °C | | | T= 15,7 °C | | |
| Humedad a 10 cm | | | Humedad a 10 cm | | |
| Punto muestra | K | % humedad | Punto muestra | K | % humedad |
| 1 | 21,27 | 36,06 | 1 | 25,88 | 40,88 |
| | 25,55 | 40,57 | | 26,3 | 41,28 |
| 2 | 15,35 | 28,11 | 2 | 26,02 | 41,01 |
| | 13,98 | 25,61 | | 27,64 | 42,47 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| Humedad a 20 cm | | | Humedad a 20 cm | | |
|-----------------|-------|-----------|-----------------|-------|-------|
| 1 | 15,37 | 28,5 | 1 | 23,77 | 38,81 |
| | 15,19 | 27,87 | | 23,77 | 38,81 |
| 2 | 11,97 | 22,5 | 2 | 23,26 | 38,28 |
| | 12,11 | 22,77 | | 23,26 | 38,28 |
| DENTRO | | | | | |
| Punto muestra | K | % humedad | | | |
| Humedad a 10 cm | | | | | |
| 1 | 30,47 | 46,86 | | | |
| Humedad a 20 cm | | | | | |
| 1 | 27,26 | 41,83 | | | |

- Datos de infiltración

Tabla 74. Datos de tiempo, altura infiltrada en cada intervalo medido y datos de tasa de infiltración en mm/m de la repetición 2 en Bosque de Ribera. h_i = altura infiltrada en cada intervalo; h_0 = altura infiltrada desde el inicio; K_{sati} = Conductividad hidráulica en cada intervalo; K_{sat_0} = Conductividad hidráulica desde el inicio.

| Tiempo (s) | Tiempo (min) | | Altura infiltrada (mm) | | Tasa de infiltración (mm/h) | |
|------------|--------------|-----------|------------------------|-------|-----------------------------|-------------|
| | Parcial | Acumulado | h_i | h_0 | K_{sati} | K_{sat_0} |
| 114 | 1,90 | 1,9 | 50 | 50 | 1578,947 | 1578,947 |
| 135 | 2,25 | 4,2 | 50 | 100 | 1333,333 | 1445,783 |
| 145 | 2,42 | 6,6 | 50 | 150 | 1241,379 | 1370,558 |
| 150 | 2,50 | 9,1 | 50 | 200 | 1200,000 | 1323,529 |
| 152 | 2,53 | 11,6 | 50 | 250 | 1184,211 | 1293,103 |
| 165 | 2,75 | 14,4 | 50 | 300 | 1090,909 | 1254,355 |
| 173 | 2,88 | 17,2 | 50 | 350 | 1040,462 | 1218,569 |
| 181 | 3,02 | 20,3 | 50 | 400 | 994,475 | 1185,185 |
| 186 | 3,10 | 23,4 | 50 | 450 | 967,742 | 1156,317 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| | | | | | | |
|-----|------|-------|----|------|---------|----------|
| 189 | 3,15 | 26,5 | 50 | 500 | 952,381 | 1132,075 |
| 194 | 3,23 | 29,7 | 50 | 550 | 927,835 | 1109,865 |
| 201 | 3,35 | 33,1 | 50 | 600 | 895,522 | 1088,161 |
| 205 | 3,42 | 36,5 | 50 | 650 | 878,049 | 1068,493 |
| 210 | 3,50 | 40,0 | 50 | 700 | 857,143 | 1050,000 |
| 224 | 3,73 | 43,7 | 50 | 750 | 803,571 | 1028,963 |
| 231 | 3,85 | 47,6 | 50 | 800 | 779,221 | 1008,757 |
| 233 | 3,88 | 51,5 | 50 | 850 | 772,532 | 990,933 |
| 236 | 3,93 | 55,4 | 50 | 900 | 762,712 | 974,729 |
| 240 | 4,00 | 59,4 | 50 | 950 | 750,000 | 959,596 |
| 254 | 4,23 | 63,6 | 50 | 1000 | 708,661 | 942,902 |
| 244 | 4,07 | 67,7 | 50 | 1050 | 737,705 | 930,576 |
| 250 | 4,17 | 71,9 | 50 | 1100 | 720,000 | 918,367 |
| 265 | 4,42 | 76,3 | 50 | 1150 | 679,245 | 904,523 |
| 275 | 4,58 | 80,9 | 50 | 1200 | 654,545 | 890,354 |
| 271 | 4,52 | 85,4 | 50 | 1250 | 664,207 | 878,392 |
| 270 | 4,50 | 89,9 | 50 | 1300 | 666,667 | 867,792 |
| 287 | 4,78 | 94,7 | 50 | 1350 | 627,178 | 855,634 |
| 281 | 4,68 | 99,4 | 50 | 1400 | 640,569 | 845,496 |
| 285 | 4,75 | 104,1 | 50 | 1450 | 631,579 | 835,735 |
| 300 | 5,00 | 109,1 | 50 | 1500 | 600,000 | 824,931 |
| 292 | 4,87 | 114,0 | 50 | 1550 | 616,438 | 816,028 |
| 290 | 4,83 | 118,8 | 50 | 1600 | 620,690 | 808,081 |
| 308 | 5,13 | 123,9 | 50 | 1650 | 584,416 | 798,817 |
| 310 | 5,17 | 129,1 | 50 | 1700 | 580,645 | 790,085 |
| 308 | 5,13 | 134,2 | 50 | 1750 | 584,416 | 782,220 |
| 312 | 5,20 | 139,4 | 50 | 1800 | 576,923 | 774,564 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| | | | | | | |
|-----|------|-------|----|------|---------|---------|
| 310 | 5,17 | 144,6 | 50 | 1850 | 580,645 | 767,635 |
|-----|------|-------|----|------|---------|---------|

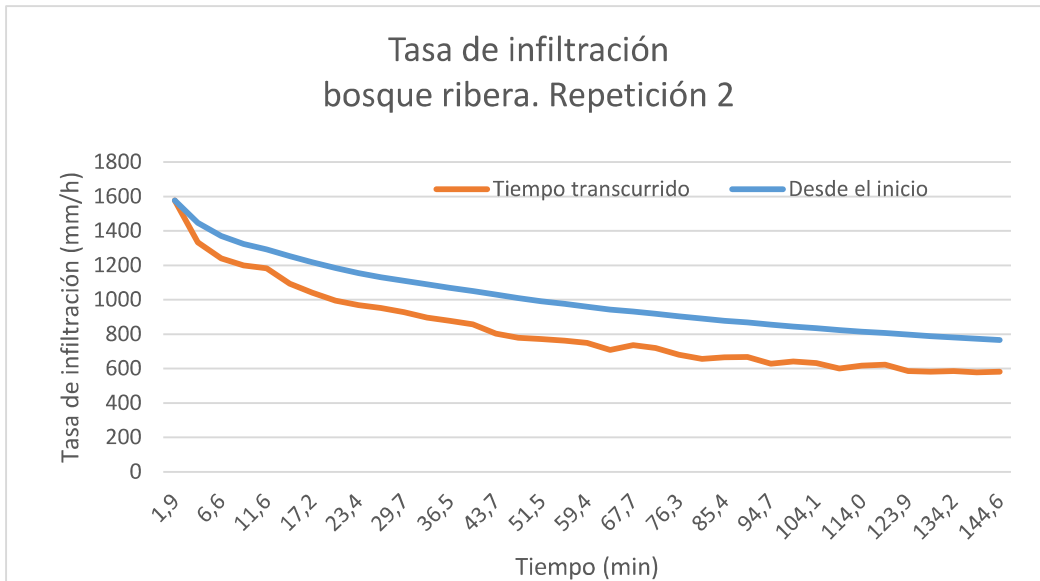


Figura 92. Gráfica de infiltración en cada intervalo y desde el inicio para el Bosque de Ribera. Repetición 2

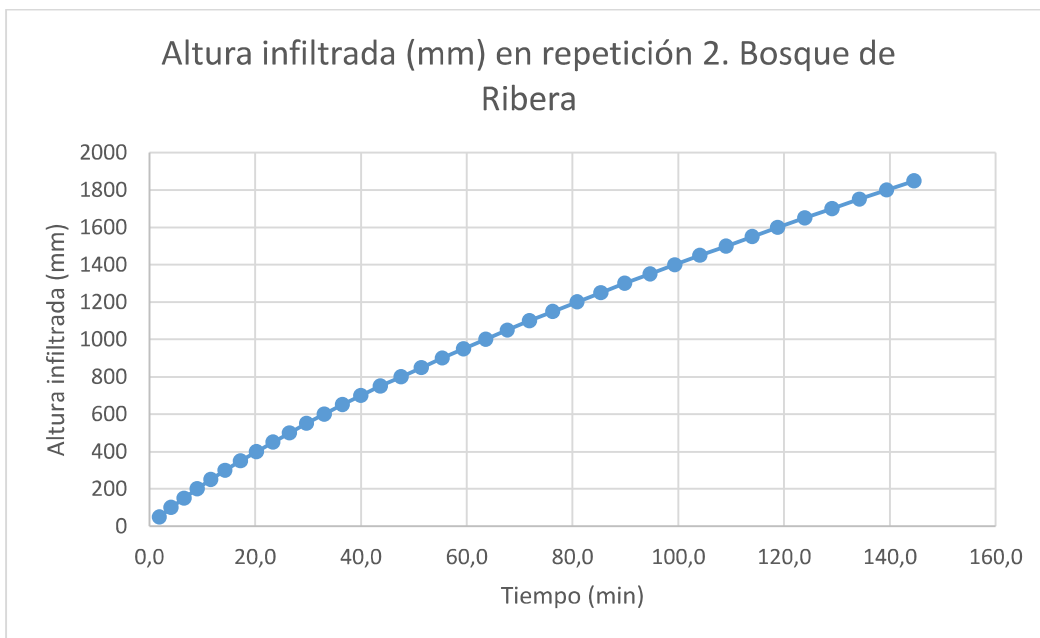


Figura 93. Columna de agua infiltrada en el suelo a lo largo del experimento 2 del Bosque de Ribera.

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

- Repetición 3

- Datos de humedad

Tabla 75. Datos de temperatura y humedad antes, después y dentro de la repetición 3 del Bosque de Ribera.

| ANTES T= 17,2 °C | | | DESPUÉS T= 17,6 °C | | |
|---------------------|-------|-----------|-----------------------|-------|-----------|
| Humedad a 10 cm | | | Humedad a 10 cm | | |
| Punto muestra | K | % humedad | Punto muestra | K | % humedad |
| 1 | 12,21 | 22,93 | 1 | 15,19 | 27,87 |
| | 12,19 | 22,9 | | 15,19 | 27,87 |
| 2 | 8,73 | 16,28 | 2 | 10,28 | 19,37 |
| | 8,73 | 16,28 | | 10,42 | 19,64 |
| 3 | 14,07 | 26,1 | 3 | 15,08 | 27,7 |
| | 13,72 | 25,53 | | 15,01 | 27,59 |
| 4 | 11,74 | 22,09 | 4 | 19,05 | 33,33 |
| | 12 | 22,57 | | 18,91 | 33,16 |
| Humedad a 20 cm | | | Humedad a 20 cm | | |
| Punto muestra | K | % humedad | Punto muestra | K | % humedad |
| 1 | 10,25 | 19,31 | 1 | 17,53 | 31,3 |
| | 10,37 | 19,55 | | 17,67 | 31,5 |
| 2 | 11,3 | 21,29 | 2 | 17,21 | 30,86 |
| | 11,16 | 21,04 | | 17,23 | 30,88 |
| 3 | 9,06 | 16,96 | 3 | 15,96 | 29,05 |
| | 9,06 | 16,95 | | 16,02 | 29,13 |
| 4 | 10,22 | 19,25 | 4 | 14 | 25,98 |
| | 10,2 | 19,22 | | 14,08 | 26,1 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| DENTRO | Humedad a 10 cm | |
|---------------|-----------------|-----------|
| Punto muestra | K | % humedad |
| 1 | 32,39 | 46,19 |
| | 32,39 | 49,19 |
| | Humedad a 20 cm | |
| | K | % humedad |
| 1 | 24,42 | 39,49 |
| | 24,37 | 39,42 |

- Datos de infiltración

Tabla 76. Datos de tiempo, altura infiltrada en cada intervalo medido y datos de tasa de infiltración en mm/m de la repetición 3 en Bosque de Ribera. h_i = altura infiltrada en cada intervalo; h_0 = altura infiltrada desde el inicio; K_{sati} = Conductividad hidráulica en cada intervalo; K_{sat_0} = Conductividad hidráulica desde el inicio.

| Tiempo (s) | Tiempo (min) | | Altura infiltrada (mm) | | Tasa de infiltración (mm/h) | |
|------------|--------------|-----------|------------------------|-------|-----------------------------|-------------|
| | Parcial | Acumulado | h_i | h_0 | K_{sati} | K_{sat_0} |
| 310 | 5,17 | 5,2 | 20 | 20 | 232,258 | 232,258 |
| 325 | 5,42 | 10,6 | 20 | 40 | 221,538 | 226,772 |
| 357 | 5,95 | 16,5 | 20 | 60 | 201,681 | 217,742 |
| 341 | 5,68 | 22,2 | 20 | 80 | 211,144 | 216,054 |
| 366 | 6,10 | 28,3 | 20 | 100 | 196,721 | 211,889 |
| 364 | 6,07 | 34,4 | 20 | 120 | 197,802 | 209,404 |
| 383 | 6,38 | 40,8 | 20 | 140 | 187,990 | 206,051 |
| 365 | 6,08 | 46,9 | 20 | 160 | 197,260 | 204,909 |
| 375 | 6,25 | 53,1 | 20 | 180 | 192,000 | 203,390 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| | | | | | | |
|-----|------|-------|----|-----|---------|---------|
| 382 | 6,37 | 59,5 | 20 | 200 | 188,482 | 201,794 |
| 368 | 6,13 | 65,6 | 20 | 220 | 195,652 | 201,220 |
| 400 | 6,67 | 72,3 | 20 | 240 | 180,000 | 199,262 |
| 363 | 6,05 | 78,3 | 20 | 260 | 198,347 | 199,191 |
| 386 | 6,43 | 84,8 | 20 | 280 | 186,528 | 198,230 |
| 364 | 6,07 | 90,8 | 20 | 300 | 197,802 | 198,202 |
| 382 | 6,37 | 97,2 | 20 | 320 | 188,482 | 197,565 |
| 376 | 6,27 | 103,5 | 20 | 340 | 191,489 | 197,197 |
| 387 | 6,45 | 109,9 | 20 | 360 | 186,047 | 196,542 |
| 392 | 6,53 | 116,4 | 20 | 380 | 183,673 | 195,820 |
| 381 | 6,35 | 122,8 | 20 | 400 | 188,976 | 195,466 |
| 365 | 6,08 | 128,9 | 20 | 420 | 197,260 | 195,551 |
| 379 | 6,32 | 135,2 | 20 | 440 | 189,974 | 195,290 |
| 362 | 6,03 | 141,2 | 20 | 460 | 198,895 | 195,444 |
| 371 | 6,18 | 147,4 | 20 | 480 | 194,070 | 195,387 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

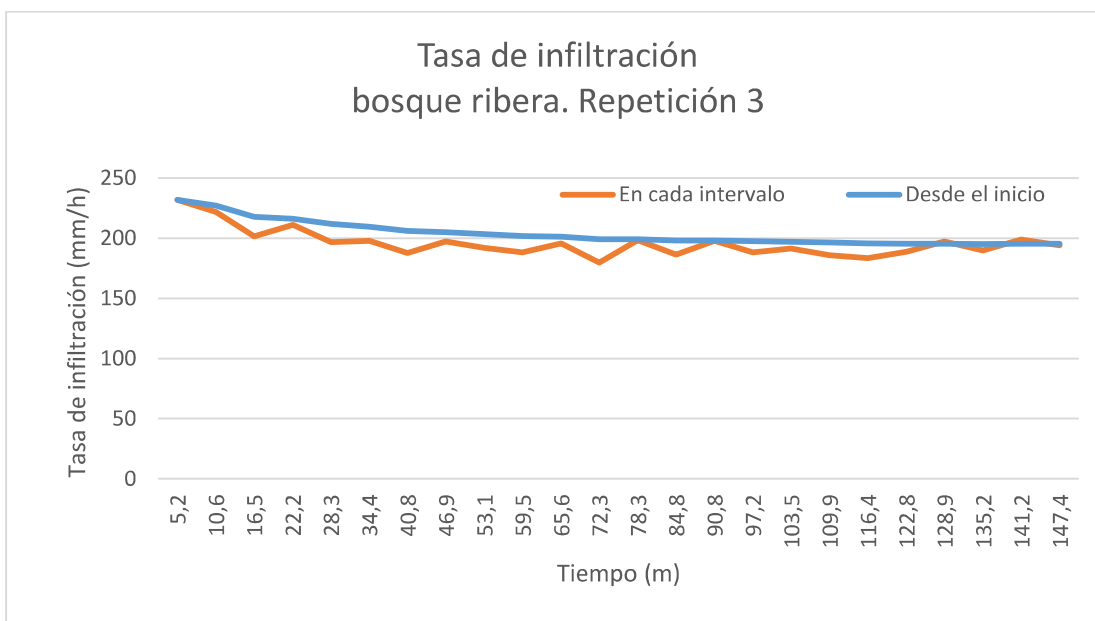


Figura 94. Gráfica de infiltración en cada intervalo y desde el inicio para el Bosque de Ribera. Repetición 3.

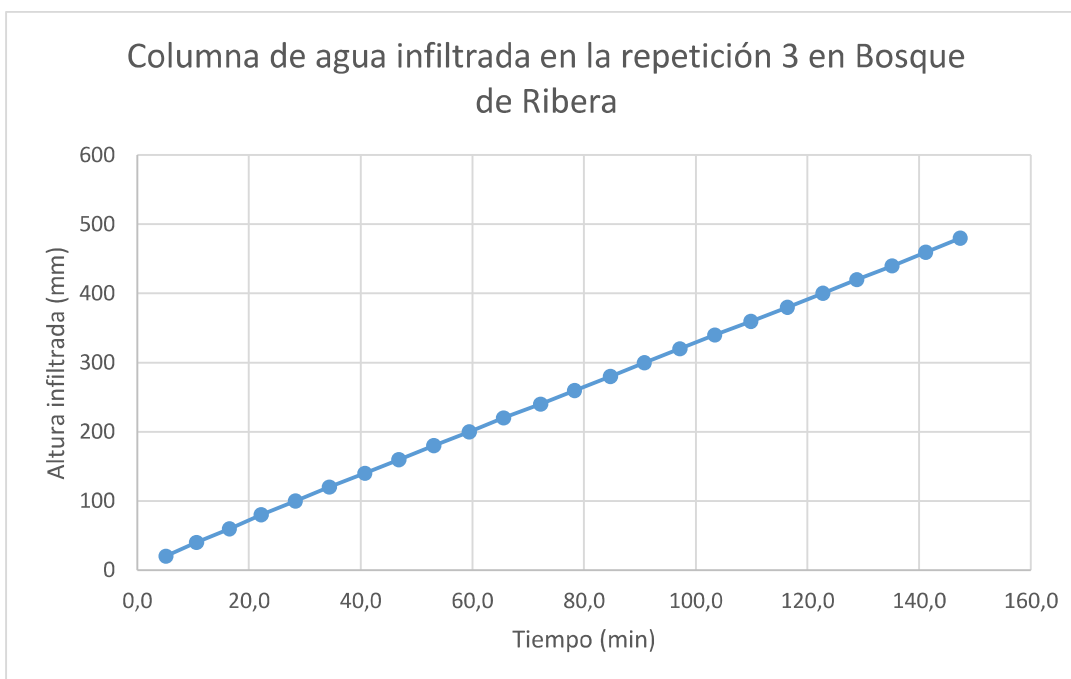


Figura 95. Curva de altura de agua infiltrada en el Bosque de Ribera. Repetición 3.

- Repetición 4

- Datos de humedad

Tabla 77. Datos de temperatura y humedad antes, después y dentro de la repetición 4 del Bosque de Ribera.

| ANTES T= 21 °C | | | DESPUÉS T= 22,9 °C | | |
|-------------------|-------|-----------|-----------------------|-------|-----------|
| Humedad a 10 cm | | | Humedad a 10 cm | | |
| Punto muestra | K | % humedad | Punto muestra | K | % humedad |
| 1 | 8,73 | 16,29 | 1 | 11,87 | 22,34 |
| | 8,79 | 16,42 | | 11,87 | 22,33 |
| 2 | 12,5 | 23,45 | 2 | 14,31 | 26,49 |
| | 12,81 | 23,98 | | 14,49 | 26,78 |
| 3 | 9,25 | 17,34 | 3 | 14,93 | 27,45 |
| | 9,24 | 17,32 | | 15,13 | 27,77 |
| 4 | 11,54 | 21,73 | 4 | 18,94 | 33,2 |
| | 11,55 | 21,74 | | 18,96 | 33,22 |
| Humedad a 20 cm | | | Humedad a 20 cm | | |
| Punto muestra | K | % humedad | Punto muestra | K | % humedad |
| 1 | 7,91 | 14,57 | 1 | 16,26 | 29,49 |
| | 8,06 | 14,88 | | 16,57 | 29,93 |
| 2 | 9,79 | 18,41 | 2 | 15,11 | 27,75 |
| | 9,86 | 18,55 | | 15,15 | 27,81 |
| 3 | 8,97 | 16,78 | 3 | 17,32 | 31,01 |
| | 8,96 | 16,76 | | 17,34 | 31,04 |
| 4 | 11,87 | 22,32 | 4 | 21,47 | 36,29 |
| | 11,85 | 22,29 | | 21,6 | 36,44 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| DENTRO | Humedad a 10 cm | |
|---------------|-----------------|-----------|
| Punto muestra | K | % humedad |
| 1 | 31,27 | 45,38 |
| | 31,77 | 45,74 |
| | Humedad a 20 cm | |
| | K | % humedad |
| 1 | 29,61 | 44,11 |
| | 29,67 | 44,15 |

- Datos de infiltración

Tabla 78. Datos de tiempo, altura infiltrada en cada intervalo medido y datos de tasa de infiltración en mm/m de la repetición 4 en Bosque de Ribera. h_i = altura infiltrada en cada intervalo; h_0 = altura infiltrada desde el inicio; K_{sati} = Conductividad hidráulica en cada intervalo; K_{sat_0} = Conductividad hidráulica desde el inicio.

| Tiempo (s) | Tiempo (min) | | Altura infiltrada (mm) | | Tasa de infiltración (mm/h) | |
|------------|--------------|-----------|------------------------|-------|-----------------------------|-------------|
| | Parcial | Acumulado | h_i | h_0 | K_{sati} | K_{sat_0} |
| 38 | 0,63 | 0,6 | 20 | 20 | 1894,737 | 1894,737 |
| 125 | 2,08 | 2,7 | 40 | 60 | 1152,000 | 1325,153 |
| 139 | 2,32 | 5,0 | 40 | 100 | 1035,971 | 1192,053 |
| 135 | 2,25 | 7,3 | 40 | 140 | 1066,667 | 1153,318 |
| 155 | 2,58 | 9,9 | 40 | 180 | 929,032 | 1094,595 |
| 156 | 2,60 | 12,5 | 40 | 220 | 923,077 | 1058,824 |
| 161 | 2,68 | 15,2 | 40 | 260 | 894,410 | 1029,703 |
| 170 | 2,83 | 18,0 | 40 | 300 | 847,059 | 1000,927 |
| 167 | 2,78 | 20,8 | 40 | 340 | 862,275 | 982,343 |
| 177 | 2,95 | 23,7 | 40 | 380 | 813,559 | 961,349 |
| 177 | 2,95 | 26,7 | 40 | 420 | 813,559 | 945,000 |
| 192 | 3,20 | 29,9 | 40 | 460 | 750,000 | 924,107 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| | | | | | | |
|-----|------|-------|----|------|---------|---------|
| 178 | 2,97 | 32,8 | 40 | 500 | 808,989 | 913,706 |
| 177 | 2,95 | 35,8 | 40 | 540 | 813,559 | 905,449 |
| 188 | 3,13 | 38,9 | 40 | 580 | 765,957 | 894,218 |
| 186 | 3,10 | 42,0 | 40 | 620 | 774,194 | 885,363 |
| 192 | 3,20 | 45,2 | 40 | 660 | 750,000 | 875,783 |
| 199 | 3,32 | 48,5 | 40 | 700 | 723,618 | 865,385 |
| 191 | 3,18 | 51,7 | 40 | 740 | 753,927 | 858,524 |
| 187 | 3,12 | 54,8 | 40 | 780 | 770,053 | 853,495 |
| 195 | 3,25 | 58,1 | 40 | 820 | 738,462 | 847,059 |
| 214 | 3,57 | 61,7 | 40 | 860 | 672,897 | 836,983 |
| 188 | 3,13 | 64,8 | 40 | 900 | 765,957 | 833,548 |
| 192 | 3,20 | 68,0 | 40 | 940 | 750,000 | 829,615 |
| 211 | 3,52 | 71,5 | 40 | 980 | 682,464 | 822,378 |
| 208 | 3,47 | 75,0 | 40 | 1020 | 692,308 | 816,363 |
| 219 | 3,65 | 78,6 | 40 | 1060 | 657,534 | 808,989 |
| 207 | 3,45 | 82,1 | 40 | 1100 | 695,652 | 804,224 |
| 195 | 3,25 | 85,3 | 40 | 1140 | 738,462 | 801,719 |
| 205 | 3,42 | 88,7 | 40 | 1180 | 702,439 | 797,896 |
| 218 | 3,63 | 92,4 | 40 | 1220 | 660,550 | 792,494 |
| 211 | 3,52 | 95,9 | 40 | 1260 | 682,464 | 788,458 |
| 217 | 3,62 | 99,5 | 40 | 1300 | 663,594 | 783,920 |
| 209 | 3,48 | 103,0 | 40 | 1340 | 688,995 | 780,709 |
| 209 | 3,48 | 106,5 | 40 | 1380 | 688,995 | 777,708 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

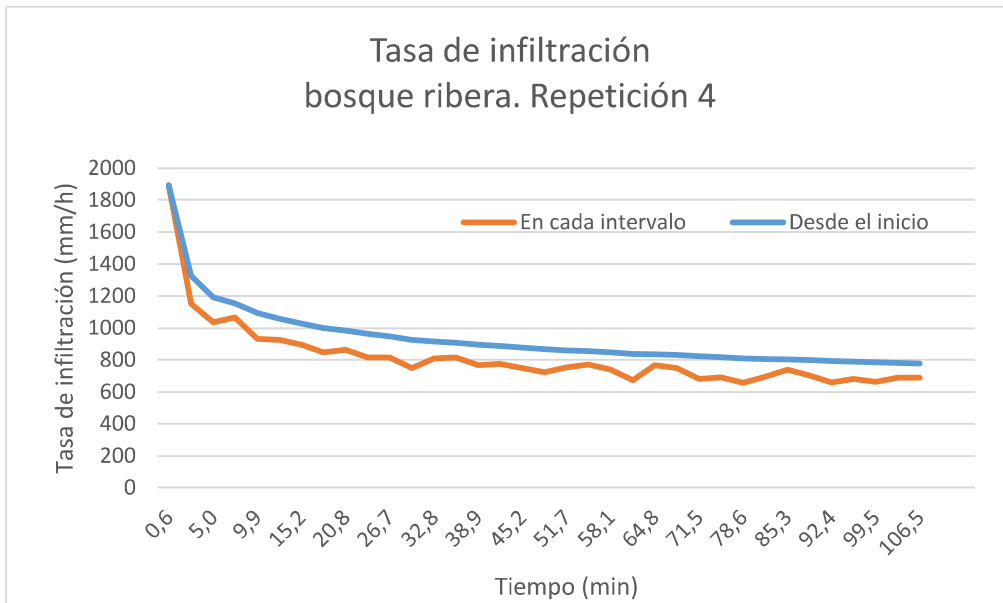


Figura 96. Gráfica de infiltración en cada intervalo y desde el inicio para el Bosque de Ribera. Repetición 4.

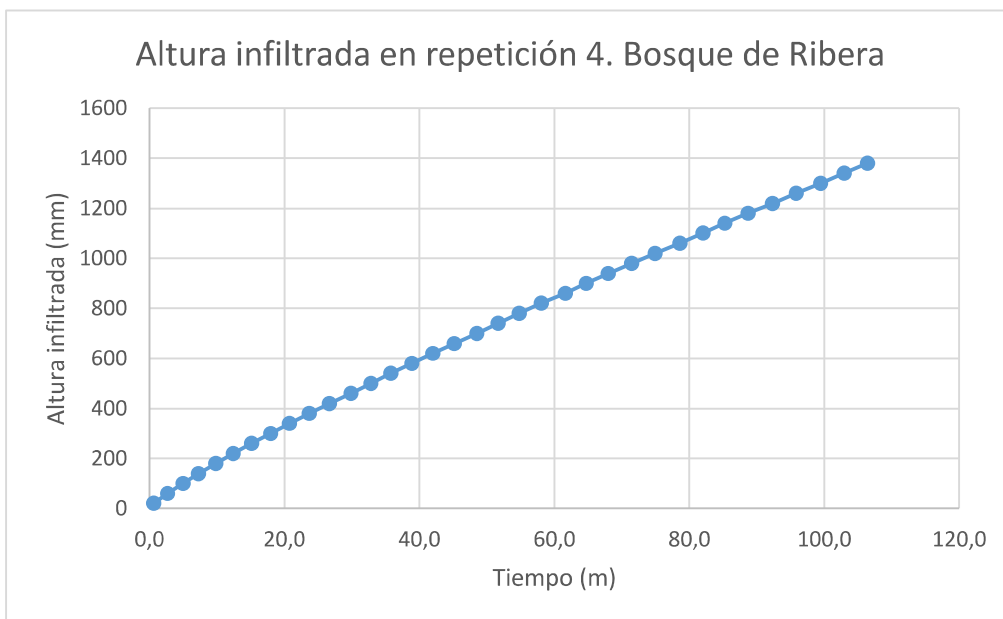


Figura 97. Curva de altura de agua infiltrada en el Bosque de Ribera. Repetición 4.

2.3. Infiltrómetro de anillo simple en Pradera (RG)

- Repetición 1
 - Datos de humedad
 -

Tabla 79. Datos de temperatura y humedad antes, después y dentro de la repetición 1 de la parcela de Pradera.

| ANTES | | | DESPUÉS | | |
|-----------------|-------|-----------|-----------------|-------|-----------|
| T= 21,1 °C | | | T= 21,3 °C | | |
| Humedad a 10 cm | | | Humedad a 10 cm | | |
| Punto muestra | K | % humedad | Punto muestra | K | % humedad |
| 1 | 9,91 | 18,65 | 1 | 18,4 | 32,48 |
| | 9,31 | 18,7 | | 18,8 | 33,01 |
| 2 | 8,88 | 16,59 | 2 | 14,78 | 27,23 |
| | 9,18 | 17,2 | | 15 | 27,58 |
| 3 | 9,85 | 18,54 | 3 | 14,88 | 27,39 |
| | 9,91 | 18,65 | | 15,17 | 27,84 |
| 4 | 7,26 | 13,13 | 4 | 13,53 | 25,21 |
| | 7,29 | 13,23 | | 13,71 | 25,51 |
| Humedad a 20 cm | | | Humedad a 20 cm | | |
| Punto muestra | K | % humedad | Punto muestra | K | % humedad |
| 1 | 10,08 | 18,99 | 1 | 13,34 | 24,89 |
| | 10,37 | 19,54 | | 13,73 | 25,53 |
| 2 | 9,87 | 18,52 | 2 | 15,43 | 28,84 |
| | 9,81 | 18,45 | | 15,71 | 28,67 |
| 3 | 9,96 | 18,75 | 3 | 18,35 | 32,42 |
| | 9,88 | 18,6 | | 18,83 | 33,05 |
| 4 | 9,03 | 16,9 | 4 | 12,35 | 23,19 |
| | 8,92 | 16,67 | | 12,72 | 23,83 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| DENTRO | Humedad a 10 cm | |
|---------------|-----------------|-----------|
| Punto muestra | K | % humedad |
| 1 | 22,36 | 37,3 |
| | 22,69 | 37,66 |
| | Humedad a 20 cm | |
| | K | % humedad |
| 1 | 14,38 | 36,59 |
| | 14,74 | 37,16 |

- Datos de infiltración

Tabla 80. Datos de tiempo, altura infiltrada en cada intervalo medido y datos de tasa de infiltración en mm/m de la repetición 1 en zona de Pradera. h_i = altura infiltrada en cada intervalo; h_0 = altura infiltrada desde el inicio; K_{sati} = Conductividad hidráulica en cada intervalo; K_{sat_0} = Conductividad hidráulica desde el inicio.

| Tiempo (s) | Tiempo (min) | | Altura infiltrada (mm) | | Tasa de infiltración (mm/h) | |
|------------|--------------|-----------|------------------------|-------|-----------------------------|-------------|
| | Parcial | Acumulado | h_i | h_0 | K_{sati} | K_{sat_0} |
| 40 | 0,67 | 0,7 | 20 | 20 | 1800,000 | 1800,000 |
| 67 | 1,12 | 1,8 | 20 | 40 | 1074,627 | 1345,794 |
| 85 | 1,42 | 3,2 | 20 | 60 | 847,059 | 1125,000 |
| 100 | 1,67 | 4,9 | 20 | 80 | 720,000 | 986,301 |
| 124 | 2,07 | 6,9 | 20 | 100 | 580,645 | 865,385 |
| 135 | 2,25 | 9,2 | 20 | 120 | 533,333 | 784,029 |
| 141 | 2,35 | 11,5 | 20 | 140 | 510,638 | 728,324 |
| 181 | 3,02 | 14,6 | 20 | 160 | 397,790 | 659,794 |
| 202 | 3,37 | 17,9 | 20 | 180 | 356,436 | 602,791 |
| 212 | 3,53 | 21,5 | 20 | 200 | 339,623 | 559,441 |
| 198 | 3,30 | 24,8 | 20 | 220 | 363,636 | 533,333 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| | | | | | | |
|-----|------|-------|----|-----|---------|---------|
| 203 | 3,38 | 28,1 | 20 | 240 | 354,680 | 511,848 |
| 222 | 3,70 | 31,8 | 20 | 260 | 324,324 | 490,052 |
| 228 | 3,80 | 35,6 | 20 | 280 | 315,789 | 471,469 |
| 242 | 4,03 | 39,7 | 20 | 300 | 297,521 | 453,782 |
| 219 | 3,65 | 43,3 | 20 | 320 | 328,767 | 443,247 |
| 280 | 4,67 | 48,0 | 20 | 340 | 257,143 | 425,148 |
| 270 | 4,50 | 52,5 | 20 | 360 | 266,667 | 411,559 |
| 274 | 4,57 | 57,1 | 20 | 380 | 262,774 | 399,649 |
| 223 | 3,72 | 60,8 | 20 | 400 | 322,870 | 394,953 |
| 246 | 4,10 | 64,9 | 20 | 420 | 292,683 | 388,489 |
| 240 | 4,00 | 68,9 | 20 | 440 | 300,000 | 383,349 |
| 270 | 4,50 | 73,4 | 20 | 460 | 266,667 | 376,193 |
| 266 | 4,43 | 77,8 | 20 | 480 | 270,677 | 370,180 |
| 271 | 4,52 | 82,3 | 20 | 500 | 265,683 | 364,446 |
| 288 | 4,80 | 87,1 | 20 | 520 | 250,000 | 358,140 |
| 306 | 5,10 | 92,2 | 20 | 540 | 235,294 | 351,346 |
| 315 | 5,25 | 97,5 | 20 | 560 | 228,571 | 344,733 |
| 320 | 5,33 | 102,8 | 20 | 580 | 225,000 | 338,521 |
| 310 | 5,17 | 108,0 | 20 | 600 | 232,258 | 333,436 |
| 326 | 5,43 | 113,4 | 20 | 620 | 220,859 | 328,042 |
| 330 | 5,50 | 118,9 | 20 | 640 | 218,182 | 322,960 |
| 352 | 5,87 | 124,8 | 20 | 660 | 204,545 | 317,392 |
| 363 | 6,05 | 130,8 | 20 | 680 | 198,347 | 311,887 |
| 372 | 6,20 | 137,0 | 20 | 700 | 193,548 | 306,532 |
| 356 | 5,93 | 143,0 | 20 | 720 | 202,247 | 302,204 |
| 358 | 5,97 | 148,9 | 20 | 740 | 201,117 | 298,153 |
| 330 | 5,50 | 154,4 | 20 | 760 | 218,182 | 295,305 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| | | | | | | |
|-----|------|-------|----|-----|---------|---------|
| 344 | 5,73 | 160,2 | 20 | 780 | 209,302 | 292,226 |
| 366 | 6,10 | 166,3 | 20 | 800 | 196,721 | 288,722 |
| 352 | 5,87 | 172,1 | 20 | 820 | 204,545 | 285,853 |

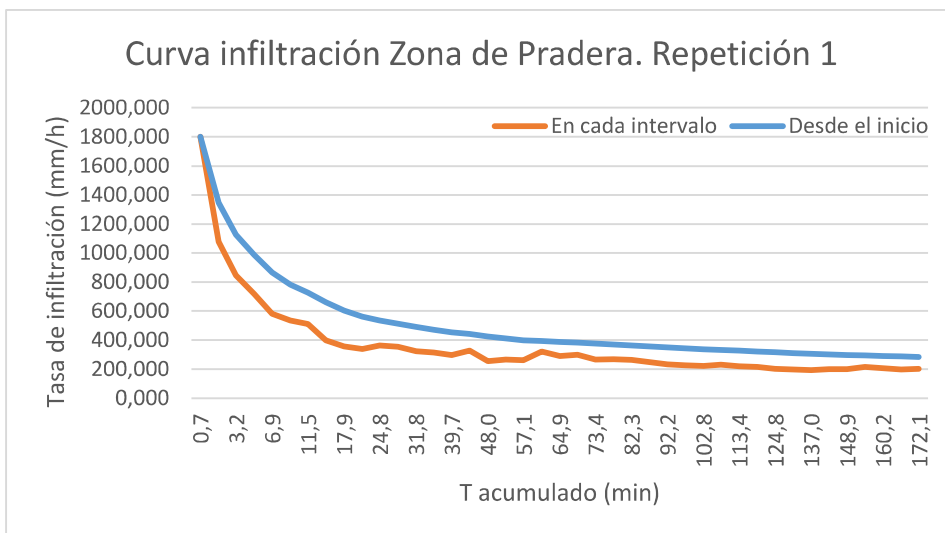


Figura 98. Gráfica de infiltración en cada intervalo y desde el inicio para la zona de Pradera. Repetición 1.

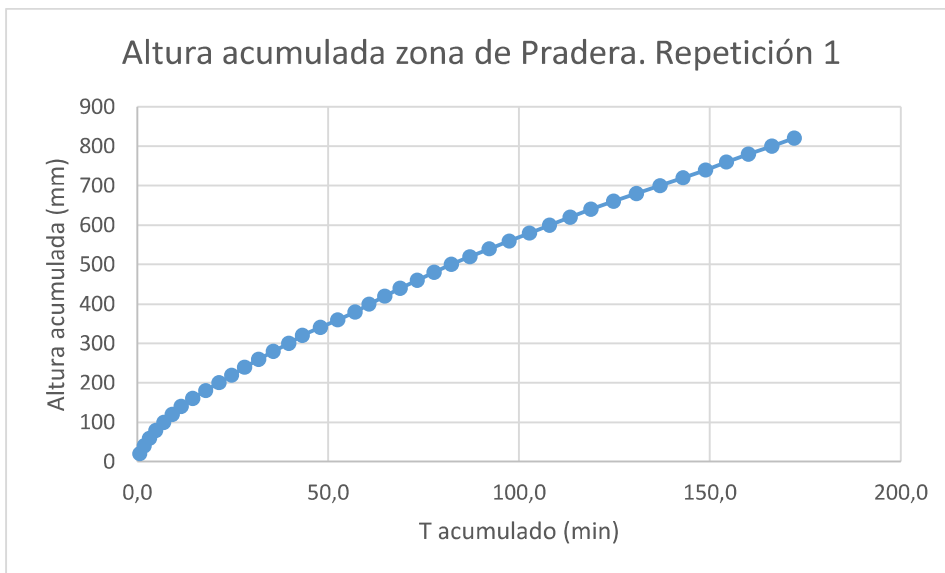


Figura 99. Curva de altura de agua infiltrada en la zona de Pradera. Repetición 1.

- Repetición 2

- Datos de humedad

Tabla 81. Datos de temperatura y humedad antes, después y dentro de la repetición 2 de la parcela de Pradera.

| ANTES T= 21,2 °C | | | DESPUÉS T= 21,6 °C | | |
|---------------------|-------|-----------|-----------------------|-------|-----------|
| Humedad a 10 cm | | | Humedad a 10 cm | | |
| Punto muestra | K | % humedad | Punto muestra | K | % humedad |
| 1 | 10,87 | 20,5 | 1 | 18,11 | 32,1 |
| | 10,66 | 20,1 | | 17,03 | 30,61 |
| 2 | 12,69 | 23,77 | 2 | 17,94 | 31,87 |
| | 12,62 | 23,66 | | 18,62 | 32,78 |
| 3 | 8,16 | 15,1 | 3 | | 31,22 |
| | 8,55 | 15,91 | | 17,67 | 31,5 |
| 4 | 11,18 | 21,08 | 4 | 17,6 | 31,4 |
| | 10,3 | 19,42 | | 18,6 | 32,03 |
| Humedad a 20 cm | | | Humedad a 20 cm | | |
| Punto muestra | K | % humedad | Punto muestra | K | % humedad |
| 1 | 10,56 | 19,91 | 1 | 20,61 | 35,28 |
| | 10,6 | 19,99 | | 20,35 | 34,97 |
| 2 | 11,05 | 20,82 | 2 | 17,51 | 31,27 |
| | 11,26 | 21,22 | | 17,75 | 31,6 |
| 3 | 12,55 | 23,54 | 3 | 22,74 | 37,71 |
| | 12,51 | 23,46 | | 22,72 | 37,7 |
| 4 | 11,56 | 21,77 | 4 | 17,89 | 31,8 |
| | 11,56 | 21,77 | | 18,42 | 32,52 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| DENTRO | | Humedad a 10 cm | |
|---------------|-------|-----------------|--|
| Punto muestra | K | % humedad | |
| 1 | 22,72 | 37,7 | |
| | 22,51 | 37,47 | |
| | | Humedad a 20 cm | |
| | K | % humedad | |
| 1 | 21,86 | 36,74 | |
| | 22,01 | 36,91 | |

- Datos de infiltración

Tabla 82. Datos de tiempo, altura infiltrada en cada intervalo medido y datos de tasa de infiltración en mm/m de la repetición 2 en zona de Pradera. h_i = altura infiltrada en cada intervalo; h_0 = altura infiltrada desde el inicio; K_{sati} = Conductividad hidráulica en cada intervalo; K_{sat_0} = Conductividad hidráulica desde el inicio.

| Tiempo (s) | Tiempo (min) | | Altura infiltrada (mm) | | Tasa de infiltración (mm/h) | |
|------------|--------------|-----------|------------------------|-------|-----------------------------|-------------|
| | Parcial | Acumulado | h_i | h_0 | K_{sati} | K_{sat_0} |
| 30 | 0,50 | 0,5 | 20 | 20 | 2400,000 | 2400,000 |
| 69 | 1,15 | 1,7 | 20 | 40 | 1043,478 | 1454,545 |
| 97 | 1,62 | 3,3 | 20 | 60 | 742,268 | 1102,041 |
| 99 | 1,65 | 4,9 | 20 | 80 | 727,273 | 976,271 |
| 135 | 2,25 | 7,2 | 20 | 100 | 533,333 | 837,209 |
| 144 | 2,40 | 9,6 | 20 | 120 | 500,000 | 752,613 |
| 159 | 2,65 | 12,2 | 20 | 140 | 452,830 | 687,585 |
| 174 | 2,90 | 15,1 | 20 | 160 | 413,793 | 635,061 |
| 161 | 2,68 | 17,8 | 20 | 180 | 447,205 | 606,742 |
| 170 | 2,83 | 20,6 | 20 | 200 | 423,529 | 581,583 |
| 213 | 3,55 | 24,2 | 20 | 220 | 338,028 | 545,830 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| | | | | | | |
|-----|------|-------|----|-----|---------|---------|
| 217 | 3,62 | 27,8 | 20 | 240 | 331,797 | 517,986 |
| 269 | 4,48 | 32,3 | 20 | 260 | 267,658 | 483,221 |
| 238 | 3,97 | 36,3 | 20 | 280 | 302,521 | 463,448 |
| 272 | 4,53 | 40,8 | 20 | 300 | 264,706 | 441,357 |
| 280 | 4,67 | 45,5 | 20 | 320 | 257,143 | 422,442 |
| 307 | 5,12 | 50,6 | 20 | 340 | 234,528 | 403,428 |
| 320 | 5,33 | 55,9 | 20 | 360 | 225,000 | 386,404 |
| 302 | 5,03 | 60,9 | 20 | 380 | 238,411 | 374,179 |
| 296 | 4,93 | 65,9 | 20 | 400 | 243,243 | 364,372 |
| 270 | 4,50 | 70,4 | 20 | 420 | 266,667 | 358,124 |
| 282 | 4,70 | 75,1 | 20 | 440 | 255,319 | 351,687 |
| 261 | 4,35 | 79,4 | 20 | 460 | 275,862 | 347,534 |
| 252 | 4,20 | 83,6 | 20 | 480 | 285,714 | 344,429 |
| 269 | 4,48 | 88,1 | 20 | 500 | 267,658 | 340,522 |
| 267 | 4,45 | 92,6 | 20 | 520 | 269,663 | 337,115 |
| 244 | 4,07 | 96,6 | 20 | 540 | 295,082 | 335,346 |
| 272 | 4,53 | 101,2 | 20 | 560 | 264,706 | 332,180 |
| 260 | 4,33 | 105,5 | 20 | 580 | 276,923 | 329,910 |
| 268 | 4,47 | 110,0 | 20 | 600 | 268,657 | 327,422 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

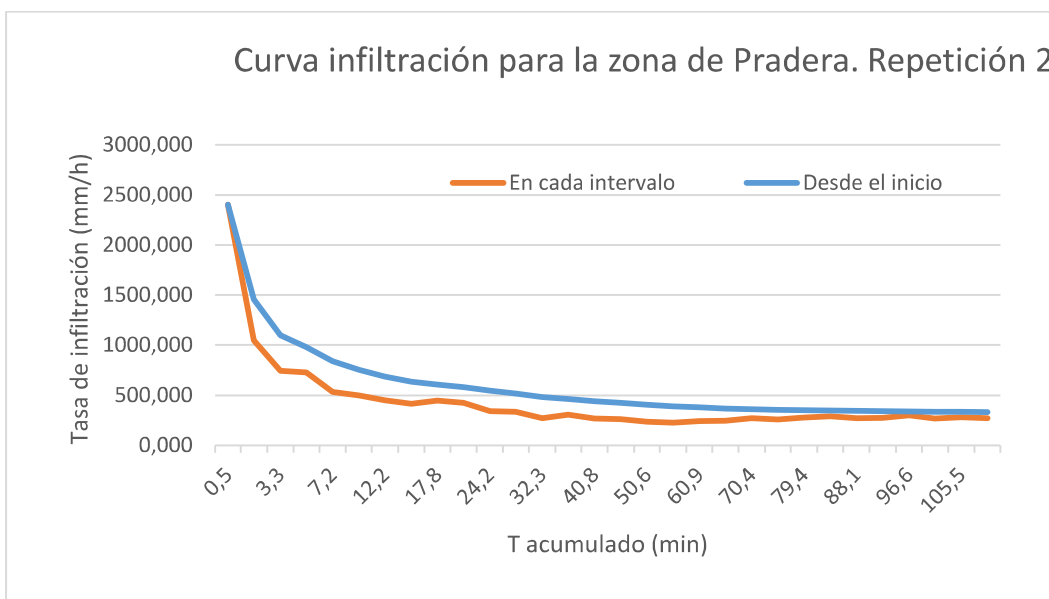


Figura 100. Gráfica de infiltración en cada intervalo y desde el inicio para la zona de Pradera. Repetición 2.

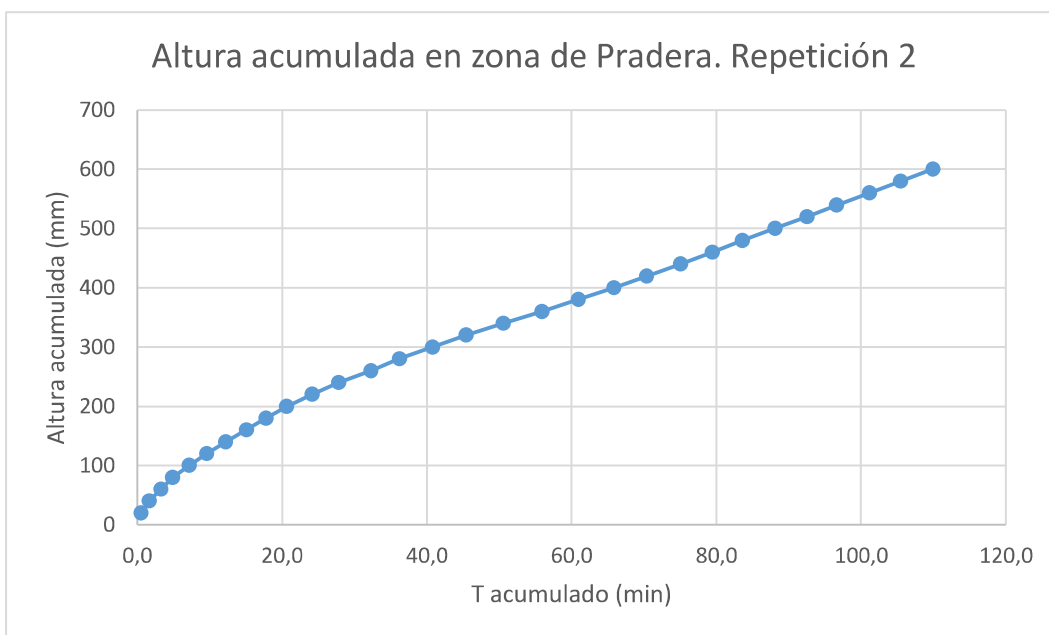


Figura 101. Curva de altura de agua infiltrada en la zona de Pradera. Repetición 2.

- Repetición 3

- Datos de humedad

Tabla 83. Datos de temperatura y humedad antes, después y dentro de la repetición 3 de la parcela de Pradera.

| ANTES T= 21,6 °C | | | DESPUÉS T= 23,3 °C | | |
|---------------------|-------|-----------|-----------------------|-------|-----------|
| Humedad a 10 cm | | | Humedad a 10 cm | | |
| Punto muestra | K | % humedad | Punto muestra | K | % humedad |
| 1 | 8,71 | 16,24 | 1 | 18,9 | 32,21 |
| | 8,28 | 15,35 | | 18,02 | 31,97 |
| 2 | 8,42 | 15,65 | 2 | 19,71 | 34,18 |
| | 8,32 | 15,44 | | 20,5 | 35,15 |
| 3 | 9,04 | 16,92 | 3 | 10,99 | 20,71 |
| | 8,97 | 16,78 | | 10,3 | 19,42 |
| 4 | 9,33 | 17,5 | 4 | 12,62 | 23,83 |
| | 9,16 | 17,17 | | 13,01 | 24,33 |
| Humedad a 20 cm | | | Humedad a 20 cm | | |
| Punto muestra | K | % humedad | Punto muestra | K | % humedad |
| 1 | 10,28 | 19,37 | 1 | 19,84 | 34,34 |
| | 10,3 | 19,41 | | 20 | 34,53 |
| 2 | 9,31 | 17,46 | 2 | 17,25 | 30,91 |
| | 9,67 | 18,18 | | 17,47 | 31,22 |
| 3 | 9,76 | 18,37 | 3 | 12,16 | 22,85 |
| | 9,74 | 18,33 | | 12,25 | 23,01 |
| 4 | 8,8 | 16,42 | 4 | 16,11 | 29,27 |
| | 8,78 | 16,39 | | 16,16 | 29,34 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| DENTRO | Humedad a 10 cm | |
|---------------|-----------------|-----------|
| Punto muestra | K | % humedad |
| 1 | 24,9 | 39,95 |
| | 24,5 | 39,55 |
| | Humedad a 20 cm | |
| | K | % humedad |
| 1 | 21,34 | 36,14 |
| | 21,27 | 36,06 |

- Datos de infiltración

Tabla 84. Datos de tiempo, altura infiltrada en cada intervalo medido y datos de tasa de infiltración en mm/m de la repetición 3 en zona de Pradera. h_i = altura infiltrada en cada intervalo; h_0 = altura infiltrada desde el inicio; K_{sati} = Conductividad hidráulica en cada intervalo; K_{sat_0} = Conductividad hidráulica desde el inicio

| Tiempo (s) | Tiempo (min) | | Altura infiltrada (mm) | | Tasa de infiltración (mm/h) | |
|------------|--------------|-----------|------------------------|-------|-----------------------------|-------------|
| | Parcial | Acumulado | h_i | h_0 | K_{sati} | K_{sat_0} |
| 72 | 1,20 | 1,2 | 20 | 20 | 1000,000 | 1000,000 |
| 135 | 2,25 | 3,5 | 20 | 40 | 533,333 | 695,652 |
| 162 | 2,70 | 6,2 | 20 | 60 | 444,444 | 585,366 |
| 205 | 3,42 | 9,6 | 20 | 80 | 351,220 | 501,742 |
| 228 | 3,80 | 13,4 | 20 | 100 | 315,789 | 448,878 |
| 244 | 4,07 | 17,4 | 20 | 120 | 295,082 | 413,002 |
| 252 | 4,20 | 21,6 | 20 | 140 | 285,714 | 388,290 |
| 150 | 2,50 | 24,1 | 20 | 160 | 480,000 | 397,790 |
| 81 | 1,35 | 25,5 | 20 | 180 | 888,889 | 423,806 |
| 91 | 1,52 | 27,0 | 20 | 200 | 791,209 | 444,444 |
| 107 | 1,78 | 28,8 | 20 | 220 | 672,897 | 458,599 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| | | | | | | |
|-----|------|-------|----|-----|---------|---------|
| 132 | 2,20 | 31,0 | 20 | 240 | 545,455 | 464,766 |
| 211 | 3,52 | 34,5 | 20 | 260 | 341,232 | 452,174 |
| 135 | 2,25 | 36,8 | 20 | 280 | 533,333 | 457,143 |
| 130 | 2,17 | 38,9 | 20 | 300 | 553,846 | 462,527 |
| 101 | 1,68 | 40,6 | 20 | 320 | 712,871 | 472,906 |
| 110 | 1,83 | 42,4 | 20 | 340 | 654,545 | 480,754 |
| 106 | 1,77 | 44,2 | 20 | 360 | 679,245 | 488,688 |
| 224 | 3,73 | 47,9 | 20 | 380 | 321,429 | 475,661 |
| 171 | 2,85 | 50,8 | 20 | 400 | 421,053 | 472,596 |
| 138 | 2,30 | 53,1 | 20 | 420 | 521,739 | 474,725 |
| 142 | 2,37 | 55,5 | 20 | 440 | 507,042 | 476,105 |
| 150 | 2,50 | 58,0 | 20 | 460 | 480,000 | 476,273 |
| 158 | 2,63 | 60,6 | 20 | 480 | 455,696 | 475,378 |
| 580 | 9,67 | 70,3 | 70 | 550 | 434,483 | 469,751 |
| 159 | 2,65 | 72,9 | 20 | 570 | 452,830 | 469,136 |
| 175 | 2,92 | 75,8 | 20 | 590 | 411,429 | 466,916 |
| 146 | 2,43 | 78,3 | 20 | 610 | 493,151 | 467,732 |
| 132 | 2,20 | 80,5 | 20 | 630 | 545,455 | 469,857 |
| 157 | 2,62 | 83,1 | 20 | 650 | 458,599 | 469,502 |
| 164 | 2,73 | 85,8 | 20 | 670 | 439,024 | 468,531 |
| 173 | 2,88 | 88,7 | 20 | 690 | 416,185 | 466,830 |
| 181 | 3,02 | 91,7 | 20 | 710 | 397,790 | 464,558 |
| 176 | 2,93 | 94,6 | 20 | 730 | 409,091 | 462,839 |
| 225 | 3,75 | 98,4 | 20 | 750 | 320,000 | 457,395 |
| 257 | 4,28 | 102,7 | 20 | 770 | 280,156 | 450,000 |
| 270 | 4,50 | 107,2 | 20 | 790 | 266,667 | 442,302 |
| 291 | 4,85 | 112,0 | 20 | 810 | 247,423 | 433,864 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| | | | | | | |
|-----|------|-------|----|------|---------|---------|
| 313 | 5,22 | 117,2 | 20 | 830 | 230,032 | 424,794 |
| 254 | 4,23 | 121,5 | 20 | 850 | 283,465 | 419,868 |
| 248 | 4,13 | 125,6 | 20 | 870 | 290,323 | 415,605 |
| 264 | 4,40 | 130,0 | 20 | 890 | 272,727 | 410,769 |
| 278 | 4,63 | 134,6 | 20 | 910 | 258,993 | 405,546 |
| 303 | 5,05 | 139,7 | 20 | 930 | 237,624 | 399,475 |
| 307 | 5,12 | 144,8 | 20 | 950 | 234,528 | 393,646 |
| 310 | 5,17 | 150,0 | 20 | 970 | 232,258 | 388,086 |
| 238 | 3,97 | 153,9 | 20 | 990 | 302,521 | 385,881 |
| 246 | 4,10 | 158,0 | 20 | 1010 | 292,683 | 383,463 |
| 215 | 3,58 | 161,6 | 20 | 1030 | 334,884 | 382,386 |
| 226 | 3,77 | 165,4 | 20 | 1050 | 318,584 | 380,933 |
| 238 | 3,97 | 169,4 | 20 | 1070 | 302,521 | 379,097 |
| 210 | 3,50 | 172,9 | 20 | 1090 | 342,857 | 378,363 |
| 207 | 3,45 | 176,3 | 20 | 1110 | 347,826 | 377,765 |
| 217 | 3,62 | 179,9 | 20 | 1130 | 331,797 | 376,841 |
| 226 | 3,77 | 183,7 | 20 | 1150 | 318,584 | 375,646 |
| 260 | 4,33 | 188,0 | 20 | 1170 | 276,923 | 373,371 |
| 280 | 4,67 | 192,7 | 20 | 1190 | 257,143 | 370,556 |
| 250 | 4,17 | 196,9 | 20 | 1210 | 288,000 | 368,809 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

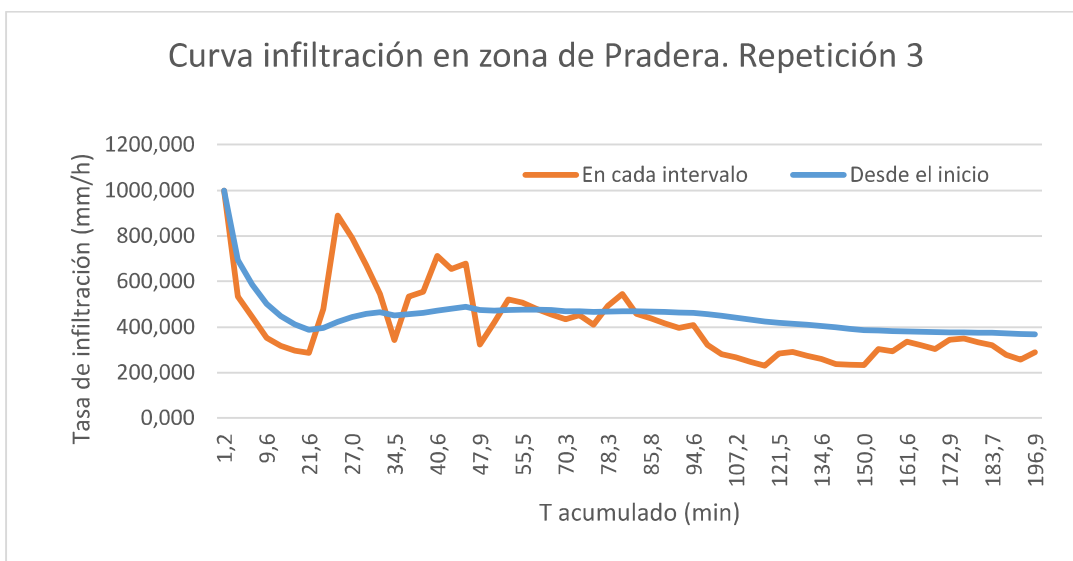


Figura 102. Gráfica de infiltración en cada intervalo y desde el inicio para la zona de Pradera. Repetición 3.

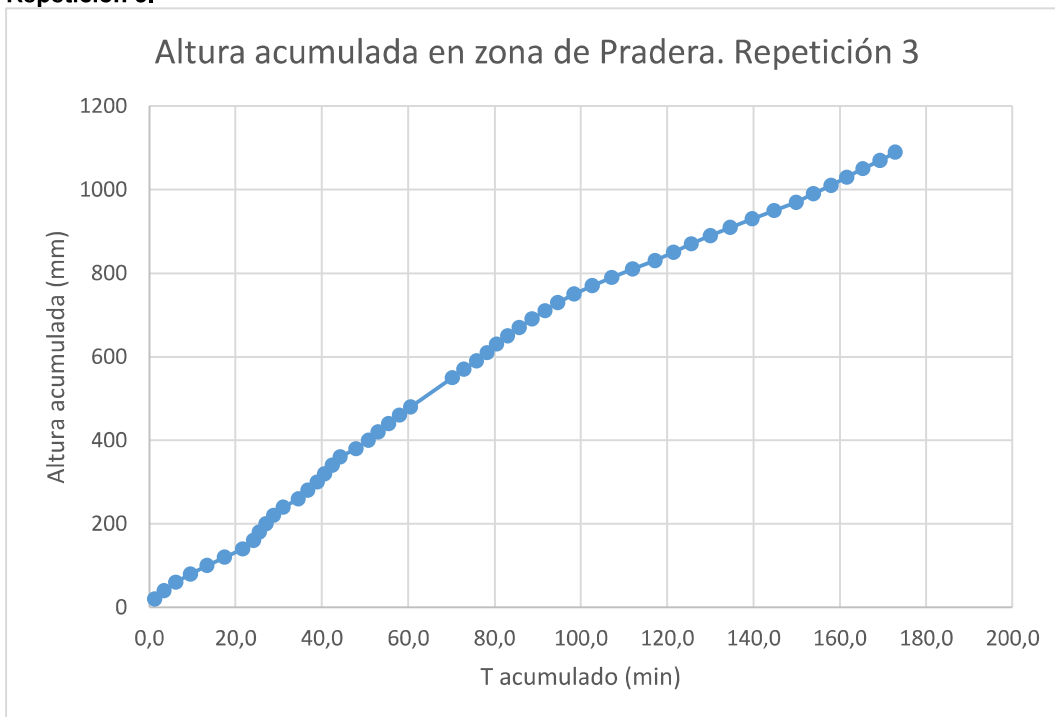


Figura 103. Curva de altura de agua infiltrada en la zona de Pradera. Repetición 3.

- Repetición 4

- Datos de humedad

Tabla 85. Datos de temperatura y humedad antes, después y dentro de la repetición 4 de la parcela de Pradera.

| ANTES T= 21 °C | | | DESPUÉS T= 22,9 °C | | |
|-------------------|-------|-----------|-----------------------|-------|-----------|
| Humedad a 10 cm | | | Humedad a 10 cm | | |
| Punto muestra | K | % humedad | Punto muestra | K | % humedad |
| 1 | 9,21 | 17,27 | 1 | 14,76 | 27,2 |
| | 9,27 | 17,39 | | 14,74 | 27,17 |
| 2 | 8,83 | 16,5 | 2 | 16,02 | 29,13 |
| | 9,06 | 16,96 | | 16,64 | 30,03 |
| 3 | 12,19 | 22,89 | 3 | 18,34 | 32,4 |
| | 12,35 | 23,18 | | 18,03 | 31,99 |
| 4 | 12,02 | 22,6 | 4 | 15,19 | 27,87 |
| | 11,99 | 22,54 | | 15,16 | 27,83 |
| Humedad a 20 cm | | | Humedad a 20 cm | | |
| Punto muestra | K | % humedad | Punto muestra | K | % humedad |
| 1 | 9,6 | 18,04 | 1 | 19,95 | 34,48 |
| | 9,57 | 17,98 | | 20,34 | 34,96 |
| 2 | 9,89 | 18,62 | 2 | 18,7 | 32,88 |
| | 9,76 | 18,8 | | 18,85 | 33,07 |
| 3 | 11,71 | 22,04 | 3 | 17,51 | 31,27 |
| | 11,79 | 22,18 | | 17,86 | 31,76 |
| 4 | 9,01 | 16,85 | 4 | 18,03 | 31,99 |
| | 9 | 16,85 | | 18,24 | 32,27 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| DENTRO | | Humedad a 10 cm | |
|---------------|-------|-----------------|--|
| Punto muestra | K | % humedad | |
| 1 | 29,67 | 44,15 | |
| | 29,93 | 44,35 | |
| | | Humedad a 20 cm | |
| | K | % humedad | |
| 1 | 22,32 | 37,26 | |
| | 22,53 | 37,48 | |

- Datos de infiltración

Tabla 86. Datos de tiempo, altura infiltrada en cada intervalo medido y datos de tasa de infiltración en mm/m de la repetición 3 en zona de Pradera. h_i = altura infiltrada en cada intervalo; h_0 = altura infiltrada desde el inicio; K_{sati} = Conductividad hidráulica en cada intervalo; K_{sat_0} = Conductividad hidráulica desde el inicio.

| Tiempo (s) | Tiempo (min) | | Altura infiltrada (mm) | | Tasa de infiltración (mm/h) | |
|------------|--------------|-----------|------------------------|-------|-----------------------------|-------------|
| | Parcial | Acumulado | h_i | h_0 | K_{sati} | K_{sat_0} |
| 49 | 0,82 | 0,8 | 80 | 80 | 5877,551 | 5877,551 |
| 75 | 1,25 | 2,1 | 80 | 160 | 3840,000 | 4645,161 |
| 85 | 1,42 | 3,5 | 80 | 240 | 3388,235 | 4133,971 |
| 96 | 1,60 | 5,1 | 80 | 320 | 3000,000 | 3777,049 |
| 103 | 1,72 | 6,8 | 80 | 400 | 2796,117 | 3529,412 |
| 110 | 1,83 | 8,6 | 80 | 480 | 2618,182 | 3335,907 |
| 131 | 2,18 | 10,8 | 80 | 560 | 2198,473 | 3106,317 |
| 141 | 2,35 | 13,2 | 80 | 640 | 2042,553 | 2916,456 |
| 158 | 2,63 | 15,8 | 80 | 720 | 1822,785 | 2734,177 |
| 162 | 2,70 | 18,5 | 80 | 800 | 1777,778 | 2594,595 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

| | | | | | | |
|-----|------|-------|----|------|----------|----------|
| 170 | 2,83 | 21,3 | 80 | 880 | 1694,118 | 2475,000 |
| 172 | 2,87 | 24,2 | 80 | 960 | 1674,419 | 2380,165 |
| 169 | 2,82 | 27,0 | 80 | 1040 | 1704,142 | 2309,685 |
| 171 | 2,85 | 29,9 | 80 | 1120 | 1684,211 | 2250,000 |
| 174 | 2,90 | 32,8 | 80 | 1200 | 1655,172 | 2197,355 |
| 182 | 3,03 | 35,8 | 80 | 1280 | 1582,418 | 2145,251 |
| 196 | 3,27 | 39,1 | 80 | 1360 | 1469,388 | 2088,737 |
| 221 | 3,68 | 42,8 | 80 | 1440 | 1303,167 | 2021,053 |
| 229 | 3,82 | 46,6 | 80 | 1520 | 1257,642 | 1958,482 |
| 250 | 4,17 | 50,7 | 80 | 1600 | 1152,000 | 1892,247 |
| 257 | 4,28 | 55,0 | 80 | 1680 | 1120,623 | 1832,172 |
| 270 | 4,50 | 59,5 | 80 | 1760 | 1066,667 | 1774,293 |
| 302 | 5,03 | 64,6 | 80 | 1840 | 953,642 | 1710,302 |
| 323 | 5,38 | 69,9 | 80 | 1920 | 891,641 | 1647,283 |
| 294 | 4,90 | 74,8 | 80 | 2000 | 979,592 | 1603,563 |
| 310 | 5,17 | 80,0 | 80 | 2080 | 929,032 | 1560,000 |
| 316 | 5,27 | 85,3 | 80 | 2160 | 911,392 | 1519,937 |
| 324 | 5,40 | 90,7 | 80 | 2240 | 888,889 | 1482,353 |
| 340 | 5,67 | 96,3 | 80 | 2320 | 847,059 | 1444,983 |
| 372 | 6,20 | 102,5 | 80 | 2400 | 774,194 | 1404,421 |
| 403 | 6,72 | 109,3 | 80 | 2480 | 714,640 | 1362,014 |
| 415 | 6,92 | 116,2 | 80 | 2560 | 693,976 | 1322,238 |
| 370 | 6,17 | 122,3 | 80 | 2640 | 778,378 | 1294,823 |
| 370 | 6,17 | 128,5 | 80 | 2720 | 778,378 | 1270,039 |
| 374 | 6,23 | 134,7 | 80 | 2800 | 770,053 | 1246,907 |

Alumno: Jaime Martínez Varela

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

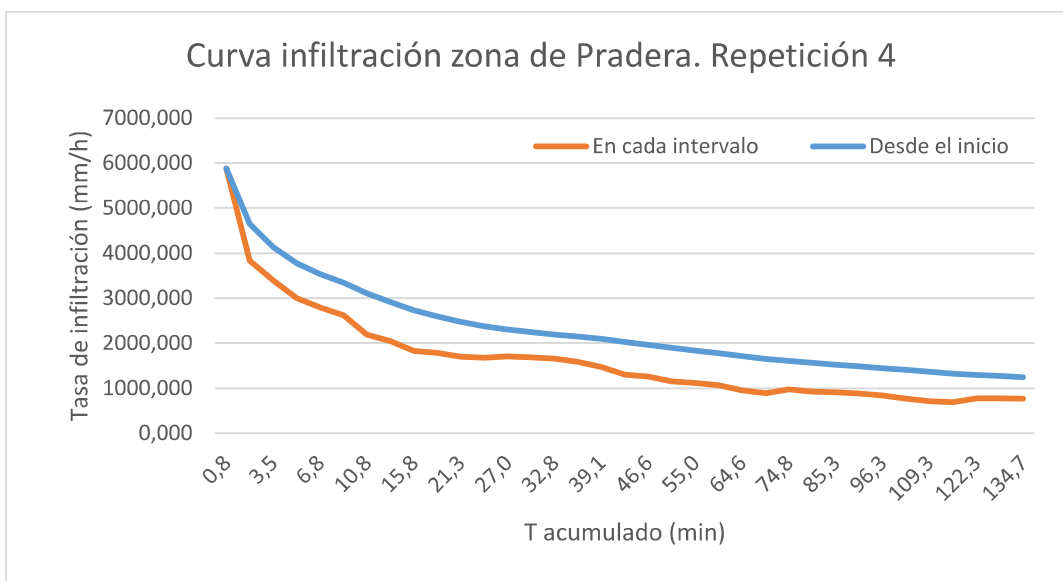


Figura 104. Gráfica de infiltración en cada intervalo y desde el inicio para la zona de Pradera. Repetición 4.

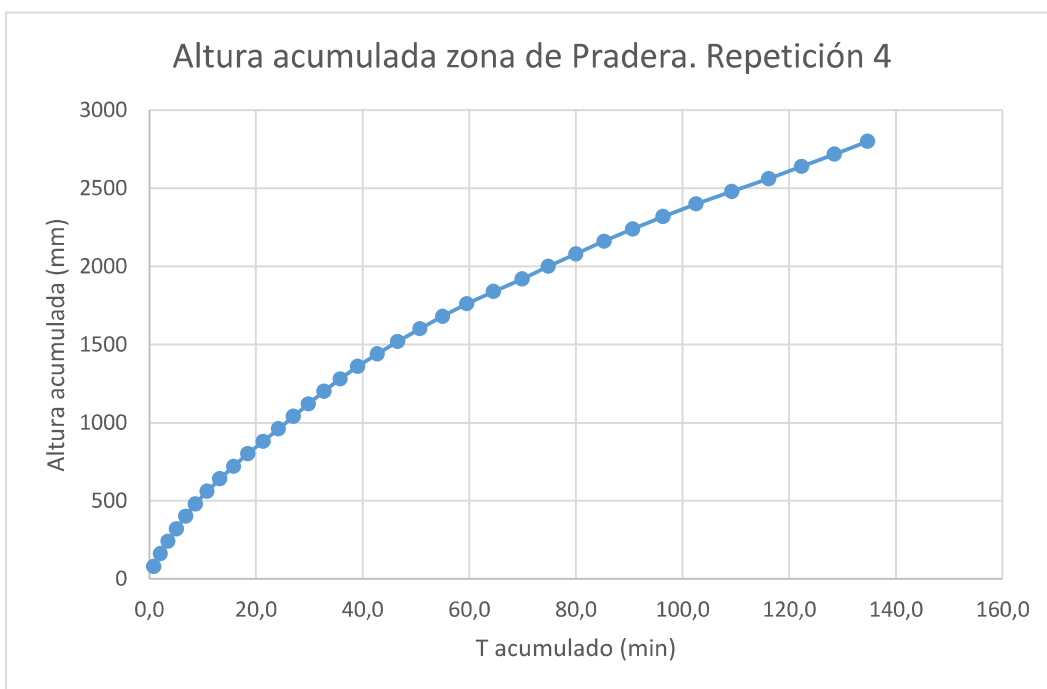


Figura 105. Curva de altura de agua infiltrada en la zona de Pradera. Repetición 4.